



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica,
Cartográfica y Topográfica

Modelizado 3D mediante fotogrametría de una escultura
del Museo Campus Escultòric de la UPV

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Geomática y Topografía

AUTOR/A: Benrais, Sara

Tutor/a: Balaguer Puig, Matilde

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica,
Cartográfica y Topográfica

Modelizado 3D mediante fotogrametría de una escultura del
Museo Campus Escultòric de la UPV

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Geomática y Topografía

AUTORA: Benrais, Sara

Tutora: Balaguer Puig, Matilde

CURSO ACADÉMICO: 2023 / 2024



Compromiso:

“El presente documento ha sido realizado completamente por el firmante; no ha sido entregado como otro trabajo académico previo y todo el material tomado de otras fuentes ha sido convenientemente entrecorillado y citado su origen en el texto, así como referenciado en la bibliografía.”

Valencia, 05 de septiembre 2024



Resumen:

Este trabajo se enfoca en la aplicación de técnicas avanzadas de fotogrametría de objeto cercano, para la creación de un modelo tridimensional de la escultura "Otoño" (G. Rueda, 1992), situada en el Museu Campus Escultòric (MUCAES) de la Universitat Politècnica de València (UPV).

La captura de imágenes desde múltiples ángulos permitirá obtener una representación precisa de la escultura, utilizando software especializado para el procesamiento de imágenes y la obtención de nubes de puntos a partir de las cuales se generará el modelo 3D.

Este modelo servirá tanto como herramienta visual para el análisis de la estructura y los detalles de la escultura, así como para explorar su contexto espacial y artístico en el campus de la UPV.

Además, se realizarán mediciones físicas para validar la escala del modelo, y se evaluará su precisión comparándolo con las medidas reales tomadas en el sitio. Se espera que este proyecto contribuya al desarrollo de habilidades en fotogrametría y modelado 3D, y tenga aplicaciones prácticas en la documentación y conservación de este elemento del patrimonio cultural.



Abstract:

This study centers on the application of advanced close-range photogrammetry techniques to generate a three-dimensional model of the sculpture "Otoño" (G. Rueda, 1992), situated at the Museu Campus Escultòric (MUCAES) of the Polytechnic University of Valencia (UPV).

By capturing images from multiple perspectives, we aim to produce an accurate representation of the sculpture, employing specialized software to process the images and derive point clouds from which the 3D model will be constructed.

This model will serve both as a visual tool for analyzing the structure and details of the sculpture and for exploring its spatial and artistic context on the UPV campus.

Furthermore, physical measurements will be conducted to validate the model's scale, with accuracy being evaluated by comparing the model to on-site measurements. This project is anticipated to enhance skills in photogrammetry and 3D modeling and offer practical applications in the documentation and preservation of this cultural heritage artifact.



Resum:

Aquest treball se centra en l'aplicació de tècniques avançades de fotogrametria de curt abast per generar un model tridimensional de l'escultura "Tardor" (G. Rueda, 1992), situada al Museu Campus Escultòric (MUCAES) de la Universitat Politècnica de València (UPV).

Mitjançant la captura d'imatges des de múltiples perspectives, es pretén obtenir una representació precisa de l'escultura, emprant programari especialitzat per processar les imatges i generar núvols de punts a partir dels quals es construirà el model 3D. Aquest model servirà tant com a eina visual per a l'anàlisi dels detalls estructurals i estètics de l'escultura, com per facilitar una exploració del seu context espacial i artístic dins del campus de la UPV.

A més, es realitzaran mesuraments físics per validar l'escala del model, i s'avaluarà la seua precisió comparant-lo amb les mesures preses in situ. Es preveu que aquest projecte contribuïska a millorar les habilitats en fotogrametria i modelatge 3D, i oferisca aplicacions pràctiques en la documentació i preservació d'aquest element del patrimoni cultural.



Índice de ilustraciones

<i>Ilustración 1: Ejemplo de modelo 3D generado mediante fotogrametría. Fuente: www.digitalizacion-3d.com</i>	9
<i>Ilustración 2: Escultura "Otoño" de Gerardo Rueda. Fuente: www.upv.es</i>	10
<i>Ilustración 3: Cámara Canon EOS 700D. Fuente: www.catawiki.com</i>	13
<i>Ilustración 4: Leica zeno FLX 100 Smart Antena. Fuente: topographie-laser.eu</i>	15
<i>Ilustración 5: Tablet Leica Zeno. Fuente: Elaboración propia</i>	16
<i>Ilustración 6: Software Agisoft Metashape. Fuente: www.agisoft.com</i>	17
<i>Ilustración 7: Software PhotoModeler. Fuente: www.photomodeler.com</i>	17
<i>Ilustración 8: Software MeshLab. Fuente: www.meshlab.net</i>	17
<i>Ilustración 9: Software Cloud Compare. Fuente: www.cloudcompare.org</i>	18
<i>Ilustración 10: mapa conceptual. Fuente: elaboración propia</i>	19
<i>Ilustración 11: Patrón de captura en forma de anillos. Fuente: elaboración propia</i>	21
<i>Ilustración 12: Distribución de los cuatro anillos horizontales para la captura de imágenes. Fuente: elaboración propia</i>	22
<i>Ilustración 13: Las imágenes capturadas. Fuente: elaboración propia</i>	23
<i>Ilustración 14: medida de la base. Fuente: elaboración propia</i>	24
<i>Ilustración 15: medidas extras. Fuente: elaboración propia</i>	24
<i>Ilustración 16: Fotos mal alineadas. Fuente: elaboración propia</i>	26
<i>Ilustración 17: Los 14 puntos de apoyo introducidos manualmente. Fuente: elaboración propia</i>	27
<i>Ilustración 18: nube de puntos. Fuente: Elaboración propia</i>	29
<i>Ilustración 19: creación de mallado 3D. Fuente: elaboración propia</i>	30
<i>Ilustración 20: Texturización del modelo. Fuente: elaboración propia</i>	31
<i>Ilustración 21: Resultado final con Agisoft Metashape. Fuente: elaboración propia</i>	32
<i>Ilustración 22: identificación de puntos comunes. Fuente: elaboración propia</i>	33
<i>Ilustración 23: Modelo de alambre 3D. Fuente: elaboración propia</i>	34
<i>Ilustración 24: aplicación de superficies. Fuente: elaboración propia</i>	35
<i>Ilustración 25: Aplicación de textura. Fuente: elaboración propia</i>	36
<i>Ilustración 26: resultado final con PhotoModeler. Fuente: elaboración propia</i>	37
<i>Ilustración 27: comprobación escala del modelo con Agisoft Metashape. Fuente: elaboración propia</i>	38
<i>Ilustración 28: comprobación escala del modelo con PhotoModeler. Fuente: elaboración propia</i>	38
<i>Ilustración 29: importación de los modelos al Cloud compare. Fuente: elaboración propia</i>	39
<i>Ilustración 30: Selección de los tres puntos. Fuente: elaboración propia</i>	39
<i>Ilustración 31: resultado de la comparación. Fuente: elaboración propia</i>	40
<i>Ilustración 32: tabla salarial según XX convenio. Fuente: BOE (2023)</i>	41
<i>Ilustración 33: esquema del agrupamiento de los puestos de trabajos por grupo profesional y nivel salarial. Fuente: BOE (2023)</i>	41



Índice de tablas

<i>Tabla 1: Comparativa entre Agisoft Metashape y PhotoModeler. Fuente: Elaboración propia. .</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 2: Características de la cámara utilizada. Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 3: Valores de configuración de la cámara. Fuente: elaboración propia.</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 4: Coordenadas tomadas en la base de la escultura. Fuente: elaboración propia.</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 5: Presupuesto del proyecto. Fuente: elaboración propia</i>	<i>42</i>



Índice de contenido

INTRODUCCIÓN.....	9
Antecedentes:	9
Estado del Arte:.....	9
Justificación:.....	10
Estudio y Análisis de la Escultura:	11
Historia del Museo y Contexto del Objeto de Estudio	11
Autor y descripción:	12
Localización:	12
OBJETIVOS	12
Objetivo General:	12
Objetivos Específicos:.....	12
INSTRUMENTACIÓN Y DATOS UTILIZADOS	13
Cámara Fotográfica:	13
GPS:	15
Softwares Utilizados:	16
Agisoft Metashape	16
PhotoModeler:.....	17
MeshLab:	17
Cloud Compare:	18
METODOLOGÍA.....	18
Mapa conceptual:	18
Captura de datos:	20
Fotografía:.....	20
Apoyo geométrico:.....	23
Localización:	24
Procesamiento de datos:.....	25
Procesamiento de datos con Agisoft Metashape:.....	25
Procesamiento de datos con PhotoModeler:	32
Análisis comparativo (resultados):	38
Escalar modelos:	38
Comparar resultados:	39
Presupuesto:	41
Presupuesto del proyecto.....	42
Conclusiones:.....	43



Bibliografías.....	44
Anexos:.....	45
.....	¡Error! Marcador no definido.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes:

En la actualidad, las técnicas de fotogrametría y modelado 3D se han convertido en herramientas esenciales para diversas aplicaciones en ingeniería y conservación. La fotogrametría, como técnica de obtención de datos a partir de fotografías, permite generar modelos tridimensionales precisos de objetos y estructuras mediante la captura y procesamiento de imágenes. Este enfoque ha demostrado ser especialmente valioso en el ámbito académico y profesional, facilitando la documentación detallada y el análisis exhaustivo de objetos tridimensionales.



Ilustración 1: Ejemplo de modelo 3D generado mediante fotogrametría. Fuente: www.digitalizacion-3d.com

Estado del Arte:

EL uso de la fotogrametría de objeto cercano ha ganado relevancia en los últimos años debido a su capacidad para generar modelos 3D detallados y precisos.

Agisoft Metashape es uno de los softwares más utilizados en este campo, permitiendo la generación de modelos tridimensionales a partir de imágenes capturadas desde diversos ángulos.

Por otro lado, PhotoModeler ofrece una alternativa basada en la definición manual de puntos, lo que puede resultar en un control más detallado del proceso de modelado.

Aspecto	Agisoft Metashape	PhotoModeler
Procesamiento de Imágenes	Automática	Manual
Facilidad de uso	Intuitivo, basado en automatización	Requiere mayor intervención manual
Precisión	Alta precisión en objetos complejos	Mayor control sobre detalles específicos
Aplicaciones principales	Reconstrucción rápida de objetos grandes	Modelado detallado de objetos pequeños

Tabla 1: Comparativa entre Agisoft Metashape y PhotoModeler. Fuente: Elaboración propia.

La combinación de ambas técnicas no solo proporciona diferentes perspectivas sobre la efectividad de los métodos de modelado, sino que también permite un análisis comparativo de los resultados obtenidos.

Justificación:

Este trabajo se centra en la aplicación de técnicas de fotogrametría de objeto cercano para la creación de un modelo 3D de una estructura específica situada en la Universidad Politécnica de Valencia.

La escultura elegida, ubicada en el Museo Campus Escultòric, ha sido seleccionada por sus características que permiten una modelización detallada y precisa.

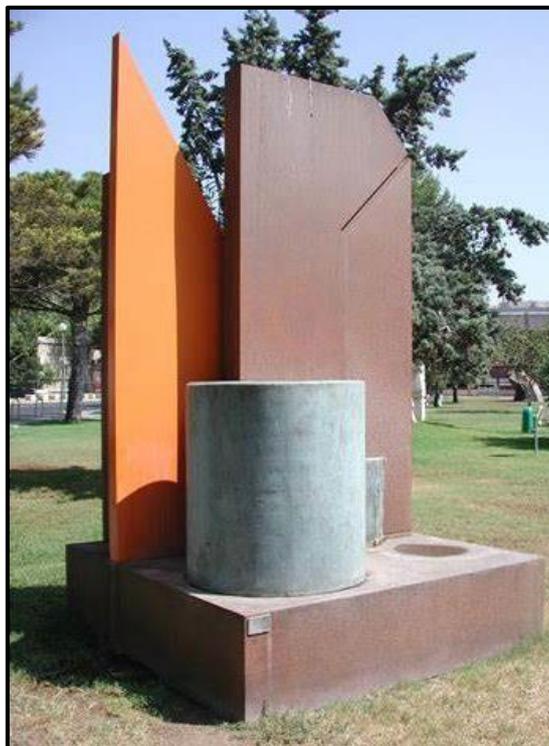


Ilustración 2: Escultura "Otoño" de Gerardo Rueda. Fuente: www.upv.es



La comparación entre los modelos generados con Agisoft Metashape y PhotoModeler proporcionará una visión crítica sobre los resultados obtenidos con cada técnica, facilitando la identificación de las mejores prácticas en la modelización 3D.

Además, el modelo 3D final podría servir como base para futuras iniciativas, como la creación de un museo virtual, mejorando la accesibilidad y la interacción con la obra en un entorno digital.

Este proyecto tiene el potencial de ofrecer una visión integral de la escultura desde múltiples perspectivas, integrando tecnología avanzada en el análisis y la representación de obras artísticas y académicas, contribuyendo el desarrollo académico y a posibles aplicaciones prácticas en el campo de la modelización 3D.

Estudio y Análisis de la Escultura:

Historia del Museo y Contexto del Objeto de Estudio

El Museo Campus Escultòric de la Universitat Politècnica de València (MUCAES-UPV) es una destacada colección de arte escultòric al aire libre. Fue oficialmente reconocido el 17 de noviembre de 2017 por la "Conselleria d'Educació, Investigació, Cultura i Esport", aunque su historia comienza antes. El 28 de octubre de 1993 se inauguró la primera fase del campus escultòric, con trece esculturas de artistas plásticos, marcando el inicio de una de las colecciones de esculturas al aire libre más importantes de España.

Impulsado por el escultor Nassio Bayarri y apoyado por el equipo rectoral de la universidad, el proyecto se integró en la oferta cultural y turística de Valencia. La Universidad Politècnica de València, que posee la colección, ha ido ampliándola a través de diversas adquisiciones. Hoy en día, el museo cuenta con 78 piezas distribuidas en los campus de Vera, Gandía y Alcoi, siendo la mayor parte de la colección visible en el campus de Vera, en una zona ajardinada de 108.000 m².

La colección abarca una amplia gama de materiales y estilos, con esculturas de artistas de renombre internacional. Desde "Toro rojo" de Alberto Sánchez (1962), hasta "Pirámide invertida" de Damián Ortega (2010), la colección incluye obras en acero, bronce, hierro, piedra y otros materiales. Además de su función artística, el museo desempeña una importante labor educativa y de investigación, ofreciendo visitas guiadas, certámenes de dibujo, seminarios y talleres, así como exposiciones relacionadas con la fotografía sobre patrimonio escultòric.



Autor y descripción:

La escultura seleccionada para este estudio es "Otoño", creada por Gerardo Rueda. Este artista, influyente en el ámbito del constructivismo, presenta una abstracción conceptual del otoño mediante una geometría que combina partes planas y curvadas, utilizando acero corten y bronce. Con unas dimensiones de 350 x 200 x 200 cm, la obra captura la esencia de la estación otoñal a través de formas simples y una paleta tonal cálida que evoca la transición y adaptación características del otoño.

Localización:

La escultura se encuentra en la zona ajardinada del campus de Vera de la Universidad Politécnica de València, formando parte del paisaje artístico del museo.

Se han medido las coordenadas exactas de la escultura, las cuales se presentan más adelante en el Anexo 1, donde se puede consultar un plano de emplazamiento que muestra la ubicación precisa de la escultura dentro del campus.

OBJETIVOS

Objetivo General:

El objetivo general de este proyecto es crear y comparar modelos tridimensionales detallados de la escultura "Otoño (G. Rueda), 1992" utilizando dos herramientas de fotogrametría avanzadas: Agisoft Metashape y PhotoModeler.

Objetivos Específicos:

- Capturar imágenes de alta calidad de la escultura desde varios ángulos.
- Procesar las imágenes utilizando Agisoft Metashape y PhotoModeler para generar modelos 3D.
- Comparar los modelos obtenidos con ambos programas, con el software Cloud Compare.

INSTRUMENTACIÓN Y DATOS UTILIZADOS

Cámara Fotográfica:

Descripción Técnica de la Cámara Canon EOS 700D:

Para la captura de imágenes en este proyecto se utilizó la cámara **Canon EOS 700D**, equipada con un objetivo **EFS 18-55mm f/3.5-5.6 IS STM**. Esta cámara, con un sensor CMOS de 22.3 x 14.9 mm y una resolución de 18.0 megapíxeles, es adecuada para la fotogrametría por su capacidad de capturar detalles precisos y ofrecer imágenes de alta calidad.



Ilustración 3: Cámara Canon EOS 700D. Fuente: www.catawiki.com

Cuyas especificaciones clave se detallan a continuación:

Característica	Especificación
Sensor de imagen	CMOS 22.3 x 14.9 mm, 18.0 megapíxeles efectivos
Procesador de Imagen	DIGIC 5
Montura de lente	EF/EF-S
Sistema de enfoque	9 puntos AF de tipo cruz, rango EV -0.5-18.
Modos de AF	AI Focus, One shot, AI Servo
Exposición	Medición evaluativa, parcial, spot, ponderada al centro
Compensación de Exposición	+/- 5EV en incrementos de 1/3 o 1/2 pasos
ISO	100-12800 (ampliable a H:25600)
Velocidad del obturador	30-1/4000 seg, Bulb
Pantalla LCD	Táctil, vari-angle de 7.7 cm (3.0") con 1040K puntos
Visor	Pentamiror, cobertura aprox. 95%, magnificación 0.85x
Flash incorporado	GN 13, X-sync 1/200 seg
Modos de disparo	Auto, retrato, paisaje, deportes, manual, etc.
Velocidad de disparo continuo	Máx. 5 fps
Video	Full HD 1080p, formato MOV, H.264
Tipo de almacenamiento	Tarjetas SD, SDHC, SDXC
Batería	LP – E8, aprox, 440 disparos (CIPA)
Dimensiones	133.1 x 99.8 x 78.8 mm
Peso (solo cuerpo)	Aprox. 580 g
Temperatura de funcionamiento	0 – 40°C, 85% o menos de humedad

Tabla 2: Características de la cámara utilizada. Fuente: Elaboración propia.

El día 02/07/2024 por la mañana, se tomaron alrededor de 204 fotografías de la escultura desde diferentes ángulos para asegurar una cobertura completa. Aunque hubo problemas de sombra debido a una rama de árbol cercana, que se detallará más adelante como se ha logrado completar el modelo 3D.

GPS:

El mismo día de la captura de imágenes, se procedió a registrar las coordenadas precisas de la escultura utilizando el sistema Leica Zeno FLX 100 Smart Antena.

Este equipo, compuesto por la antena Zeno FLX100 y la Tablet Leica Zeno Tab2, se maneja mediante aplicaciones Leica, se registraron cuatro puntos alrededor de la base de la escultura, los cuales se almacenaron en el formato adecuado para su posterior integración en el proceso de georreferenciación. Estos puntos geospaciales proporcionan la base necesaria para el apartado de localización, facilitando la creación de un mapa de emplazamiento de la escultura.



Ilustración 4: Leica zeno FLX 100 Smart Antena. Fuente: topographie-laser.eu.



Ilustración 5: Tablet Leica Zeno. Fuente: Elaboración propia.

Softwares Utilizados:

Se emplearon los siguientes programas para procesar los datos, modelar la escultura y analizar los resultados:

Agisoft Metashape

Agisoft Metashape es un software avanzado de fotogrametría digital que permite crear modelos 3D detallados y precisos a partir de imágenes fotográficas. Destaca por su procesamiento automatizado, que incluye la alineación de imágenes, generación de nubes de puntos densas y mallas 3D texturizadas.

Además, ofrece calibración automática de cámaras, corrección de distorsiones ópticas y la creación de Modelos Digitales de Elevación (DEM), lo que lo hace ideal para aplicaciones en arqueología, topografía e ingeniería, donde se requiere alta precisión en la modelización tridimensional.



Ilustración 6: Software Agisoft Metashape. Fuente: www.agisoft.com

PhotoModeler:

PhotoModeler es un software de fotogrametría que se especializa en la creación de modelos 3D detallados a partir de imágenes fotográficas, con un enfoque manual que permite un control preciso del proceso.

Este programa también es ideal para proyectos en ingeniería, donde la personalización y el ajuste detallado son esenciales. Aunque también permite la generación automática de modelos, su valor radica en la capacidad de ajustar manualmente los resultados según las necesidades específicas del proyecto.



Ilustración 7: Software PhotoModeler. Fuente: www.photomodeler.com

MeshLab:

Es un software para la edición y limpieza de mallas 3D. Permite reparar geometrías, ajustar escalas y centrar los modelos, preparando los datos para su análisis posterior.



Ilustración 8: Software MeshLab. Fuente: www.meshlab.net

Cloud Compare:

Este software se especializa en la alineación y comparación de nubes de puntos. Se usa para registrar modelos y analizar diferencias entre ellos, midiendo la precisión y visualizando discrepancias.

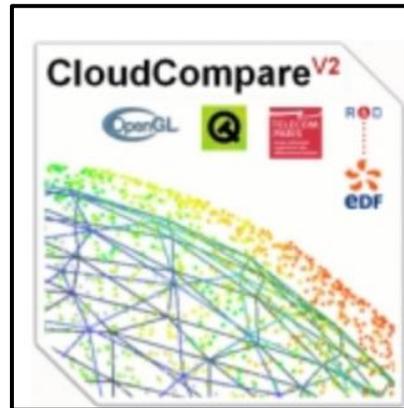


Ilustración 9: Software Cloud Compare. Fuente: www.cloudcompare.org

METODOLOGÍA

Mapa conceptual:

Para proporcionar una visión clara y estructurada del proceso seguido en el presente proyecto, se ha desarrollado un mapa conceptual que resume las principales etapas y actividades involucradas en la creación del modelo 3D de la escultura.

El mapa conceptual inicia con el **objetivo principal** del proyecto: la creación de un modelo 3D de la escultura. Este objetivo guía todas las fases y actividades del trabajo.

En la **fase de preparación**, se llevó a cabo un estudio preliminar de la escultura y su entorno, lo que permitió comprender mejor las condiciones para la captura de imágenes. Se planificó un flujo de trabajo y se seleccionó el equipo fotográfico y de medición adecuado.

Para la adquisición de imágenes se definió un patrón de captura que consistió en tomar fotos en anillos alrededor de la escultura para cubrir todos los ángulos posibles. Se capturaron las imágenes en condiciones adecuadas para minimizar sombras y otros factores que pudieran afectar la calidad. Además, se consideró la georreferenciación para asignar coordenadas precisas al modelo 3D.

Para el **procesamiento del modelo 3D**, se emplearon dos softwares distintos: Agisoft Metashape y PhotoModeler. Ambos programas permiten la creación de modelos 3D a partir de fotografías.

Primero, se depuraron las imágenes capturadas, seleccionando las más adecuadas para asegurar la calidad del modelo. Luego, se utilizaron estos programas para generar los modelos 3D, que se detallan los pasos a seguir más adelante.

Por último, se realizó un **análisis comparativo** entre los modelos generados por Agisoft Metashape y PhotoModeler, utilizando un software comparativo.

El mapa conceptual presentado a continuación ilustra de manera visual como se han interrelacionado estas etapas y actividades seguidas en el proyecto.

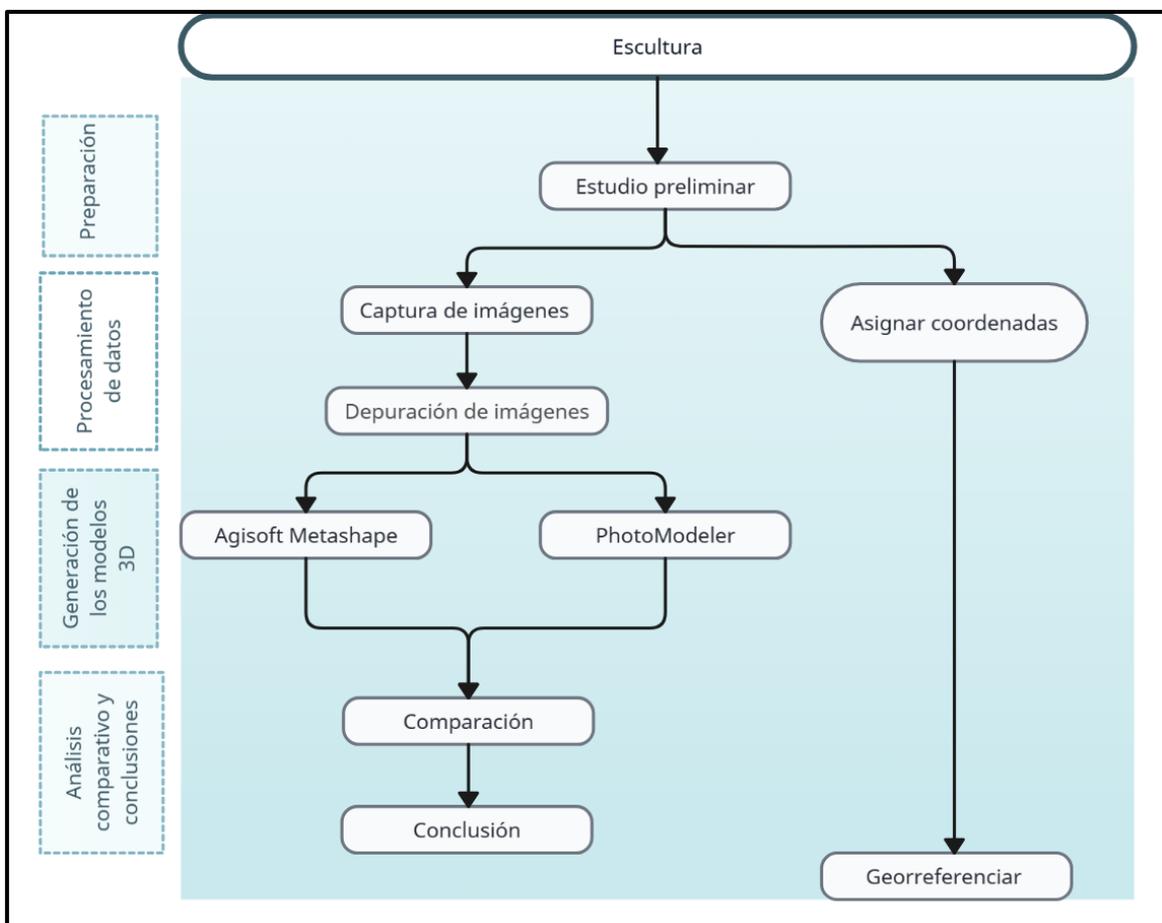


Ilustración 10: mapa conceptual. Fuente: elaboración propia.

Captura de datos:

Fotografía:

Configuración de la cámara:

Para la creación del modelo 3D mediante fotogrametría, se utilizó la cámara mencionada anteriormente. En la siguiente tabla se detalla estos valores junto con la explicación de su elección:

Parámetro	Valor	Justificación
Resolución de imagen	5184 x 3456 píxeles	Alta resolución para capturar todos los detalles necesarios para el modelado 3D
Distancia focal	18 mm / 20 mm / 24 mm	Diferentes focales para capturar niveles variados de detalle en la escultura
Apertura	f/13	Apertura pequeña, para asegurar una mayor profundidad de campo, que mantiene la escultura nítida.
ISO	200	Bajo ISO para minimizar el ruido digital y mantener la claridad de la imagen
Velocidad de obturación	1/30s	Ajuste de velocidad que captura suficiente luz sin comprometer la nitidez de la imagen
Compensación de exposición	0 pasos	Mantenimiento de la exposición natural sin ajustes adicionales que alteren el brillo o la oscuridad.
Espacio de color	sRGB	Selección estándar

Tabla 3: Valores de configuración de la cámara. Fuente: elaboración propia.

Proceso de captura:

Para crear el modelo 3D, se capturaron 204 imágenes de alta calidad de la escultura, utilizando la cámara mencionada. Las imágenes fueron importadas a un ordenador y organizadas en una carpeta única para facilitar su manejo.

Estas imágenes fueron tomadas siguiendo un recorrido en forma de anillos alrededor de la escultura, tal como se ilustra en la ilustración 11.

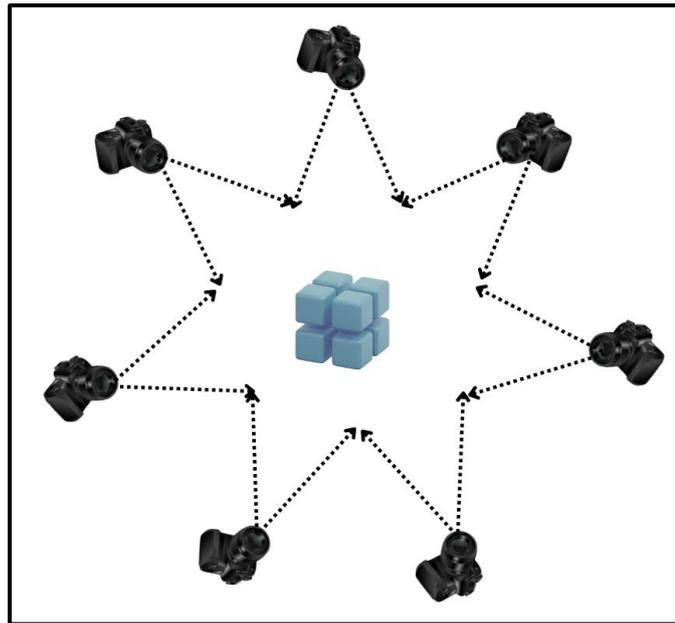


Ilustración 11: Patrón de captura en forma de anillos. Fuente: elaboración propia.

La estrategia de captura consistió en dividir el proceso en múltiples niveles horizontales y angulares para cubrir completamente la escultura desde diferentes perspectivas.

La toma de fotografías se mantuvo a una distancia aproximada de 1.5 metros y se organizó en cuatro niveles de anillos horizontales alrededor de la escultura, como se ejemplifica en la ilustración 12, ajustados a su altura de 350 cm:

1. Anillo inferior: Se situó a una altura aproximada de 50 cm desde el suelo, con el objetivo de capturar los detalles de la base de la escultura. Las imágenes fueron tomadas a lo largo de un recorrido circular alrededor de la escultura, asegurando un ángulo de cobertura de 360°.
2. Anillo medio bajo: Colocado a una altura de 150 cm, este nivel se centró en capturar la parte media inferior de la escultura. Las fotografías fueron tomadas siguiendo un patrón circular, garantizando un solapamiento adecuado con el anillo inferior.
3. Anillo medio alto: este anillo, con la ayuda de una escalera ubicado aproximadamente a 250 cm de altura, se hizo para capturar la parte media superior de la escultura. Al igual que los niveles anteriores, las imágenes se tomaron desde todos los ángulos, proporcionando una visión detallada.
4. Anillo superior: situado a la altura máxima de 350 cm, con la cámara ligeramente inclinada hacia abajo en un ángulo de aproximadamente

30 grados. Para esta toma, se utilizó una escalera que no alcanzaba directamente la altura máxima, y se elevó el brazo para obtener el ángulo requerido, asegurando que los detalles superiores fueran capturados adecuadamente.

Cada anillo constó de aproximadamente 50 imágenes, con un solapamiento del 60% entre ellas. Este nivel de solapamiento es esencial para asegurar que todas las superficies de la escultura estén correctamente cubiertas, lo que permite al software de fotogrametría identificar puntos de referencia comunes en múltiples imágenes y, en consecuencia, construir un modelo 3D más preciso y detallado.

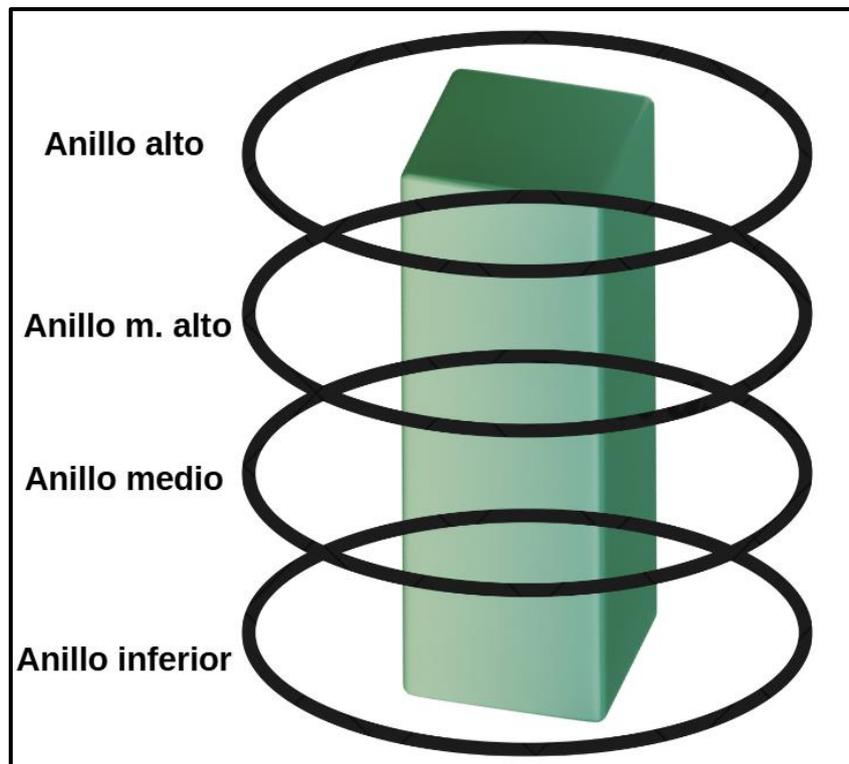


Ilustración 12: Distribución de los cuatro anillos horizontales para la captura de imágenes.
Fuente: elaboración propia.

Durante la sesión de captura, se identificó un problema de sombras causadas por una rama de árbol cercana, lo que podría afectar al modelo final. Con la ayuda de dos compañeros intentaron mover dichas ramas para minimizar el efecto de las sombras. Sin embargo, no se pudo eliminarlas por completo. Por ello, se ajustaron los ángulos de captura y las condiciones de iluminación para mitigar los efectos negativos en las imágenes y asegurar la mejor calidad posible para el modelo 3D final.

Manejo de sombras:

Debido a la sombra proyectada por la rama del árbol, fue necesario emplear puntos de control manuales, un procedimiento que se detalla más adelante en la sección correspondiente. Esta técnica ayuda a alinear correctamente las fotografías cuando el software enfrenta dificultades para detectar puntos homólogos en varias fotos debido a las sombras. Estos puntos no eliminan ni corrigen las sombras, pero mejoran la precisión de la orientación.

Control de calidad en la captura de imágenes:

Se realizó un control de calidad in situ para revisar las imágenes capturadas y asegurarse de que no hubiera desenfoques ni problemas de iluminación que pudieran comprometer el modelo final. Las imágenes que no cumplían con los estándares se descartaron y se volvieron a capturar en el lugar.

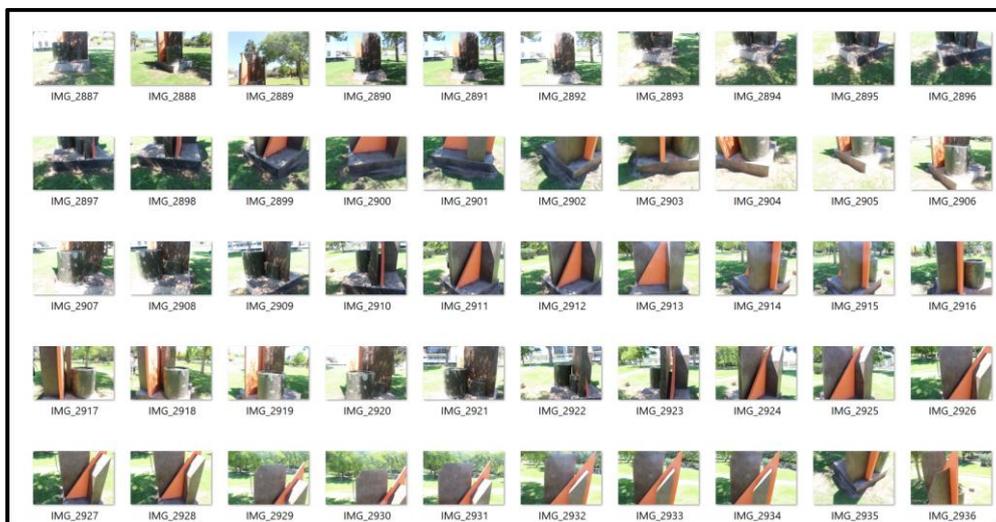


Ilustración 13: Las imágenes capturadas. Fuente: elaboración propia.

Apoyo geométrico:

Para proporcionar una escala precisa al modelo 3D, se realizaron mediciones directas de la escultura. Se tomaron varias distancias clave utilizando una cinta métrica para registrar dimensiones específicas del objeto. Estas medidas se emplearon para establecer una referencia de escala en el modelo, incluyeron:

Medida de la base: las distancias de la base de la escultura y **medidas extras:** Otras medidas de la escultura.



Ilustración 14: medida de la base. Fuente: elaboración propia

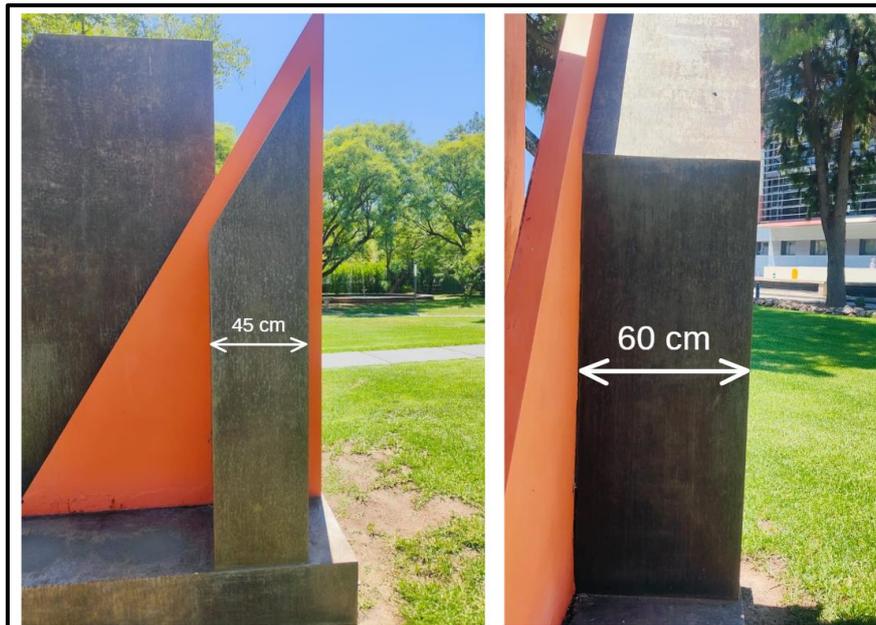


Ilustración 15: medidas extras. Fuente: elaboración propia.

Localización:

Para lograr una georreferenciación de la escultura, se utilizaron datos de GPS de alta precisión, obtenidos mediante el uso del dispositivo Leica mencionado anteriormente. Se tomaron cuatro puntos de referencia alrededor de la base de

la escultura, esta información resulto fundamental para elaborar un mapa de emplazamiento lo cual se presenta más adelante en el Anexo 1.

A continuación, se detallan las coordenadas obtenidas para cada uno de los puntos seleccionados:

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z
1	728219.494	4373529.265	6.185
2	728218.449	4373531.024	6.223
3	728216.731	4373529.967	6.203
4	728217.766	4373528.193	6.180

Tabla 4: Coordenadas tomadas en la base de la escultura. Fuente: elaboración propia.

Procesamiento de datos:

En esta sección se usa software especializado para generar modelos 3D a partir de datos capturados.

Se analizará el procesamiento con Agisoft Metashape y PhotoModeler:

Procesamiento de datos con Agisoft Metashape:

En esta sección se describe el proceso de generación de un modelo 3D utilizando Agisoft Metashape, el objetivo es convertir las imágenes previamente capturadas en un modelo tridimensional. A continuación, se describen los pasos realizados:

Importación y configuración del proyecto:

El primer paso en el uso de Metashape consiste en la creación de un nuevo proyecto. Tras abrir el software, se configura un espacio de trabajo adecuado para el procesamiento de las imágenes capturadas. A continuación, se procede a la importación de las fotografías al proyecto, cargándolas en un único bloque para facilitar el manejo de los datos.

Alineación de imágenes:

El primer paso en el procesamiento dentro de Metashape es la alineación de las imágenes. Este proceso involucra la identificación de puntos comunes entre fotografías para determinar sus posiciones y orientaciones relativas.

Es crucial asegurarse y revisar dos aspectos importantes, de que todas las imágenes estén en su posición, al ampliar la vista deberán estar todas posicionadas correctamente y el objeto rodeado por las fotos, y estar correctamente alineadas para garantizar la precisión del modelo final.

En un principio, solo 102 de las 201 imágenes se alinearon correctamente tal como se muestra en la ilustración 16, debido a la presencia de sombras que afectaron la calidad.

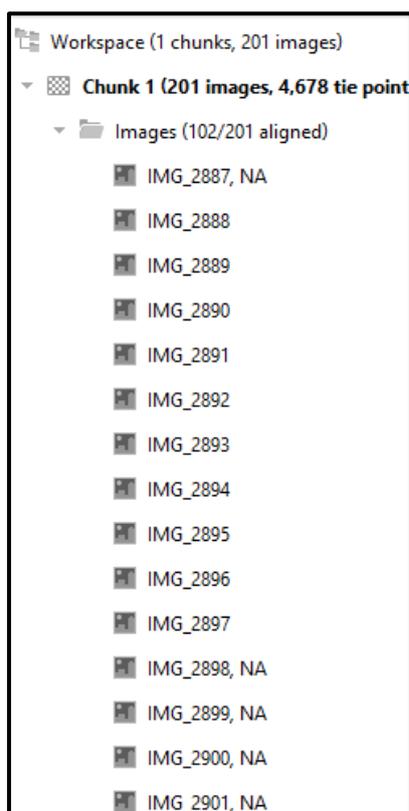


Ilustración 16: Fotos mal alineadas. Fuente: elaboración propia.

Para solucionar esto, se añadieron 14 puntos de apoyo manuales, los cuales son marcadores definidos por el usuario que ayuda al software a reconocer características correspondientes en múltiples imágenes.

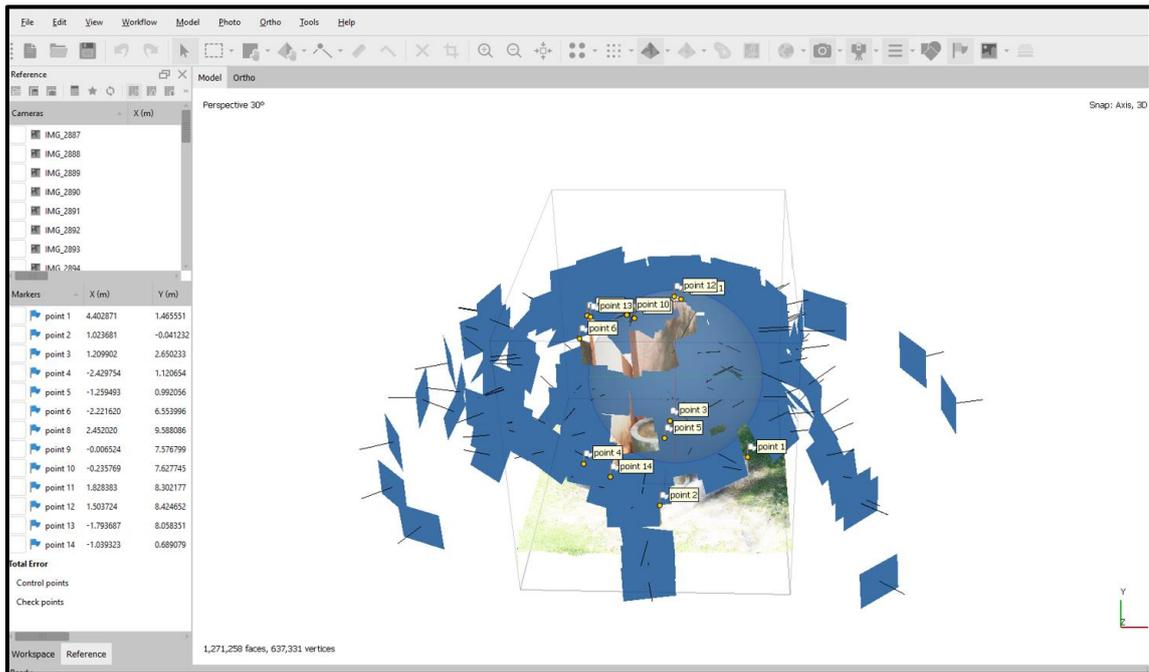


Ilustración 17: Los 14 puntos de apoyo introducidos manualmente. Fuente: elaboración propia.

La incorporación de estos puntos permitió alinear las 201 imágenes.

Calibración de la cámara:

La calibración de la cámara en Agisoft Metashape es un paso crucial para asegurar un procesamiento fotogramétrico preciso. Este proceso permite al software interpretar correctamente las imágenes capturadas, ajustando posibles distorsiones de la lente y otras características ópticas inherentes a la cámara utilizada.

Al cargar las imágenes en un nuevo proyecto y alinearlas, Metashape realiza automáticamente una calibración de la cámara, ajustando parámetros intrínsecos como la longitud focal etc., basándose en los datos de la imagen. Esta calibración automática es fundamental para la reconstrucción precisa del modelo tridimensional.

Para este proyecto, la calibración de la cámara se ha realizado de manera automática en Metashape, obteniendo un modelo de cámara distinto para cada configuración de longitud focal empleada. Esto implica que se generaron tres modelos de cámara diferentes.



Generación y limpieza de la nube de puntos densa:

Con todas las imágenes alineadas, se genera una nube de puntos densa que representa las coordenadas tridimensionales de la superficie de la escultura. Esta nube de puntos es la base del modelo 3D, capturando los detalles más finos del objeto.

Dado que la generación de la nube densa suele ser un proceso intensivo en tiempo, es recomendable iniciar este paso cuando sea posible dejar la computadora en funcionamiento sin supervisión durante varias horas.

Para gestionar este proceso de manera eficiente, se utiliza la herramienta de **procesamiento por lotes** en el menú de flujo de trabajo, agregando el paso de generación de la nube densa con los siguientes parámetros:

Calidad: media

Nivel de filtrado: leve

Esta elección permite un equilibrio entre la precisión del modelo y la eficiencia del procesamiento, evitando tiempos excesivos sin comprometer significativamente la calidad del modelo. (Agisoft *Metashape User Manual*)

Durante este proceso, es común que la nube inicial contenga ruido, así como puntos incorrectos causados por sombras, reflejos y errores en el procesamiento. En este proyecto, se generó una nube de puntos que contiene más de 4 millones de puntos. Para mejorar la precisión y calidad visual del modelo, se realizó una limpieza minuciosa de la nube, eliminando los puntos que no pertenecían a la escultura.

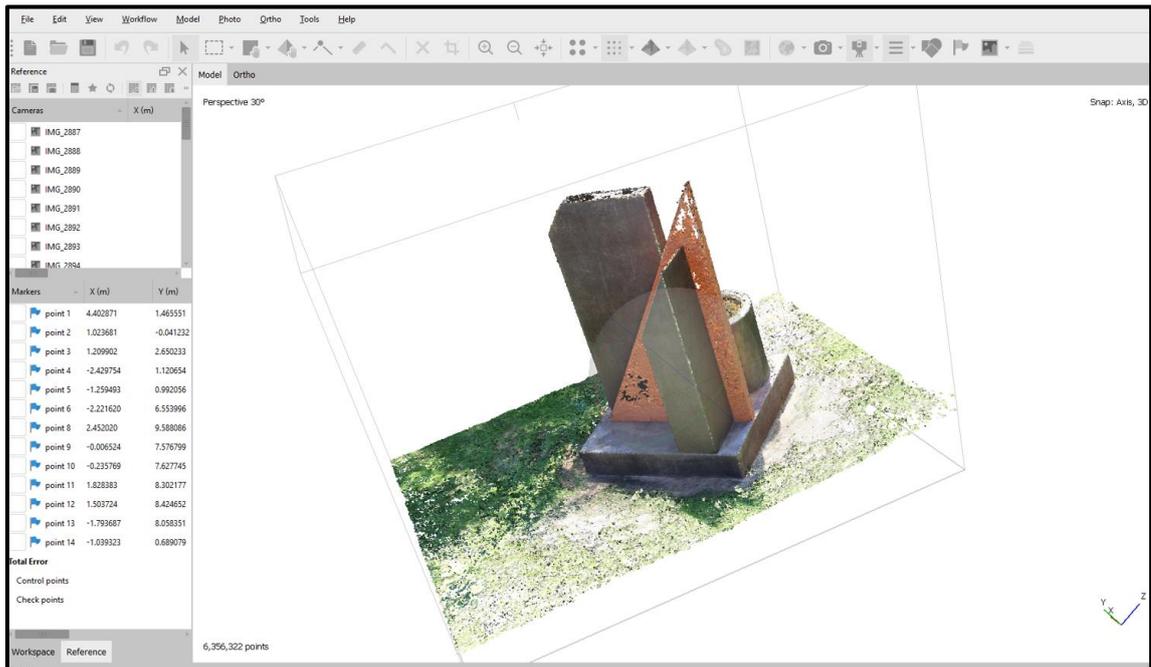


Ilustración 18: nube de puntos. Fuente: Elaboración propia.

Creación de la malla 3D:

A partir de la nube de puntos limpia, se procede a la creación de la malla 3D, que consiste en un conjunto de polígonos interconectados que conforman la superficie de la escultura. Este paso transforma la nube de puntos dispersos en una representación tridimensional continua y detallada del objeto.

Se utilizaron los siguientes parámetros: calidad media, nivel de filtrado leve y cantidad de caras alta.

La opción de tipo de superficie seleccionada fue arbitraria. Esta elección permite la representación de geometrías complejas y variadas, adaptándose a la naturaleza irregular de la escultura. Además, se activó la interpolación para asegurar que cualquier hueco o vacío en la malla se cerrara de manera adecuada. (Agisoft Metashape Professional Help. (n.d.). Creating 3D Mesh.)

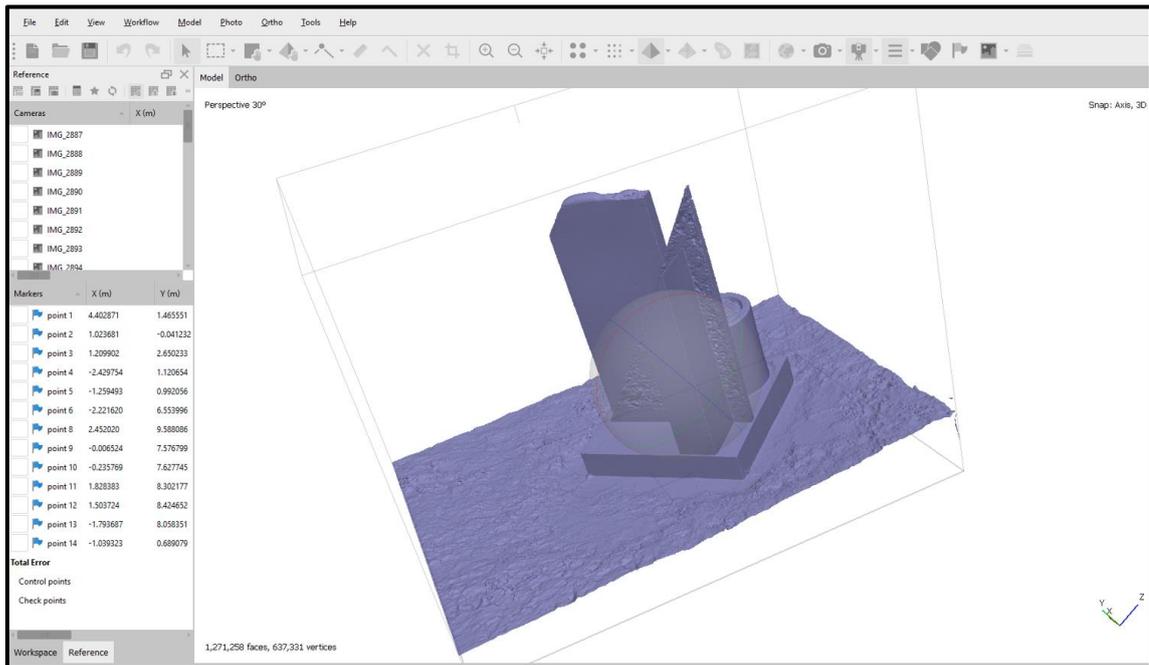


Ilustración 19: creación de mallado 3D. Fuente: elaboración propia.

Texturización del modelo:

Una vez generada la malla, se aplica una textura utilizando las imágenes originales capturadas. La texturización consiste en proyectar las imágenes sobre la malla 3D para añadir color y detalles visuales que reflejan la apariencia real del objeto. Este paso es crucial para aumentar el realismo del modelo, haciéndolo visualmente similar a la escultura original.

Para esta fase, se utilizaron los siguientes parámetros:

Calidad de la textura: Media

Modo de filtrado: Leve

Se eligió el modo de texturización genérico, que es adecuado para geometría arbitraria y permite una parametrización efectiva del atlas de texturas, buscando crear una textura uniforme y coherente. Este método ayuda a lograr una representación detallada y fiel del objeto, contribuyendo al realismo general del modelo 3D. (Agisoft Metashape Professional Help. (n.d.). *Creating Textures.*)

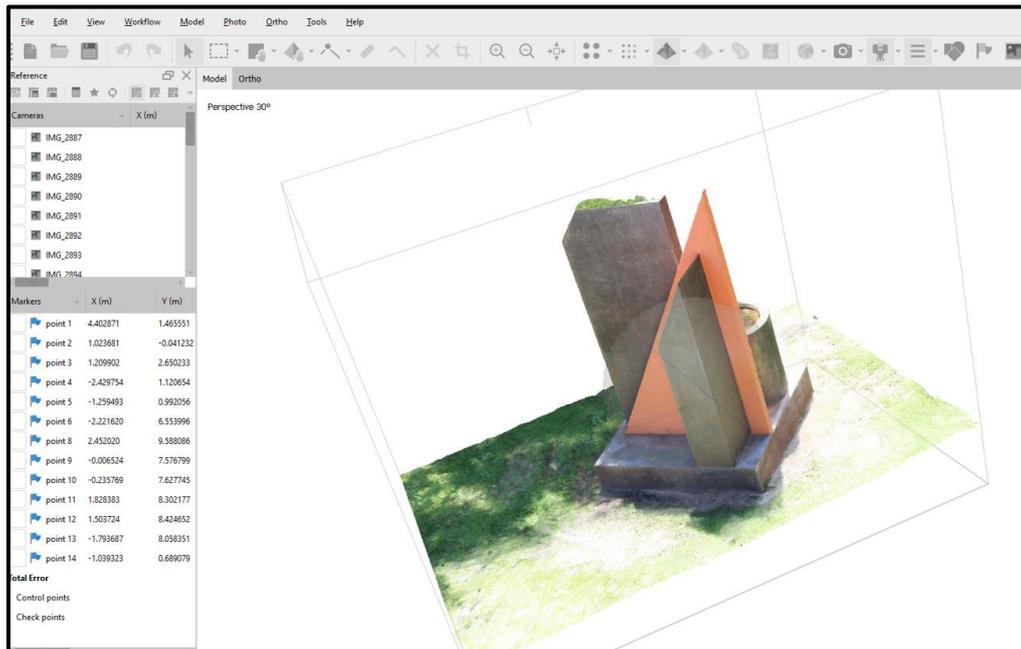


Ilustración 20: Texturización del modelo. Fuente: elaboración propia.

Exportación del modelo:

El modelo final, con la malla y texturas aplicadas, se exporta en formatos compatibles como OBJ o STL para su uso en presentaciones, análisis adicionales, o integración en otros programas.

En este proyecto, el modelo 3D final se ha guardado en formato OBJ. Este formato es ampliamente compatible con diversas plataformas de visualización y edición 3D, lo que facilita su integración en otros softwares y entornos.



Ilustración 21: Resultado final con Agisoft Metashape. Fuente: elaboración propia.

Procesamiento de datos con PhotoModeler:

En esta segunda sección de este apartado se describe el proceso de generación de un modelo 3D utilizando PhotoModeler.

A continuación, se describen los pasos de los procedimientos seguidos en este proyecto:

Importación de imágenes en el programa:

Se utilizaron 12 fotos para esta parte del proyecto, se importan en PhotoModeler creando un nuevo proyecto.

El software analiza las imágenes y prepara los datos para su procesamiento.

En el proceso de calibración de la cámara con PhotoModeler, se emplearon los datos de una calibración previa de la cámara.

Orientación de las imágenes:

En primer lugar, se realiza una orientación fotogramétrica de las imágenes capturadas a la escultura. Este proceso implica identificar puntos comunes en múltiples fotografías, para calcular las posiciones y orientaciones relativas de las cámaras. Esta alineación de imágenes es fundamental para garantizar una representación precisa de la escena en el espacio 3D. (PhotoModeler User Guide).



Ilustración 22: identificación de puntos comunes. Fuente: elaboración propia.

Creación del Modelo de Alambre 3D

Una vez orientadas las imágenes, sobre cada imagen se traza líneas que conecten los puntos de control y sigan los contornos de la escultura. Estas líneas definirán la geometría básica del modelo 3D.

PhotoModeler utiliza las líneas trazadas para crear un modelo de alambre, o "Wire Frame model". Este modelo muestra únicamente los bordes y vértices del objeto, sin incluir superficies ni texturas, y proporciona una representación básica de la geometría del objeto. (PhotoModeler User Guide).

El modelo de alambre es esencial para verificar la estructura y precisión del objeto antes de añadir detalles adicionales. Permite una visualización clara de la forma y estructura subyacente, facilitando ajustes y refinamientos necesarios para asegurar que el modelo tridimensional final sea exacto. (PhotoModeler User Guide).

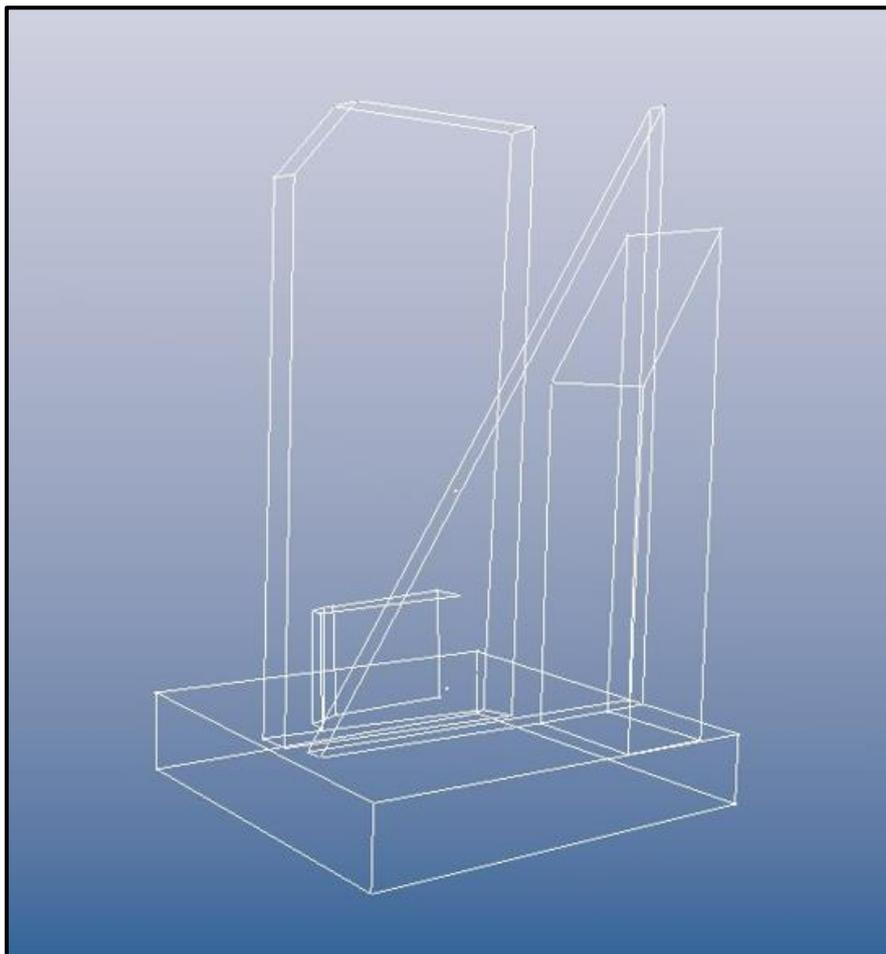


Ilustración 23: Modelo de alambre 3D. Fuente: elaboración propia.

Creación de superficies:

Una vez finalizado el modelo de alambre, el siguiente paso es crear superficies al modelo. En PhotoModeler, este proceso consiste en seleccionar grupos de líneas conectadas y crear superficies que se ajusten a esos contornos. El software generará automáticamente una superficie que rellene este contorno, creando así un modelo sólido.

Se continúa aplicando superficies hasta cubrir completamente el modelo de alambre. Se verifica que las superficies se ajusten correctamente a la geometría del objeto. Para objetos con superficies o curvas complejas, se utilizan las herramientas de PhotoModeler para ajustar las propiedades de las superficies, como la suavidad o curvatura.

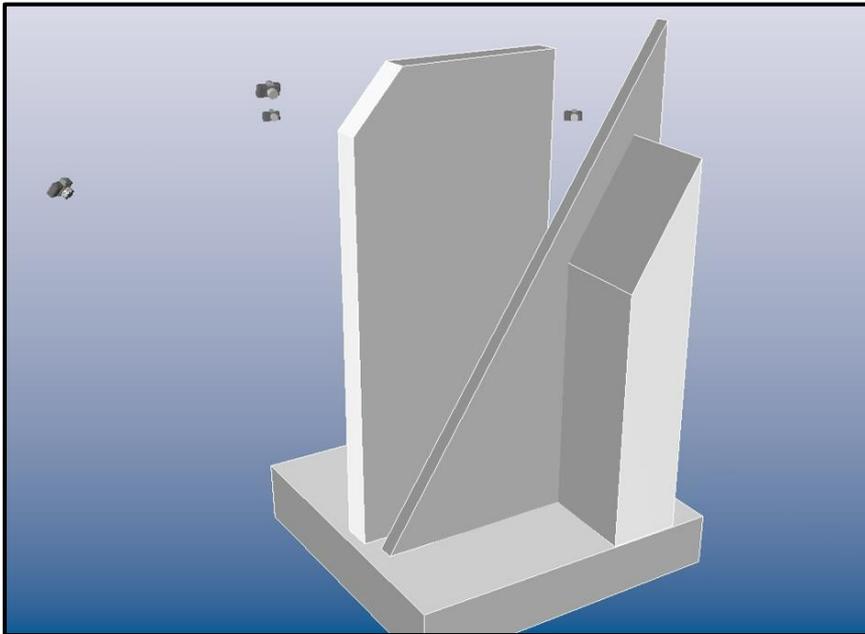


Ilustración 24: aplicación de superficies. Fuente: elaboración propia.

Aplicación de textura al modelo:

Una vez aplicadas las superficies, se realizó el mapeo de texturas utilizando las imágenes originales para proyectar texturas sobre las superficies, dando al modelo una apariencia realista.

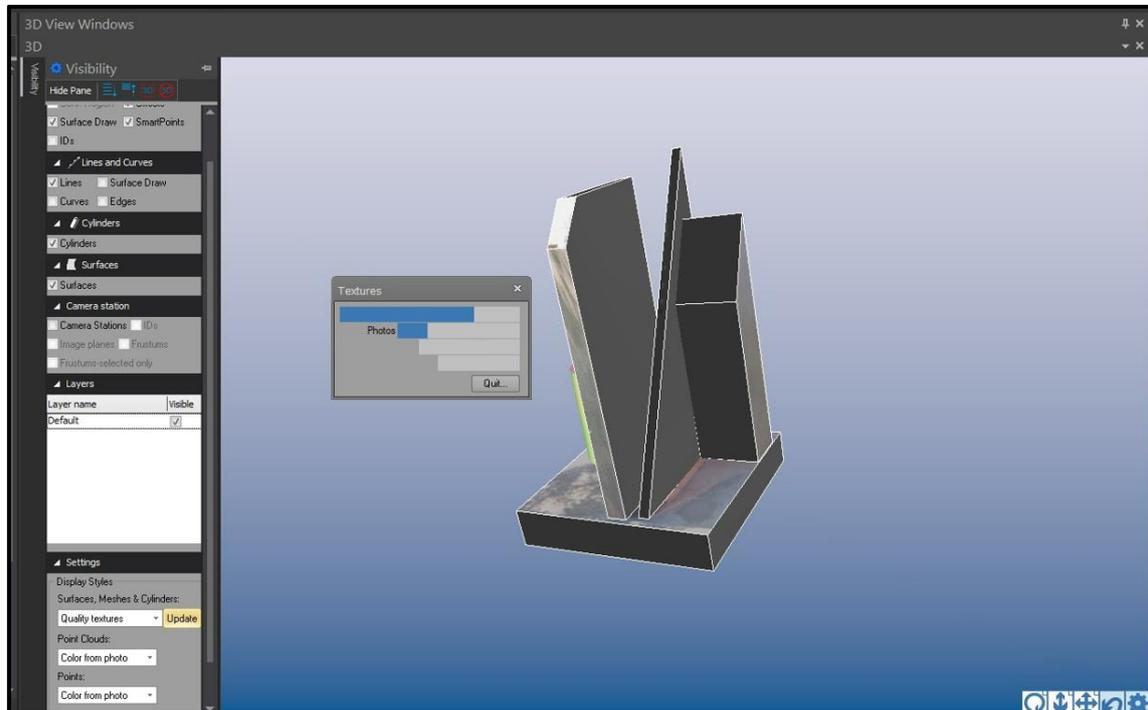


Ilustración 25: Aplicación de textura. Fuente: elaboración propia.

Exportación del modelo:

El modelo final, se exporta en el formato deseado como OBJ o STL, para su uso en otros softwares. En este caso, se ha guardado en formato OBJ. Ya que como se ha mencionado anteriormente que es un formato ampliamente compatible con diversas plataformas de visualización y edición 3D, lo que facilita su integración en otros softwares y entornos.

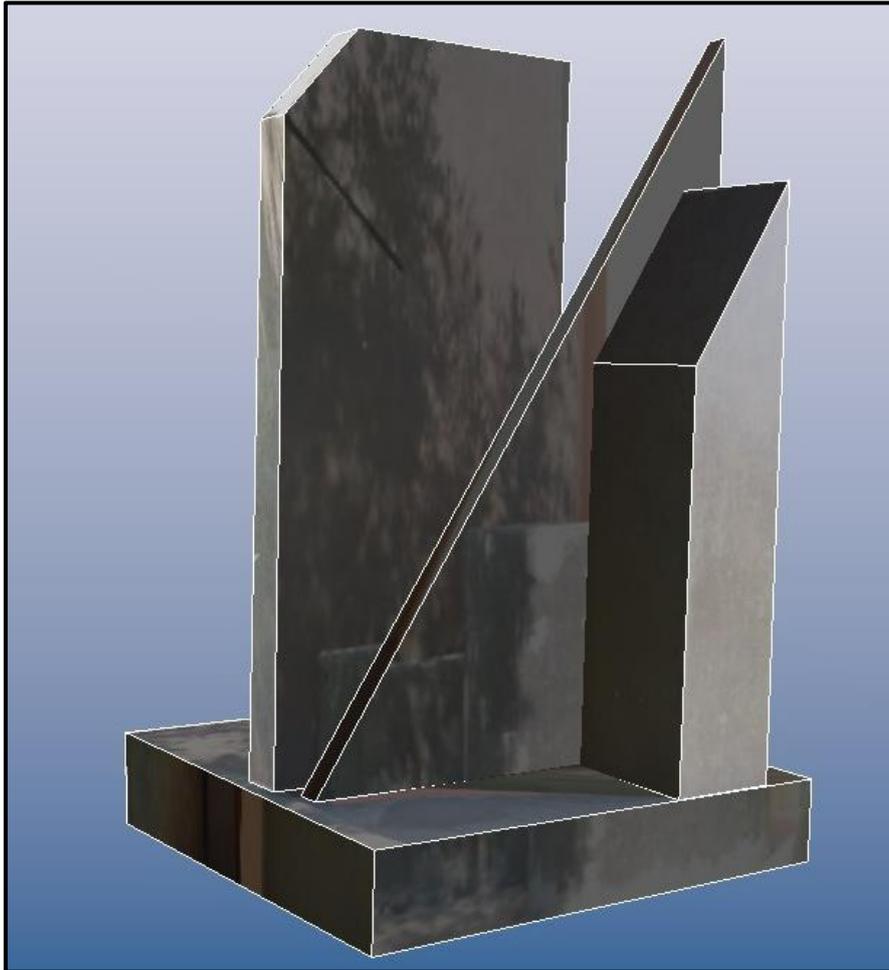


Ilustración 26: resultado final con PhotoModeler. Fuente: elaboración propia.

Análisis comparativo (resultados):

Escalar modelos:

Utilizando el software MeshLab, se realizará una revisión de los dos modelos 3D para asegurar que están correctamente escalados y para realizar ajustes si es necesario. Se cargarán los archivos en formato .OBJ en el programa, y mediante las herramientas de edición, se verificará que las distancias sean las correctas y que los modelos estén adecuadamente escalados.

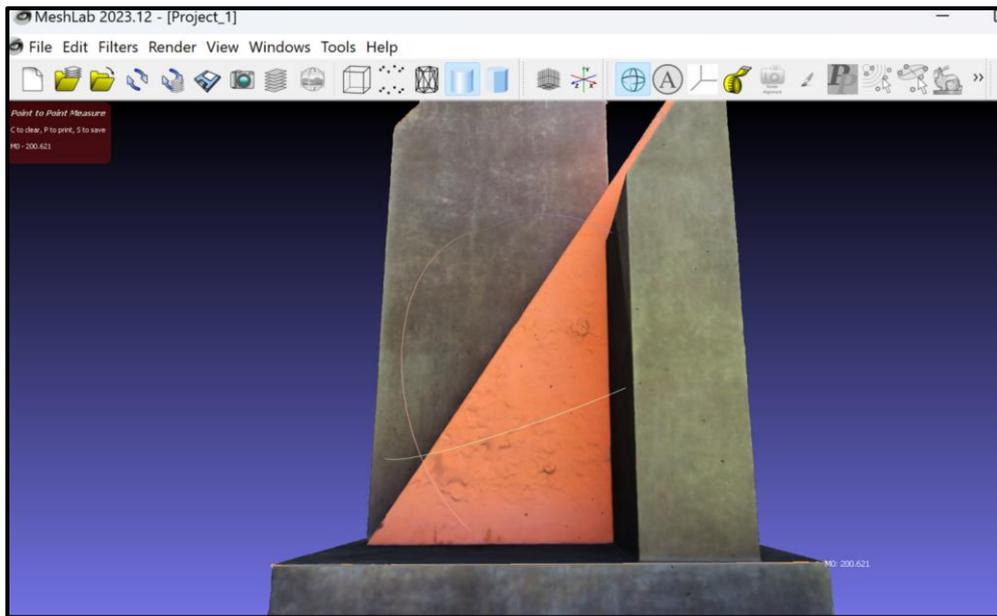


Ilustración 27: comprobación escala del modelo con Agisoft Metashape. Fuente: elaboración propia.

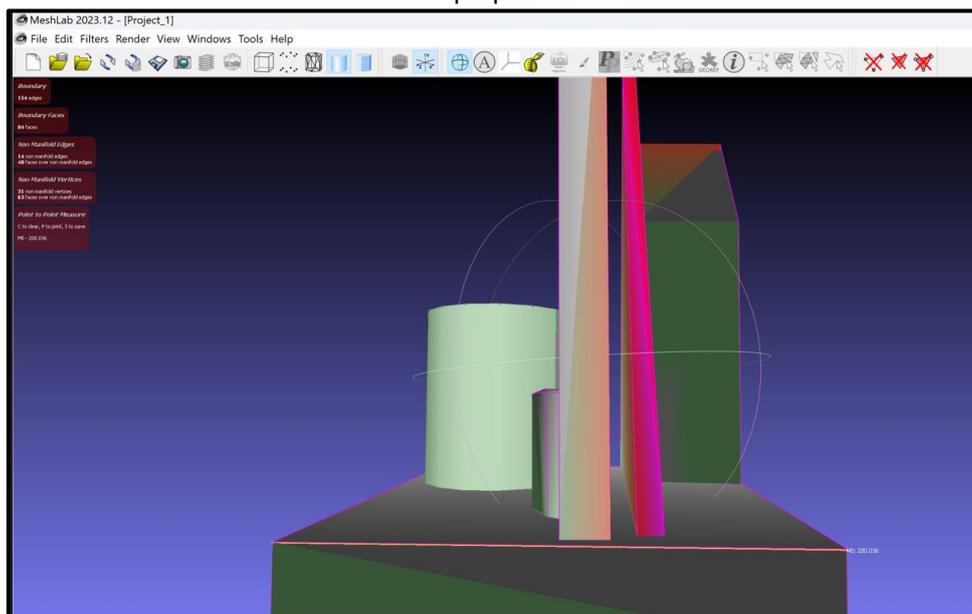


Ilustración 28: comprobación escala del modelo con PhotoModeler. Fuente: elaboración propia.

Comparar resultados:

Para llevar a cabo la comparación de los modelos 3D generados mediante diferentes metodologías, se utilizó el software CloudCompare. El proceso comenzó con la importación de los archivos .obj que contienen las mallas 3D de ambos modelos, como se puede observar en la siguiente ilustración, tienen la misma escala, pero no la misma orientación.

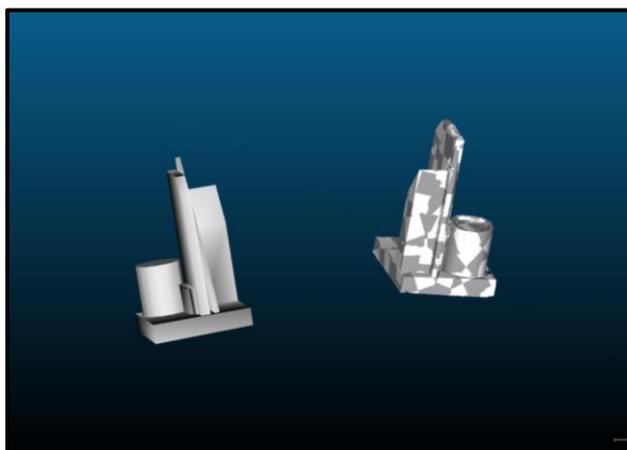


Ilustración 29: importación de los modelos al Cloud compare. Fuente: elaboración propia.

Se procedió a la alineación de ambos modelos para asegurar que coincidieran en el mismo sistema de coordenadas. Para lograr esta alineación, se utilizó la herramienta de **"Registration-> Align"** de CloudCompare, en la cual se seleccionaron tres puntos correspondientes en cada una de las nubes.

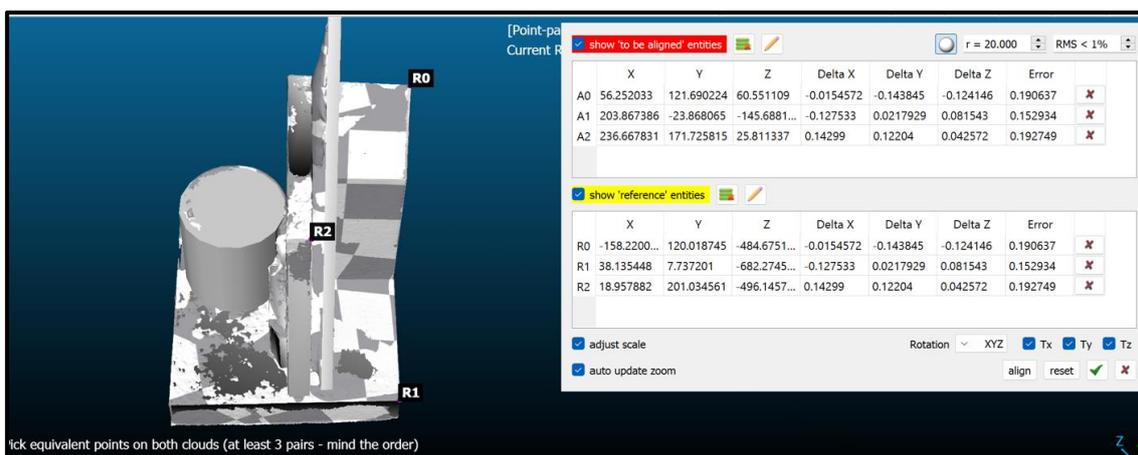


Ilustración 30: Selección de los tres puntos. Fuente: elaboración propia.

Una vez que las nubes de puntos están alineadas, se utilizó la función **"Cloud to Cloud Distance (C2C)"** para calcular las diferencias entre ellas. Esta herramienta mide las distancias entre puntos correspondientes en ambas nubes y proporciona una visualización detallada de las discrepancias.

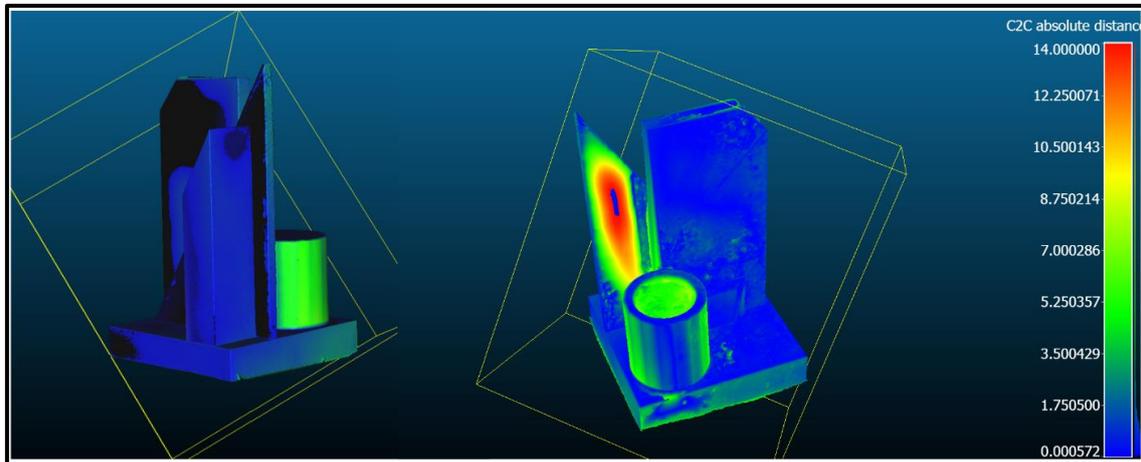


Ilustración 31: resultado de la comparación. Fuente: elaboración propia.

En la comparación de los modelos 3D, se utilizó una escala de colores que va desde el azul hasta el rojo, las discrepancias se muestran en términos de píxeles, donde los valores oscilan desde 0.005 representados en azul, indicando casi ninguna discrepancia, hasta 14 representados en rojo, señalando las mayores diferencias entre los modelos.

Presupuesto:

Para la elaboración del presupuesto del proyecto de fotogrametría y modelado 3D, se ha considerado tanto el coste del personal técnico como el gasto asociado al software y al equipo. Los datos del presupuesto, incluidos los salarios y los gastos relacionados, se basan en la normativa vigente publicada en el Boletín Oficial del Estado (BOE).

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

Ilustración 32: tabla salarial según XX convenio. Fuente: BOE (2023)

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 33: esquema del agrupamiento de los puestos de trabajos por grupo profesional y nivel salarial. Fuente: BOE (2023)

Presupuesto del proyecto

El siguiente presupuesto detalla los costes principales del proyecto, incluyendo el salario del técnico y el equipo necesario, basado en la normativa del BOE del grupo 2. Esta tabla incluye todos los costes y gastos:

Concepto	Detalles	Coste (€)
1. Costes Directos del proyecto		
a. Coste del personal técnico		
- Salario bruto anual	Según convenio colectivo nacional de ingeniería	21.031,52
- Seguridad social (40%)	8.412,61 €	8.421,61
- Coste total del personal técnico	Anual	29.444,13
- Horas dedicadas al proyecto	10 días de trabajo	
- Coste horario	16,73 €/hora	
- Coste del personal para proyecto	10 días * 8 horas/día * 16,73 €/hora	1.338,40
b. Coste del software		
- Licencia Agisoft Metashape	1.900€ al año	1.900
- Licencia PhotoModeler	1.200€ al año	1.200,00
- Coste proporcional de Agisoft	316,67 € (duración del proyecto /12)	316,67
- Coste proporcional de PhotoModeler	200,00 € (duración del proyecto /12)	200
- Coste total del software		516,67
c. Coste de la cámara		
- Canon EOS 700D	Coste proporcional para el proyecto	250
2. Cálculo total del presupuesto		
- Coste del personal técnico		1.338,40
- Coste del software		516,67
- Coste de la cámara		250
- Coste total del proyecto		2.105,07
3. Beneficio y total final		
- Beneficio (25% sobre los gastos)	2.105,07 € * 0,25	526,27
Presupuesto total del proyecto		2.631,34

Tabla 5: Presupuesto del proyecto. Fuente: elaboración propia



Conclusiones:

El presente trabajo ha cumplido con éxito los objetivos planteados, logrando la creación y comparación de modelos tridimensionales de la escultura "Otoño" mediante la aplicación de técnicas avanzadas de fotogrametría.

La precisión de cada software depende en gran medida de su metodología de reconstrucción. Ambos softwares tienen ventajas y limitaciones, y su elección depende de la naturaleza de la superficie y los detalles requeridos.

El análisis demuestra que cada software aporta diferentes niveles de detalle y precisión según su método de reconstrucción y la naturaleza de las superficies modeladas, permitiendo valorar sus capacidades y áreas de mejora en el ámbito del modelado y documentación 3D.



Bibliografías

- **Agisoft LLC.** (2024). *Agisoft Metashape Professional Edition User Manual*. Agisoft LLC. Disponible en: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_8_en.pdf
- **Remondino, F., & El-Hakim, S.** (2006). Image-based 3D modelling: A review. *The Photogrammetric Record*, 21(115), 269-291. DOI: 10.1111/j.1477-9730.2006.00383.x
- **An introduction to 3D photogrammetry using Agisoft Metashape.** Disponible en: <https://uidronelab.org/2024/07/01/introduction-to-agisoft-metashape/>
- **Leica Geosystems. (n.d.).** *Leica Zeno FLX100 Smart Antenna Technical Specifications*. Leica Geosystems. Recuperado de <https://leica-geosystems.com/products/gis-collectors/smart-antennas/leica-zeno-flx100-plus>
- **PhotoModeler Technologies. (2021).** *PhotoModeler User Guide*. PhotoModeler Technologies. En: <https://www.photomodeler.com/pm-support/>
- **Rueda, Gerardo.** *Otoño, 1992*. Museo Campus Escultòric de la Universitat Politècnica de València (MUCAES-UPV), València.
- **Universitat Politècnica de València.** "Museo Campus Escultòric de la UPV." UPV.es, Universitat Politècnica de València.
- **Canon Europe.** *Canon EOS 700D Specifications*. Canon Europe. Disponible en: https://www.canon-europe.com/for_home/product_finder/cameras/digital_slr/eos_700d/specifications/
- **Wikipedia.** (2024). *Wireframe model*. En Wikipedia, La enciclopedia libre. https://en.wikipedia.org/wiki/Wireframe_model
- **Eos Systems Inc. (2023).** *PhotoModeler User Manual*. Eos Systems Inc. Disponible en: <https://www.photomodeler.com> (Manual oficial que explica detalladamente las funciones de modelado, alineación y texturización en PhotoModeler).
- **CloudCompare (2024).** *CloudCompare v2.12 Documentation*. CloudCompare Team. Disponible en: <https://www.cloudcompare.org> (Documentación que cubre funciones de comparación y exportación de datos, complementando el flujo de trabajo de modelado y texturización).



Anexos:

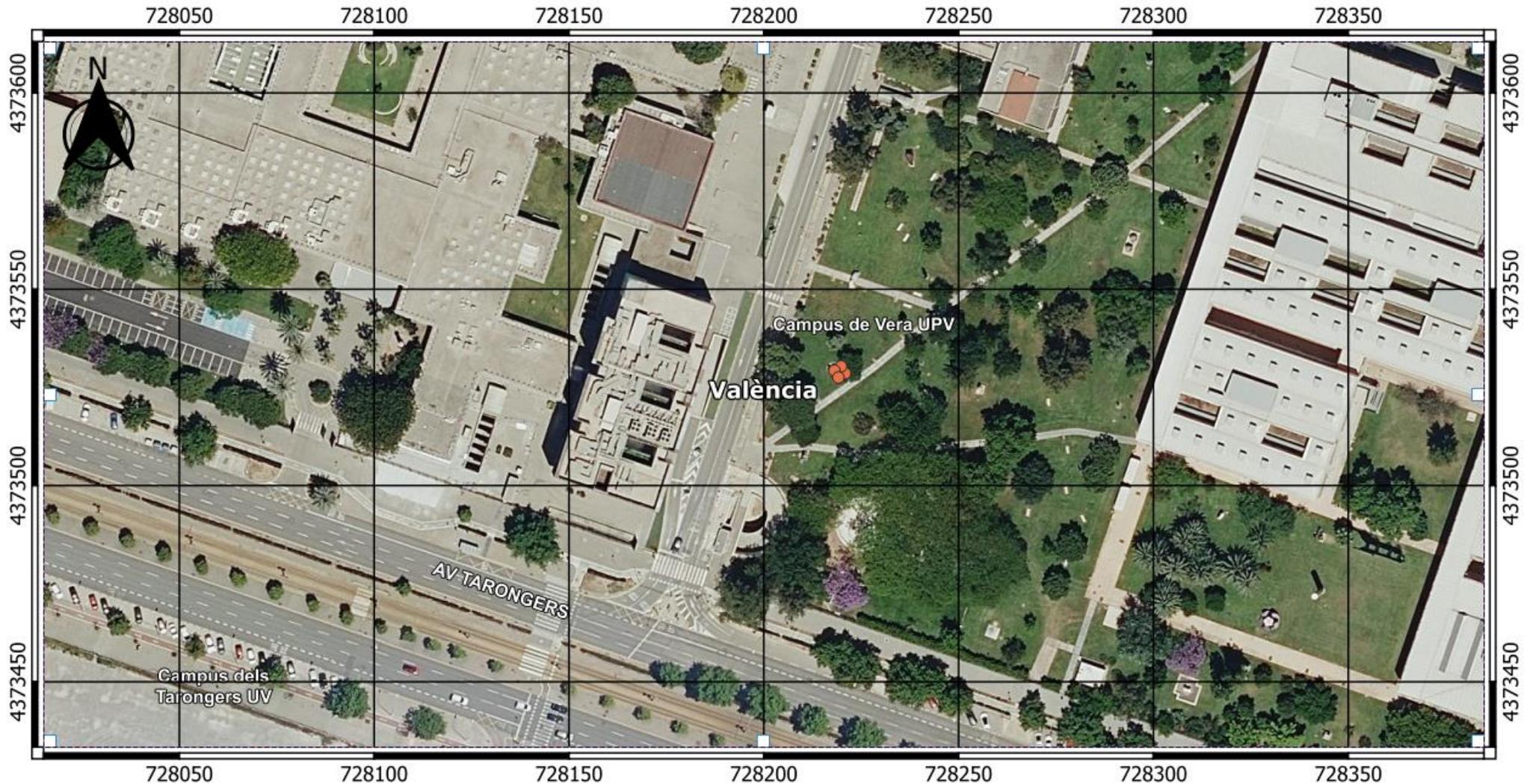
Anexo 1: Plano de emplazamiento

Anexo 2: Informe de calidad Agisoft Metashape

Anexo 3: Informe de calidad PhotoModeler.



Plano de emplazamiento



Escala: 1 / 1500

Leyenda:

- Ubicación de la escultura

Proyección UTM. Datum ETRS89. Huso 30.

Orto Imagen: Ortofotos del PNOA.

Información de la orto: IGNBaseOrto

Las coordenadas en negro corresponden a la cuadrícula kilométrica UTM.

Unidades en metros.



Autora:

Sara Benrais

Tutora:

Matilde Balaguer Puig

Fecha:

05 de septiembre del 2024



Anexo2:

Agisoft Metashape

Processing Report
02 September 2024



Survey Data

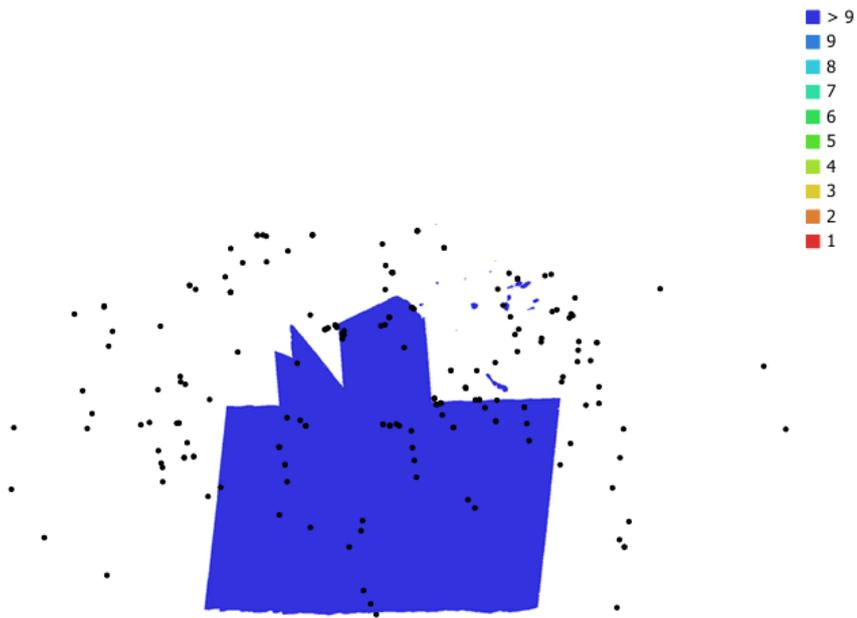


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images: 201

Camera stations: 201

Tie points: 142,635

Projections: 484,495

Reprojection error: 2.05 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
Canon EOS 700D, EF-S18-...	5184 x 3456	18 mm	4.38 x 4.38 μ m	No
Canon EOS 700D, EF-S18-...	5184 x 3456	20 mm	4.38 x 4.38 μ m	No
Canon EOS 700D, EF-S18-...	5184 x 3456	24 mm	4.38 x 4.38 μ m	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

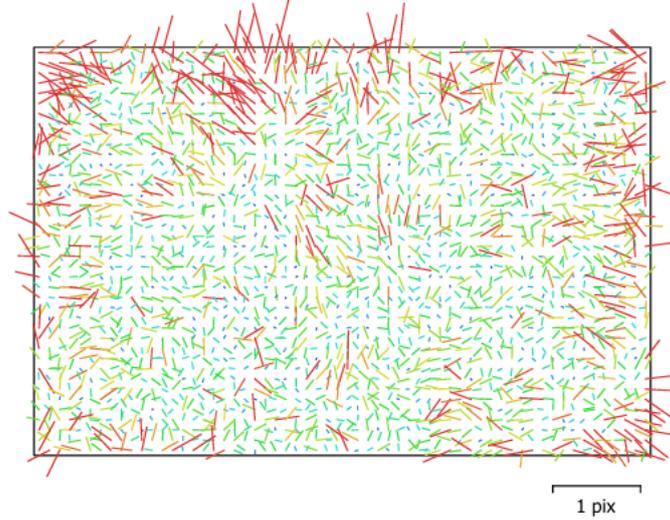


Fig. 2. Image residuals for Canon EOS 700D, EF-S18-55mm f/3.5-5.6 IS STM (18mm).

Canon EOS 700D, EF-S18-55mm f/3.5-5.6 IS STM (18mm)

192 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	5184 x 3456	18 mm	4.38 x 4.38 μm

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	4289.1	0.14	1.00	-0.01	-0.11	-0.51	0.43	-0.37	0.00	0.01
Cx	5.00334	0.28		1.00	-0.05	0.02	-0.02	0.03	0.88	-0.01
Cy	-26.5838	0.27			1.00	-0.01	-0.01	0.02	-0.05	0.65
K1	-0.167439	0.00027				1.00	-0.96	0.90	-0.01	-0.04
K2	0.152367	0.0012					1.00	-0.98	-0.00	0.01
K3	-0.0249945	0.0015						1.00	0.01	-0.01
P1	0.000615543	1.6e-05							1.00	-0.01
P2	-0.00153076	1.4e-05								1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Calibration

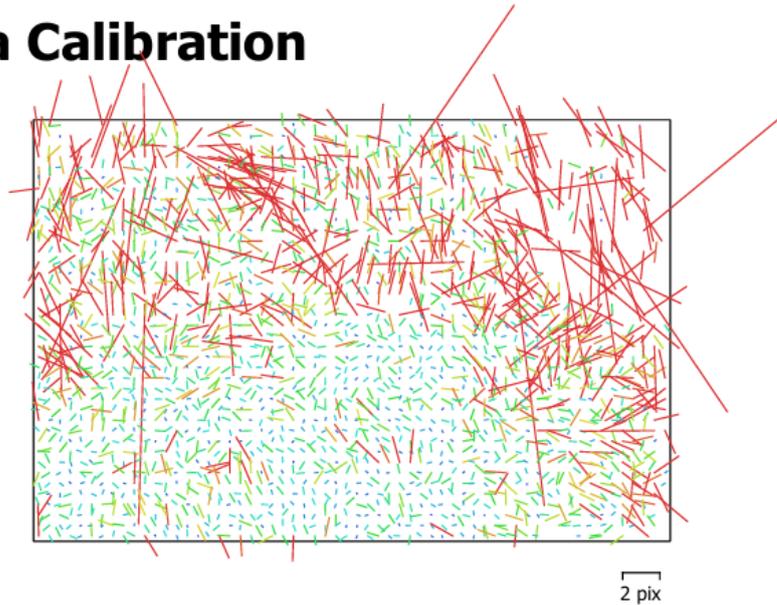


Fig. 3. Image residuals for Canon EOS 700D, EF-S18-55mm f/3.5-5.6 IS STM (20mm).

Canon EOS 700D, EF-S18-55mm f/3.5-5.6 IS STM (20mm)

7 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	5184 x 3456	20 mm	4.38 x 4.38 μm

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	4474.07	0.59	1.00	0.15	-0.04	-0.86	0.77	-0.70	0.14	0.13
Cx	7.02675	2		1.00	0.00	-0.10	0.08	-0.08	0.94	-0.09
Cy	19.7336	1.3			1.00	0.01	-0.03	0.07	-0.07	0.42
K1	-0.197535	0.0021				1.00	-0.97	0.92	-0.07	-0.12
K2	0.289287	0.0099					1.00	-0.98	0.06	0.10
K3	-0.180605	0.014						1.00	-0.06	-0.11
P1	0.000339581	0.00011							1.00	-0.12
P2	-0.00035668	6.1e-05								1.00

Table 3. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Calibration

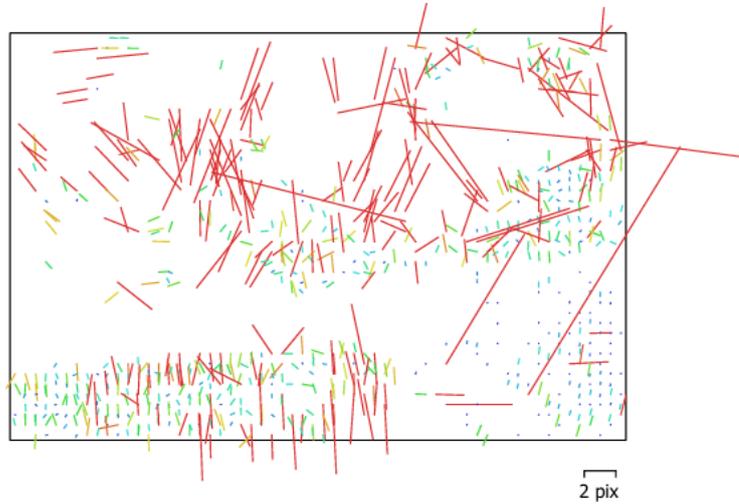


Fig. 4. Image residuals for Canon EOS 700D, EF-S18-55mm f/3.5-5.6 IS STM (24mm).

Canon EOS 700D, EF-S18-55mm f/3.5-5.6 IS STM (24mm)

2 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	5184 x 3456	24 mm	4.38 x 4.38 μm

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	5323.04	3.7	1.00	0.03	0.17	-0.89	0.78	-0.70	-0.00	0.09
Cx	-57.8635	12		1.00	-0.45	-0.06	0.09	-0.10	0.92	-0.69
Cy	7.21566	9.8			1.00	-0.12	0.07	-0.06	-0.55	0.50
K1	-0.125959	0.015				1.00	-0.97	0.93	-0.04	0.01
K2	0.137535	0.093					1.00	-0.99	0.08	-0.06
K3	-0.0216999	0.18						1.00	-0.10	0.06
P1	0.00212079	0.00076							1.00	-0.49
P2	-0.000203306	0.00035								1.00

Table 4. Calibration coefficients and correlation matrix.



Digital Elevation Model

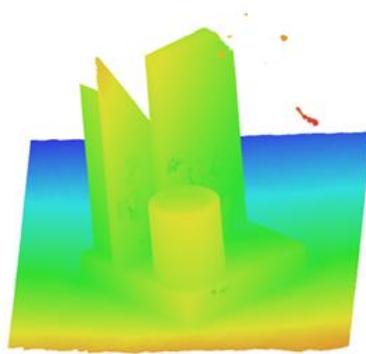


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.



Processing Parameters

General

Cameras	201
Aligned cameras	201
Markers	13
Coordinate system	Local Coordinates (m)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Tie Points

Points	142,635 of 218,151
RMS reprojection error	0.23672 (2.04811 pix)
Max reprojection error	0.751738 (73.7853 pix)
Mean key point size	7.92579 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	3.5074

Alignment parameters

Accuracy	Medium
Generic preselection	Yes
Reference preselection	No
Key point limit	40,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	4,000
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	8 minutes 8 seconds
Matching memory usage	299.38 MB
Alignment time	1 minutes 41 seconds
Alignment memory usage	98.06 MB
Date created	2024:07:05 06:11:38
Software version	1.7.6.13524
File size	15.59 MB

Depth Maps

Count	201
Depth maps generation parameters	
Quality	Medium
Filtering mode	Mild
Max neighbors	40
Processing time	32 minutes 24 seconds
Memory usage	1.56 GB
Date created	2024:07:05 06:49:11
Software version	1.7.6.13524
File size	246.17 MB

Point Cloud

Points	4,260,524
Point attributes	
Color	3 bands, uint8
Normal	
Confidence	☹ - (
Point classes	
Created (never classified)	4,260,524



Depth maps generation parameters	
Quality	Medium
Filtering mode	Mild
Max neighbors	40
Processing time	32 minutes 24 seconds
Memory usage	1.56 GB
Point cloud generation parameters	
Processing time	4 minutes 25 seconds
Memory usage	6.79 GB
Date created	2024:07:05 06:53:36
Software version	1.7.6.13524
File size	154.96 MB
Model	
Faces	885,400
Vertices	444,225
Vertex colors	3 bands, uint8
Depth maps generation parameters	
Quality	Medium
Filtering mode	Mild
Max neighbors	40
Processing time	32 minutes 24 seconds
Memory usage	1.56 GB
Reconstruction parameters	
Surface type	Arbitrary
Source data	Depth maps
Interpolation	Enabled
Strict volumetric masks	No
Processing time	9 minutes 46 seconds
Memory usage	1.26 GB
Date created	2024:07:08 08:16:36
Software version	2.1.2.18358
File size	20.29 MB
Tiled Model	
Texture	3 bands, uint8
Depth maps generation parameters	
Quality	Medium
Filtering mode	Mild
Max neighbors	40
Processing time	32 minutes 24 seconds
Memory usage	1.56 GB
Reconstruction parameters	
Source data	Depth maps
Tile size	256
Face count	Medium
Enable ghosting filter	No
Processing time	1 hours 1 minutes
Memory usage	6.34 GB
Date created	2024:07:08 10:20:09
Software version	2.1.2.18358
File size	96.75 MB
System	
Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	2.0.2 build 16102
OS	Windows 64 bit
RAM	15.88 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-6820HQ CPU @ 2.70GHz



|GPU(s)

None



Anexo3:

Summary

Last Processing			
Software Version: PhotoModeler 2024.2.0.293 (64-bit)			
Date: Tue Sep 10 11:22:16 2024			

Photo Summary			
	Total	Oriented	Not Oriented
Photos	12	12	0

Point Summary			
	Count	Maximum Residual	Overall RMS Residual
Manually marked	41	5.45	1.98
Sub-pixel	0	n/a	0
SmartPoints	0	n/a	0

Mesh Summary	
0 points in 0 point clouds	
0 triangles in 0 triangulated meshes	

Coordinate system Summary	
Units: meters	
Scale set as 2.00 meters between Pt 345, Pt 2	
Rotation: Left to right (X axis) defined by: Pt 345 - Pt 98	
Bottom to top (Z axis) defined by: Pt 14 - Pt 17	
No translation defined	

External check Summary	
1 check distance (average delta: 0 m, 0%)	
0 check points (average delta: 0 m)	

Description / Notes	
None	


Page: 2



Quality

Photographs

Total Number: 12	Number Oriented: 12
------------------	---------------------

Cameras

Calibrated	Auto-calibrated	Field Calibrated	Inverse	Other
0	0	1	0	0

Photo coverage (percent)

Minimum: 22.3	Maximum: 41	Average: 34.6
---------------	-------------	---------------

Point Marking Residuals (pixels)

Minimum: 0.156	Maximum: 5.45	Point ID of Max: 268
----------------	---------------	----------------------

Point Marking RMS Residuals (pixels)

Minimum: 0.155 (pt:295)	Maximum: 5.13 (pt:268)	Overall: 2.33
-------------------------	------------------------	---------------

Point Angle (degrees)

Minimum: 16.1 (pt:149)	Maximum: 89.8 (pt:6)	Average: 70.3
------------------------	----------------------	---------------

Point Precisions (m)

Minimum: 0.00681 (pt:17)	Maximum: 0.0169 (pt:149)	Overall RMS: 0.00984
--------------------------	--------------------------	----------------------

Check distances (m)

Minimum: 0 (0%)	Maximum: 0 (0%)	Average: 0 (0%)
-----------------	-----------------	-----------------

Check points (m)

n/a		
-----	--	--





Camera [Canon EOS 700D [18.00]]

Calibration type	Field Calibration
Focal length (mm)	18.3
Image size (pixels)	5184 x 3456
Format size (mm)	22.4 x 15.2
Principal point (mm)	11.6 x 7.93
Lens distortion (K)	K1[0.000538] K2[-2.12e-06] K3[0]
Lens distortion (P)	P1[-0.000456] P2[0.000312]
Quality - Residuals	RMS[2.33] Max[5.45]
Quality - Coverage	68.5
Multispectral	No