

MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS EN INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Trabajo Final de Máster

Levantamiento fotogramétrico en zonas de escorrentía y análisis de mejoras en la planificación del vuelo para completar zonas ocultas.

Curso: 2020/21

Autor:

Muñoz Capilla, Francisco Javier

Fecha de entrega: 03 de septiembre de 2021



ÍNDICE GENERAL

1	Introducción	7
2	Objetivos.....	10
3	Medios empleados.....	12
3.1	Hardware	12
3.1.1	GPS Topcon HiPer Pro	12
3.1.2	Dron Inspire 2.....	14
3.2	Software.....	14
3.2.1	Metashape (Agisoft)	15
3.2.2	Leica Infinity	15
3.2.3	CloudComprare Stereo	16
3.2.4	QGis.....	16
3.2.5	Mission Planner.....	16
3.2.6	Litchi.....	17
4	Metodología de trabajo seguida.....	18
4.1	Trabajos preliminares.....	19
4.1.1	Procesado de información preliminar	20
4.2	Planificación de vuelo	24
4.2.1	Planificación con Mission Planner	25
4.2.2	Planificación con Litchi	27
4.2.3	Planificación con Metashape.....	35
4.3	Obtención de imágenes	37
4.4	Apoyo fotogramétrico	38
4.5	Procesado fotogramétrico	43
5	Resultados.....	47
5.1	Resultados obtenidos.....	47
5.1.1	Campaña 1 (12 de mayo).....	47
5.1.2	Campaña 2 (18 de junio).....	49
5.1.3	Campaña 3 (19 de julio)	51
5.2	Análisis de resultados	53
5.2.1	Precisión en los puntos de apoyo.....	54
5.2.2	Mejoras de precisión en sucesivas campañas.....	55
5.2.3	Mejoras en la superficie reconstruida	56
5.2.4	Precisión de la ortofoto resultante	57
6	Conclusiones / Desarrollos futuros.....	59
7	Bibliografía.....	61
8	ANEXO I - Procedimientos de vuelo	63
8.1	Preparación del dron.....	63
8.2	Ejecución del vuelo	64
8.3	Recogida del dron.....	67
9	ANEXO II – Operadora de vuelo.....	67

10	ANEXO III – Reseñas de estaciones GPS permanentes	76
11	ANEXO IV – Ajuste de Red.....	81
12	ANEXO V – Resultados de los ajustes fotogramétricos	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación de la zona de trabajo. Fuente: Google Maps.....	8
Figura 2.	Ortofoto de la zona de trabajo (1 cm de resolución) realizada a partir del vuelo del 20 de noviembre de 2020. Imágenes del vuelo y coordenadas del apoyo facilitadas por EROSLOP. Procesado realizado por Javier Muñoz	9
Figura 3.	Conjunto de receptores GPS utilizados	13
Figura 4.	Dron Inspire 2 y cámara Zenmuse X5S, antes de montar las hélices, y el gimbal con la cámara.....	14
Figura 5.	Flujo seguido en el desarrollo del presente trabajo.....	19
Figura 6.	Zona de talud vertical con visera que impide que se pueda levantar completamente mediante vuelos verticales.....	20
Figura 7.	Distribución de puntos de apoyo en el vuelo del 20 de nov. de 2020.....	20
Figura 8.	Planificación del vuelo del 20 de noviembre de 2020.....	21
Figura 9.	Parámetros de ejecución del vuelo del 20 de noviembre de 2020	22
Figura 10.	Valores de recubrimiento transversal para distintos formatos de imagen y un vuelo a 40 metros de altura, disparo cada 3 segundos y velocidad 12 km/h	22
Figura 11.	Zona de entrantes y huecos generados en la nube de puntos.....	23
Figura 12.	Restricciones de vuelo en la zona de trabajo, el día 1 de agosto.....	24
Figura 13.	Planificación con Mission Planner en modo “Grid”	25
Figura 14.	Planificación de vuelo en modo “Corridor”	26
Figura 15.	Planificación de vuelo con la opción "Spiral"	27

Figura 16. Líneas de vuelo paralelas (20 metros de separación), y recorrido de ida y vuelta sobre la zona de interés del torrente	28
Figura 17. Imagen del MDS usado para la determinación de alturas de la planificación donde puede observarse mayor resolución de este en la zona del levantamiento fotogramétrico.....	29
Figura 18. Proyectos de vuelo guardados en la nube para su uso.....	30
Figura 19. Calculadoras de diferentes parámetros de planificación de vuelo (verde: datos de entrada, azul: resultados, resto: datos fijos)	31
Figura 20. Planificación de vuelo del día 12 de mayo de 2021	32
Figura 21. Planificación de vuelo del día 18 de junio de 2021	33
Figura 22. Planificación del vuelo 1 del día 19 de julio de 2021	34
Figura 23. Planificación del vuelo 2 del día 19 de julio de 2021	34
Figura 24. Planificación del vuelo 3 del día 19 de julio de 2021	35
Figura 25. Opciones para Planificar misión óptima de Metashape.....	36
Figura 26. Planificación de misión óptima sobre un trozo de la zona de Vallcebre, realizada con Metashape.....	37
Figura 27. Dron equiPado con sistema IMU (detrás de la cámara) y una pértiga para las antenas GPS.....	39
Figura 28. Distribución de puntos de apoyo medidos durante la primera campaña de vuelo el día 12 de mayo de 2021	40
Figura 29. Observación mediante GPS del punto 306	41
Figura 30. Posición de las estaciones permanentes y zona de trabajo en el centro	41
Figura 31. Cálculo de baselines y tiempos comunes entre observaciones.....	42
Figura 32. Sistemas de coordenadas usados en el procesado fotogramétrico	43
Figura 33. Parámetros de medida de puntos de paso automáticos	43
Figura 34. Criterios de la opción de selección gradual para depurar los puntos medidos automáticamente.....	44
Figura 35. Parámetros de ajuste de la cámara	44
Figura 36. Corrección de Viñeteo en la calibración de la cámara	45

Figura 37.	Flujo de trabajo seguido en el procesado fotogramétrico	46
Figura 38.	Fotogramas obtenidos en los vuelos 1 (color rojo) y 2 (color blanco), de la campaña 1 (12 de mayo de 2021)	47
Figura 39.	Nube densa de puntos obtenida en la 1ª campaña de vuelo	48
Figura 40.	Ortofoto de la zona de trabajo con resolución de 1 cm, correspondiente a la 1ª campaña.....	49
Figura 41.	Comparativa de puntos de paso medidos entre los vuelos de la 1ª campaña (izquierda) y 2ª campaña (derecha).....	49
Figura 42.	Nube densa de puntos resultado de la 2ª campaña de vuelo	50
Figura 43.	Ortofoto de la zona de trabajo con resolución de 1 cm, correspondiente a la 2ª campaña.....	51
Figura 44.	Cobertura fotográfica de la 3ª campaña procesado conjuntamente. En color rojo el vuelo 1 y en color blanco los vuelos 2 y 3.....	51
Figura 45.	Comparativa de puntos de paso medidos entre los vuelos de la 2ª campaña (izquierda) y 3ª campaña (derecha).....	52
Figura 46.	Nube densa de puntos obtenida del procesado de las imágenes de la 3ª campaña de vuelo	53
Figura 47.	Ortofoto de la zona de trabajo con resolución de 1 cm, correspondiente a la 3ª campaña.....	53
Figura 48.	Imagen superior: nube de puntos obtenida con el vuelo de la 1ª campaña. Imagen inferior: nube de puntos obtenida con el vuelo de la 3ª campaña.....	56
Figura 49.	Imagen izquierda: ortofoto de la 2ª campaña. Imagen derecha: ortofoto de la 3ª campaña.....	57
Figura 50.	Dron Inspire 2 guardado en su caja	63
Figura 51.	Botón de encendido del dron y luces de estado.....	64
Figura 52.	Pantalla del programa Litchi con el dron desconectado	65
Figura 53.	Pantalla de acceso a la calibración de la brújula.....	65
Figura 54.	Pantalla con los parámetros de la misión para modificar	66



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Especificaciones de los receptores Topcon Hiper Pro (Fuente: https://www.soluciontopografia.com/data/2178/productos/0a8e3934bde743bdf850099217cc14ebeb7098d.pdf)	13
Tabla 2.	Ejemplo de formato CSV para importación en Litchi	30
Tabla 3.	Ejemplo de planificación en Excel del vuelo a 30 metros	30
Tabla 4.	Tabla comparativa de resultados entre vuelos	38
Tabla 5.	Tabla con las coordenadas calculadas de los puntos de apoyo (ETRS89. EPSG:25831)	42
Tabla 6.	Resultados del ajuste conjunto de los vuelos de la 1ª campaña (12 de mayo de 2021).....	48
Tabla 7.	Resultados del ajuste conjunto de los vuelos de la 2ª campaña	50
Tabla 8.	Resultados del ajuste conjunto de los vuelos de la 3ª campaña	52
Tabla 9.	Diferencias entre las coordenadas medidas en postproceso y en RTK (EPSG:25831, unidades en metros)	54
Tabla 10.	Errores en los puntos de control (medidos en postproceso) y en los de comprobación (medidos en RTK). Unidades expresadas en metros.....	55
Tabla 11.	Errores en la aerotriangulación de los vuelos según campañas.....	56
Tabla 12.	Puntos de la nube densa según campaña	57
Tabla 13.	Diferencias entre las coordenadas planimétricas de los puntos de control y comprobación medidos sobre ortofoto y las coordenadas medias con GPS. Unidades expresadas en metros	58

1 Introducción

El estudio de deslizamientos en el terreno o movimientos de las laderas y taludes es crucial para poder determinar su peligrosidad. Desde este punto de vista existen varios trabajos al respecto, realizados con técnicas geomáticas como la fotogrametría y el LIDAR, usando datos capturados desde plataforma convencionales o desde UAVs (Fernández del Castillo, y otros, 2016).

Hay otros estudios en los que se recurre al uso de drones para obtener resultados de muy alta resolución (Buill, Nuñez, Lantada, & Prades, 2016) (Buill, Nuñez-Andrés, Puig-Polo, Lantada, & Prades, 2017), en este caso combinando la fotogrametría de tomas terrestres con tomas efectuadas desde UAV, tanto con imagen tipo frame como continua en video, para el estudio de paredes rocosas.

De la misma forma, el presente trabajo pretende dar respuesta a la necesidad de obtener modelos de alta precisión y resolución en zonas con relieve muy accidentado, causado por deslizamientos en el terreno. Estos deslizamientos junto al agua de escorrentía provocan zonas difíciles de levantar por métodos convencionales. En este tipo de zonas, el cambio constante provocado por la erosión y los deslizamientos hace que las medidas relativas que puedan tomarse sean diferentes entre campañas. Esto que obliga a buscar una solución global que permita referenciar las zonas de movimientos a puntos considerados estables.

Para ello se ha previsto utilizar métodos de fotogrametría digital, y si pensamos en los últimos avances en equipamiento de vuelo, estos nos llevan a la posibilidad de usar drones para este tipo de levantamientos. Lo que en circunstancias normales puede ser sencillo, en este caso se ve complicado por la orografía accidentada y las zonas ocultas que presenta la zona cuando se efectúa un vuelo cenital.

Los programas de planificación de vuelos para estos equipos facilitan la tarea, mediante pasadas paralelas, y definiendo los recubrimientos longitudinales y transversales. Este tipo de planificaciones no siempre son adecuadas a las necesidades del trabajo, y eso sucede en este estudio. Se analizarán diferentes formas de planificación para conseguir los mejores resultados.

Por otro lado, “cabe mencionar la necesidad de planificar de forma adecuada las coberturas fotográficas, tanto si son independientes como si se efectúan de forma conjunta (si es necesaria la unión del caso aéreo y el terrestre). De esta forma se evitaría

la pérdida de calidad por una mala geometría, una incorrecta altura o falta de algún fotograma, muy probable en caso de efectuar fotografías desde dron en entornos como los presentados (laderas escarpadas, canteras, acantilados...), y especialmente en zonas de alta montaña” (Buill, Nuñez, Lantada, & Prades, 2016).

La zona seleccionada para este trabajo (Figura 1) se encuentra en el municipio de Vallcebre (provincia de Barcelona), en un tramo del Torrent del Purgatori.

El área de trabajo se localiza en las coordenadas de Longitud 1,813317E y de Latitud 42,190334N. Se trata de una zona de una extensión aproximada de 3,8 ha., y aunque es una superficie relativamente pequeña, la complejidad del trabajo es considerable teniendo en cuenta el relieve que existe en la zona. El desnivel existente en la zona es de aproximadamente 80 metros.



Figura 1. *Ubicación de la zona de trabajo. Fuente: Google Maps*

En esta misma zona se encuentra trabajando un equipo de investigación de la Escuela de Caminos (UPC)¹, que trata de monitorizar y cuantificar los deslizamientos que se producen en ese tipo de terrenos. Con este trabajo se pretende, además reforzar la campaña inicial que se llevó a cabo en noviembre de 2020, definir una metodología adecuada tanto de planificación de vuelo para conseguir los mejores resultados, como de medida de puntos de apoyo y procesado fotogramétrico que permita comparar

¹ UPC: Universidad Politécnica de Catalunya

resultados entre diferentes campañas. Se quiere conseguir un modelo de máxima resolución y precisión, y que contenga el mayor número de detalles posibles, teniendo en cuenta que existen zonas muy escarpadas que provocan ocultaciones del terreno en determinadas zonas cuando el vuelo se realiza de forma vertical.

El equipo de investigación de la UPC se conoce con el nombre de EROSLOP², y utilizará los resultados obtenidos de este trabajo como parte de su línea de investigación y seguimiento de los deslizamientos de laderas y taludes, y continuará aplicando la metodología seguida en siguientes campañas que puedan realizarse.

En la campaña de noviembre de 2020 se realizó un vuelo vertical con dron sobre la zona, mediante una planificación manual a altura aproximada de entre 40 y 50 metros sobre el terreno. El procesado de los datos, georreferenciados mediante puntos fijos ubicados sobre el terreno, y observados mediante GPS RTK, permitió obtener una ortofoto con una resolución de 1 cm (Figura 2), creada a partir de una nube de puntos de la zona con más de 210 millones de puntos (resolución MDE 1,95 cm.)



Figura 2. *Ortofoto de la zona de trabajo (1 cm de resolución) realizada a partir del vuelo del 20 de noviembre de 2020. Imágenes del vuelo y coordenadas del apoyo facilitadas por EROSLOP. Procesado realizado por Javier Muñoz*

² EROSLOP. Análisis de la erosión de suelos en terrenos de alta pendiente a diferentes escalas. Procesos físicos, auscultación y modelización de futuros cambios ambientales (<https://eroslop.upc.edu/en>). Proyecto de investigación nacional financiado por la "Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España" y coordinado por UPC BarcelonaTECH.

2 Objetivos

En la anterior introducción ya se ha hecho referencia al trabajo que se está desarrollando en esta zona y se han mencionado algunos de los objetivos que se esperan conseguir, aunque los objetivos generales se recogen en el presente apartado.

El objetivo inicial de este proyecto se ha planteado como el desarrollo de una metodología que permita obtener un vuelo de máxima cobertura en zonas de relieve muy accidentado. Básicamente zonas de paredes verticales y visera que ocultan parte de la información del terreno y dificultan el levantamiento, como podría ser en el caso de acantilados. Unido a este diseño del vuelo, se plantea la ejecución de diferentes vuelos según las planificaciones efectuadas, para cuantificar la cantidad de superficie que se consigue levantar con información de máxima calidad después del procesado fotogramétrico de los diferentes vuelos. Para obtener el dato de mejora se comparará la información con el resultado obtenido del material de partida como dato inicial de control. También se podrán efectuar comparaciones entre los distintos vuelos ejecutados.

Estos objetivos iniciales se han ampliado, después de analizar el material disponible en esa zona de trabajo. Se ha visto que es posible mejorar la precisión absoluta de los resultados obtenidos a partir de una mejora en la distribución y método de medida y cálculo de los puntos de apoyo utilizados.

De esta forma los objetivos que se pretenden alcanzar son:

- Obtención de una planificación de vuelo optimizada que permita levantar mayor superficie de calidad que la obtenida con el vuelo existente como dato de partida.
- Mejorar la precisión de los puntos de apoyo medidos en campo, así como su distribución de forma que puedan ser usados en diferentes campañas, y poder así comparar los resultados.
- Cuantificar en la medida de lo posible, la mejora obtenida, bien a nivel de superficie o cantidad de puntos conseguidos.

Además, se espera que, con el diseño y ejecución de este trabajo, los resultados obtenidos en las distintas campañas que se han llevado a cabo permitan utilizar los resultados para cuantificar los desplazamientos del terreno, tarea que será llevada a cabo por el equipo de EROSLOP, junto con nuevas campañas de vuelo que serán realizadas con posterioridad a la finalización de este proyecto



Se pueden desglosar estos objetivos según algunos pasos más concretos que de forma general consisten en:

- Definir una correcta planificación de vuelo que permita efectuar el levantamiento fotogramétrico de la zona requerida con una resolución de al menos 1 cm.
- En la medida de lo posible estudiar distintos programas que ayuden a obtener la planificación adecuada. El resultado del estudio tiene que posibilitar que la modificación del plan de vuelo pueda ser rápida y a su vez pueda ser llevada a cabo, si fuese preciso, sobre el terreno antes de ejecutar el vuelo.
- Definir una distribución de puntos de apoyo que aseguren cierta estabilidad al ajuste fotogramétrico del bloque de imágenes.
- Medir puntos de apoyo y decidir qué método es el más adecuado para el cálculo de coordenadas.
- Ejecución del vuelo según la planificación.
- Procesado de datos y obtención de resultados fotogramétricos (nube de puntos, MDE, ortofoto).
- Análisis de los resultados obtenidos y estudio de posibles mejoras en la planificación, que permitan conseguir resultados mejores.
- Con las mejoras propuestas, repetición del vuelo, procesado, y obtención de nuevos resultados.
- Comparativa de resultados y cuantificación de las mejoras obtenidas gracias a la mejora de la planificación del vuelo.

3 Medios empleados

Para el desarrollo de este TFM se ha utilizado diferente equipamiento según las necesidades requeridas y disponibilidad de este. Se describe en este apartado las características de dicho equipo, así como el software de proceso utilizado en diferentes cálculos.

3.1 Hardware

El hardware necesario para este trabajo es un dron con cámara RGB que permite obtener las imágenes necesarias, dos receptores GPS de doble frecuencia que permiten registrar información de los satélites (formato nativo del sistema o formato estándar RINEX), y una estación de trabajo con los programas de cálculo adecuados para obtener los resultados del apoyo de campo y proceder al procesamiento fotogramétrico de las imágenes.

Como ordenador de trabajo para todos los procesos se ha utilizado un ordenador portátil con procesador i7 de 7ª generación, 1 Tb de disco SSD, y 32 Gb de RAM. No se trata de una estación de trabajo, pero los recursos de que dispone son suficientes para el desarrollo del trabajo, si bien los procesos podrían haberse acelerado con un equipo más potente.

3.1.1 GPS Topcon HiPer Pro

Los receptores Topcon HiPer Pro (Figura 3) disponen de un radio modem integrado que permite trabajar en modo RTK dejando uno de los receptores fijo, a modo de base sobre un punto de coordenadas conocidas, y desplazando el segundo receptor a los puntos de los que quieren obtenerse coordenadas.

Pero también pueden ser utilizados, ambas unidades, como receptores para obtener y guardar datos RINEX de los satélites y procesar posteriormente esta información en gabinete. De esta forma, si podemos obtener los datos de las estaciones de referencia a partir de estaciones permanentes existentes en la zona, tenemos dos receptores con los que efectuar medidas, y eso nos permite aumentar el rendimiento.

Esta última forma de trabajo es la que se ha adoptado para la medida de los puntos de apoyo de este trabajo.



Figura 3. Conjunto de receptores GPS utilizados

Las características completas de estos receptores se muestran en la ficha técnica correspondiente que se reproduce en la Tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones de los receptores Topcon Hiper Pro (Fuente: <https://www.soluciontopografia.com/data/2178/productos/0a8e3934bde743bdf850099217cc14ebeb098d.pdf>)

HIPER PRO	
DESCRIPCIÓN	40 canales integrados en el receptor/ antena GPS+ con MINTER interface
ESPECIFICACIONES DE BÚSQUEDA	
Canales Búsqueda, estándar	40 L1 GPS (20GPS L1+L2 en días Cenicienta) *
Canales Búsqueda, opcional	20 GPS L1+L2 (GD), GPS L1 + GLONASS (GG) 20 GPS L1+L2+GLONASS (GGD)
Señal Seguida	GPS L1/L2, C/A y Código P & Portadora y GLONASS L1/L2 y L2C
RENDIMIENTO	
Estático, Estático Rápido	H: 3 mm + 0.5 ppm V: 5 mm + 0.5 ppm
RTK	H: 10 mm + 1.0 ppm V: 15 mm + 1.0 ppm
Inicialización	<60 segundos
Re-inicialización	<10 segundos
Readquisición	<1 segundo
ESPECIFICACIONES DE ALIMENTACIÓN	
Batería	Baterías internas de Litio-Ión de hasta 14 horas de duración (10 horas Tx)
Alimentación externa	6 a 28 voltios DC
Consumo de energía	Menos de 4.2 W
ESPECIFICACIONES DE ANTENA GPS+	
Antena GPS / GLONASS	Integrado
Plano de Tierra	Plano de Tierra integrado
ESPECIFICACIONES DE RADIO	
Tipo de Radio	Interna Tx/Rx (seleccionable rango de frecuencias)
Potencia de salida	1.0 Wat / 0.25 Wat (seleccionable)
Antena Radio	Antena UHF Centrada
COMUNICACIÓN SIN CABLES	
Comunicación	Bluetooth® versión 1.1 comp. **†
I/O	
Puertos Comunicación	2x serie (RS232)
Otras Señales Entrada/ Salida	1pps, Marcador de Eventos
Indicador de Estados	4x3-color LEDs (Verde, Rojo, Amarillo), dos teclas de función (MINTER)
Unidad de Control & Display	Controladora de Campo Externa
MEMORIA Y ALMACENAMIENTO	
Memoria Interna	Hasta 1 GB
Actualización	Hasta 20 veces por segundo (20Hz)
Tipo de Dato	Código y Portadora de L1 y L2, GPS y GLONASS y L2C GLONASS
SALIDA DE DATOS	
Salida de datos tiempo real	RTCM SC104 versión 2.1, 2.2, 2.3, CMR, CMR+
Salida ASCII	NMEA 0183 versión 3.0
Otras Salidas	Formato TPS
Velocidad	Hasta 20 veces por segundo (20Hz)
ESPECIFICACIONES AMBIENTALES	
Carcasa	Extrusión de aluminio, impermeabilizada
Temperatura operativa	-30°C a 55°C
Dimensiones	W:159 x H:172 x D:88 mm
Peso	1.65 kg

3.1.2 Dron Inspire 2

El dron Inspire 2 se trata de una evolución de la versión anterior Inspire 1, que mejora algunas de sus características como el sistema de procesamiento de imagen o la aceleración, que permite pasar de 0 a 80 km/h en tan solo 5 segundos (DJI, INSPIRE 2, 2021), entre otras cosas.

El dron incorpora un cámara Zenmuse X5S, con la que se pueden obtener imágenes de 20,8MP, a partir de un sensor M 4/3 mejorado que permite aumentar la calidad de la imagen. Dispone de un tamaño de píxel de 3,4 μm , y presenta una sensibilidad al color mejor que la versión anterior Z5R. Con esta cámara se pueden crear imágenes nítidas y con bajo ruido en entornos de poca luz (DJI, ZENMUSE X5S, 2021, pág. 3).



Figura 4. Dron Inspire 2 y cámara Zenmuse X5S, antes de montar las hélices, y el gimbal con la cámara

3.2 Software

Para el procesamiento de datos fotogramétricos y del apoyo de campo necesario se han utilizado los programas Metashape (Agisoft), y Leica Infinity respectivamente.

Para el análisis de la información resultante se han utilizado otros programas como son CloudCompare y Qgis, cada uno de ellos con una finalidad específica como se verá a lo largo de este documento.

En lo que respecta a programas para planificación de vuelo se han usado Mission Planner, Litchi, y Metshape.

3.2.1 *Metashape (Agisoft)*

Metashape es un software desarrollado por Agisoft (empresa rusa ubicada en San Petersburgo). La primera versión se lanzó en 2010 con el nombre de Photoscan. En el año 2019, a partir de la versión 1.5, el nombre fue cambiado a Metashape.

Para el procesamiento de los datos y obtención de los resultados se ha utilizado el software Metashape versión 1.7.3. (<https://www.agisoft.com/downloads/installer/>). Metashape es un software que se basa en tecnología de visión por computadora. Dispone de una versión standard que permite crear modelos virtuales de un conjunto de fotografías, y de una versión Pro, que además incorpora la funcionalidad para crear documentos cartográficos (MDT, ortofotos, curvados, ...). Se ha utilizado la versión PRO, pero con licencia académica de la que se dispone en la UPC.

A partir de las imágenes obtenidas y una vez aerotrianguladas se puede usar este programa para efectuar una restitución tridimensional, ya que incorpora la posibilidad de mostrar modelos estereoscópicos mediante anaglifos o según el hardware de que disponga nuestro equipo (gafas activas con tarjeta y dispositivo Nvidia, gafas pasivas con tarjeta adecuada y monitor Zalman, ...). No obstante, las herramientas de que dispone para dibujar elementos vectoriales son muy básicas.

También se ha usado este programa para intentar mejorar la planificación del vuelo mediante la herramienta que incorpora "Planificar misión óptima..." (Figura 25 y Figura 26).

3.2.2 *Leica Infinity*

Infinity es un completo programa desarrollado por Leica Geosystems que permite la obtención de resultados para la creación de planos o mapas. Puede calcular datos obtenidos con estación total o receptores GPS, ya sean equipos Leica o de terceros mediante ficheros de intercambio (RINEX en el caso de información GPS).

Es la evolución de su anterior paquete Leica GeoOffice y anteriormente SKI-Pro. Las nuevas versiones del programa dejan obsoletas las anteriores porque incorporan la posibilidad de usar nuevas constelaciones de satélites o nuevas frecuencias en los mismos.

Se trata de un programa de pago, pero se dispone de una licencia del mismo gracias a la empresa donde desarrollo mi actividad laboral³.

3.2.3 CloudCompare Stereo

Programa de código abierto que puede descargarse de <https://www.danielgm.net/cc/>. Permite el manejo de grandes nubes de puntos y se ha utilizado para efectuar las comparativas entre las diferentes nubes de puntos obtenidas mediante Metashape. Se ha trabajado con la última versión estable que se corresponde con la 2.11.3.

3.2.4 QGis

Se trata de un software GIS gratuito, que se ha utilizado para la carga de los diferentes productos obtenidos y para llevar un control de las diferentes fases del proyecto, así como para efectuar diferentes cálculos y conversiones de formatos y para la preparación de mapas y entregables finales.

Se puede obtener una versión de este programa desde <https://qgis.org/es/site/forusers/download.html>. Se ha trabajado para este proyecto con la última versión más estable y con soporte a largo plazo, que actualmente se trata de la 3.16 también conocida como Hannover.

3.2.5 Mission Planner

Se trata de un programa gratuito que puede ser descargado de <https://firmware.ardupilot.org/Tools/MissionPlanner/>. Se utiliza para planificar una misión de vuelo y si es necesario se puede conectar con el dron para controlar la ejecución de la misión planificada.

En esta ocasión el interés está en ver qué posibilidades de planificación ofrece, y si se ajustan a las necesidades. Su manejo es relativamente sencillo en lo que respecta a la planificación de vuelo y ofrece la posibilidad de modificar todos los parámetros necesarios y definir configuraciones de cámaras personalizadas.

En caso de ser necesario es posible conectar el software con el dron y efectuar la misión de vuelo desde este mismo programa.

³ Actividad laboral desarrollada en HEMAV Technology (<https://hemav.com/>)

3.2.6 *Litchi*

Litchi es un programa pensado y desarrollado para volar con drones DJI. Se puede descargar de <https://flylitchi.com/>, pero tiene el pequeño inconveniente de que no se trata de una aplicación gratuita, aunque su coste es muy asequible.

Es una App que se puede instalar en IOS o Android y utilizar para volar los drones de DJI Inspire, Phantom o Mavic. Las misiones de vuelo pueden ser guardadas en la nube y recuperadas cuando sea necesario. De hecho, es posible planificar la misión o misiones desde el ordenador y cargarlas a nuestra tablet justo antes de efectuar el vuelo, siempre que dispongamos de conexión a Internet.

Está pensada para programar trayectorias de vuelo y hacer el recorrido de forma automática pudiendo enfocar a puntos de interés. Sin embargo, no está pensada para planificar rápidamente un vuelo fotogramétrico en modo "Grid" convencional.

4 Metodología de trabajo seguida

El proceso de trabajo seguido para la consecución de los objetivos consta de diferentes fases como se describe en los apartados siguientes. Hay que tener en cuenta que ya existía un trabajo previo de vuelo realizado en la zona y que se ha usado como punto de partida para optimizar los resultados que se pueden conseguir. Ha sido, por tanto, imprescindible analizar esa información y estudiar los resultados que se pueden conseguir, para posteriormente realizar los trabajos de mejoras, tanto en la planificación de nuevos vuelos como en el procesado posterior.

Para el procesado se recurre al software Metashape, que se basa para su funcionamiento en la técnica denominada SFM (Structure From Motion).

Podemos considerar la técnica SFM como un método fotogramétrico automatizado de alta resolución y bajo coste si lo comparamos con las técnicas de fotogrametría tradicionales.

Los principios básicos son los mismos que en la fotogrametría estereoscópica, pero en este caso las ecuaciones de colinealidad se resuelven a partir de numerosos puntos comunes que se identifican automáticamente en las imágenes (Tomás-Jover, Riquelme Guill, Cano González, Abellán Fernández, & Jordà, 2016)

En esencia es suficiente disponer de tres imágenes tomadas desde diferentes puntos de vista en las que aparezca el objeto (sin necesidad de conocer la posición exacta), para reconstruir en 3D la información 2D de las imágenes. Sin embargo, aumentado el número de imágenes se aumenta la redundancia del sistema y se mejoran los resultados.

El producto básico del proceso SFM es una nube de puntos de características identificables presentes en las fotografías de entrada. Esta nube de puntos se puede georreferenciar a partir de una pequeña cantidad de puntos de control terrestre recopilados en el campo o de las mediciones de las posiciones de la cámara en el momento de la adquisición de la imagen. La nube de puntos georreferenciada se puede utilizar para crear una variedad de productos digitales de elevación (Fonstad, Dietrich, Courville, Jensen, & Carbonneau, 2013).

A partir de esa nube de puntos georreferenciada se puede obtener un MDE que servirá para obtener la ortofoto correspondiente de la zona de trabajo si hablamos de elementos cartográficos. El uso de esta técnica mejora considerablemente los resultados en las

nubes de puntos que pueden obtenerse si comparamos con los resultados que se obtenían con programas de fotogrametría tradicionales.

En la Figura 5 queda descrito gráficamente el flujo seguido en el desarrollo de este trabajo, que será explicado con más detalle en los apartados siguientes. Existen unos trabajos preliminares (descritos en el apartado 4.1), que no están incluidos en este esquema pero que son necesarios dentro del contexto del trabajo y es donde se determina el alcance de lo que se espera realizar en función de los datos iniciales.

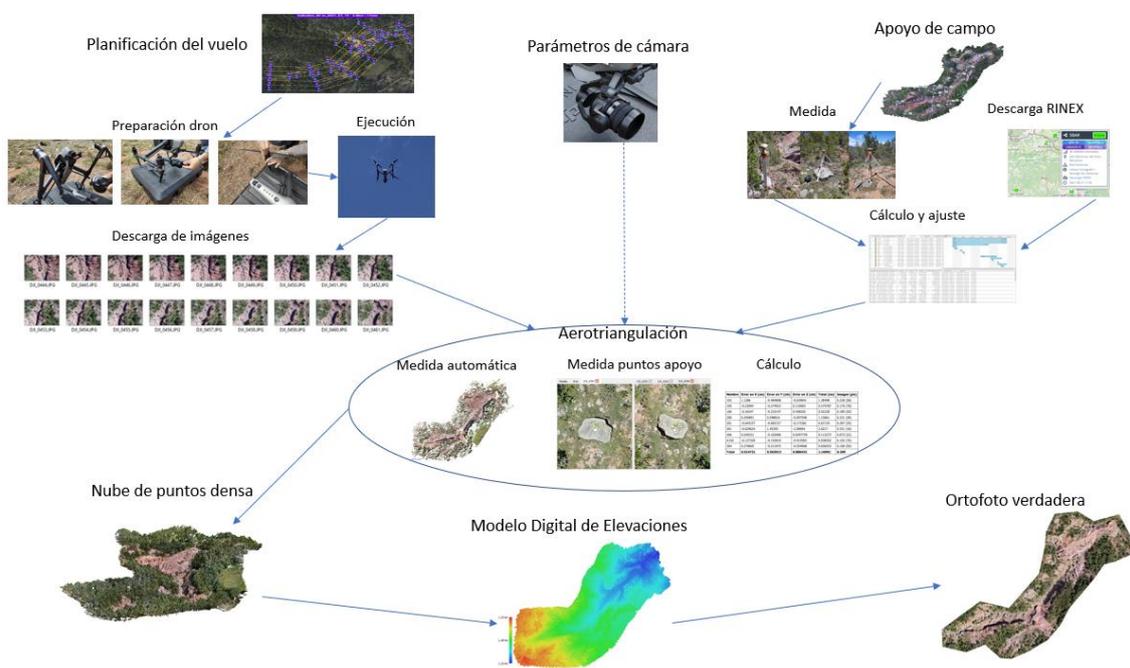


Figura 5. Flujo seguido en el desarrollo del presente trabajo

Se ha incluido dentro del flujo la carga de información de la cámara. Se trata de información que normalmente se recupera de los metadatos de las propias imágenes, pero en ocasiones es necesario que deba ser incorporada de forma manual (por eso se indica con línea discontinua), sobre todo si no se trabaja con las imágenes originales y estas han sufrido algún cambio de formato y pérdida de la información asociada.

4.1 Trabajos preliminares

Como primeros pasos de este proyecto se ha analizado toda la información inicial de la que se disponía en esta zona, como se describe a continuación.

El día 20 de noviembre de 2020 se realizó un primer vuelo sobre la zona y además se obtuvieron coordenadas de algunos puntos de apoyo (previamente materializados con

dianas estables para que duren mucho tiempo) medidos mediante GPS usando la técnica RTK.

Esta información se ha procesado con el objetivo de pensar posibles mejoras encaminadas a obtener unos mejores resultados finales, tanto a nivel de precisión como a nivel de cantidad de superficie levantada, dado que el tipo de terreno es de una orografía muy complicada, con viseras en los taludes (Figura 6), y que ocultan información en vuelos cenitales.



Figura 6. *Zona de talud vertical con visera que impide que se pueda levantar completamente mediante vuelos verticales*

4.1.1 Procesado de información preliminar

Se dispone de un vuelo realizado con el dron Inspire 2, cuyas características se han descrito en el apartado 3.1.2. Se efectuaron un total de 273 fotografías a una altura aproximada de 40 metros sobre el terreno, lo que supone que el dron durante su recorrido está constantemente modificando la altura entre los diferentes puntos de ruta (waypoints) que definen la trayectoria. Para la georreferenciación correcta del vuelo durante el proceso de aerotriangulación se midieron un total de 13 puntos (Figura 7).



Figura 7. *Distribución de puntos de apoyo en el vuelo del 20 de nov. de 2020*

también permite la cámara, para reducir tanto el número de imágenes como el tiempo de vuelo. Basta con ver los parámetros de configuración del vuelo (Figura 9) para calcular el recubrimiento longitudinal que se obtendrá.

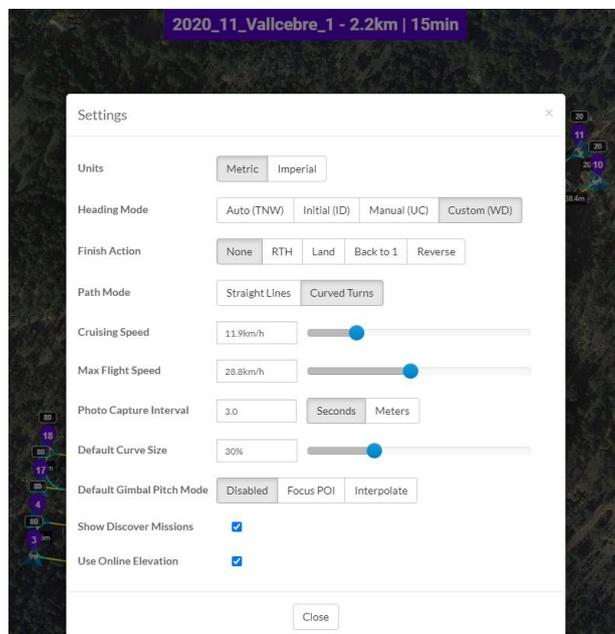


Figura 9. *Parámetros de ejecución del vuelo del 20 de noviembre de 2020*

En la tabla de la Figura 10 se observa que el recubrimiento longitudinal para los parámetros de vuelo seleccionados y el formato de imagen escogido es de un 61%, valor que es adecuado para un vuelo fotogramétrico convencional, pero que resulta demasiado ajustado para un vuelo que se va a procesar con software SFM (Structure From Motion).

Focal	15 mm.	H vuelo	40 m.
Tamaño pix.	0.00327897 mm.	GSD	0.0087 m.
Sensor CMOS	17.3 13.0	Sep pasadas	20 m.

Tiempo (s)	3	Velocidad (m/s)	3.33	Velocidad (km/h)	11.99
------------	---	-----------------	------	------------------	-------

	Formato 4:3	Formato 16:9	Formato 3:2
Overlap	71.12	61.53	67.54
Sidelap	56.68	56.68	56.68

Figura 10. *Valores de recubrimiento transversal para distintos formatos de imagen y un vuelo a 40 metros de altura, disparo cada 3 segundos y velocidad 12 km/h*

El resultado de la aerotriangulación no es incorrecto, pero puede ser mejorado si se observan puntos mediante sistema GPS con un método de cálculo más preciso que el RTK utilizado. Esto supone que durante el proyecto se tendrán que medir nuevamente las coordenadas de algunos puntos de apoyo. Se seleccionarán una cantidad de puntos

adecuada, y convenientemente distribuidos en la zona de trabajo. Estos puntos serán observados mediante el método estático rápido con un tiempo de observación de al menos 10 minutos, para ser calculados posteriormente con ayuda de datos RINEX descargados de estaciones permanentes cercanas a la zona.

Además, la coordenada Z de los puntos medidos en RTK es elipsoidal. No se ha aplicado ningún modelo de geoide para calcular la altura ortométrica. En la medida y cálculo de los nuevos puntos en postproceso se aplicará el modelo de geoide EGM08-REDNAP.

También es posible mejorar la altura de vuelo, de forma que se planteará hacer los nuevos vuelos a menor altura sobre el terreno, siempre que sea seguro y no suponga ningún riesgo para la operación.

Del resultado del procesado y obtención de la nube de puntos densa se observa que existen algunas zonas en las que no es posible la medida de puntos por estar ocultas por el propio terreno. En la Figura 11 se muestran algunas zonas sin y por tanto el modelo o cálculos que puedan generarse a partir de esos datos información no permitirán reconstruir con suficiente fidelidad el modelo de toda la zona.



Figura 11. *Zona de entrantes y huecos generados en la nube de puntos*

Por tanto, y a modo de resumen las mejoras que se pueden aplicar son:

- Medida de puntos de apoyo mediante GPS (modo estático rápido), con un tiempo de observación que permita calcular las coordenadas a partir de estaciones permanentes de referencia. Se buscará una distribución adecuada de los puntos en la zona en lugares estables. Se dará prioridad a las dianas ya colocadas.
- Diseño de una planificación nueva del vuelo adaptando los distintos parámetros de este para conseguir imágenes con una resolución mejor de 1 cm. Se ajustarán

los recubrimientos y formatos de imagen para minimizar el tiempo de vuelo y conseguir la máxima cobertura.

- Se planificará un vuelo, con imágenes oblicuas para intentar capturar más información en zonas complicadas.

4.2 Planificación de vuelo

Para conseguir unos buenos resultados se efectúa una planificación del vuelo necesario sobre la zona de estudio. Como primer objetivo de este trabajo, hay que determinar que programa nos permite obtener una planificación adecuada a los objetivos que se pretenden. Para ello se realizan planificaciones de vuelo con distintas aplicaciones y se escoge para la planificación final, aquella con la que a priori es más sencilla la obtención de los resultados que se esperan.

Cabe mencionar que la primera planificación y el vuelo existente fueron realizados mediante el software Litchi. Este programa es uno de los que se usarán para decidir finalmente cual resulta más adecuado en el trabajo que se pretende realizar.

Una de las tareas necesarias es comprobar que la zona de vuelo no está afectada por ninguna restricción y en caso de estarlo solicitar los permisos necesarios. La consulta se efectúa desde la página de Enaire (<https://drones.enaire.es/>) accediendo al mapa profesional, donde se pueden consultar las restricciones existentes en la zona. Como puede observarse en la Figura 12 no existe ninguna limitación para el vuelo, y por tanto no ha sido preciso solicitar ningún permiso para realizar la operación.

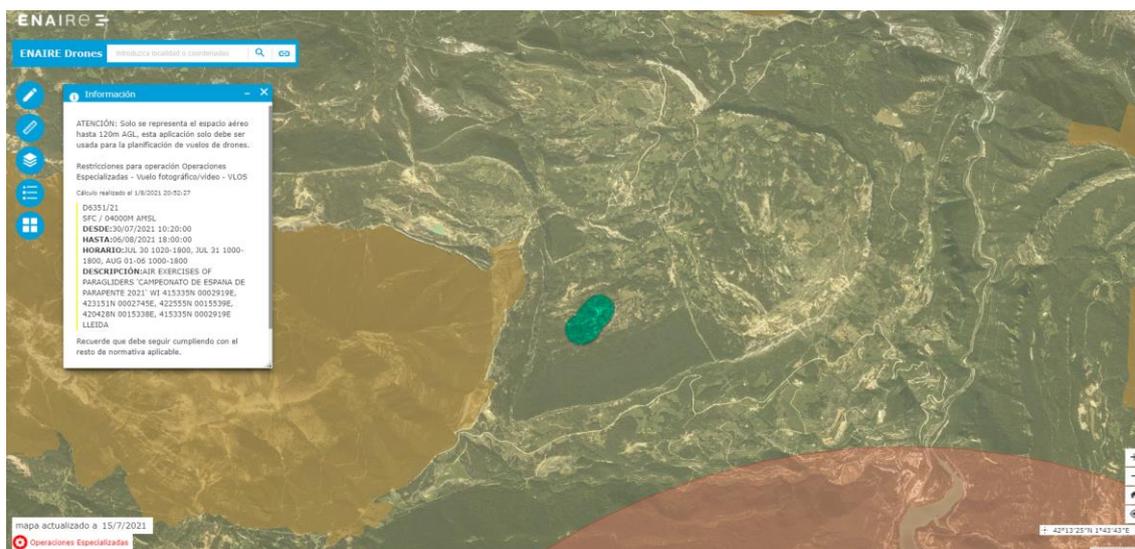


Figura 12. Restricciones de vuelo en la zona de trabajo, el día 1 de agosto

En la figura anterior se ha marcado en color verde la zona de trabajo, que como puede verse no solapa con ninguna de las zonas con restricciones permanentes (colores amarillos y rojo). Sin embargo, en la fecha de consulta y captura de la imagen existe una restricción temporal a causa del campeonato de España de Parapente entre los días 30 de julio y 6 de agosto. En las fechas de realización de los vuelos esta restricción no existía.

Se han utilizado diferentes programas y métodos de planificación con el fin de obtener una metodología adecuada y que se adapte a las necesidades de vuelo y zona de trabajo.

4.2.1 Planificación con Mission Planner

Se ha efectuado una planificación sobre la zona de trabajo (Figura 13) tratando de que las pasadas se adapten lo mejor posible a la zona.

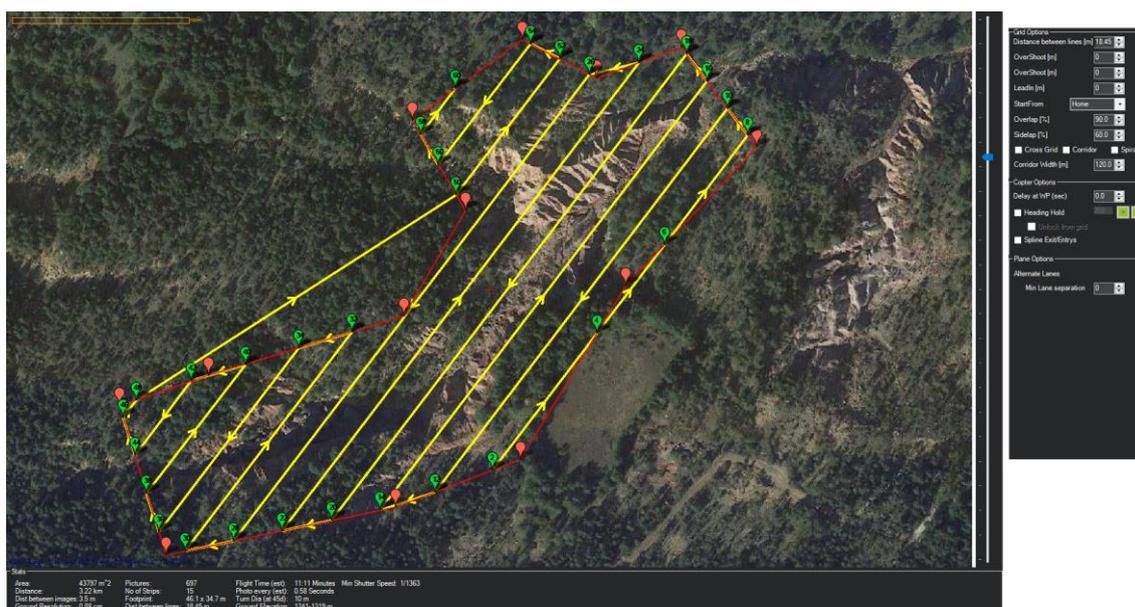


Figura 13. Planificación con Mission Planner en modo "Grid"

Se realiza una planificación en modo "Grid" con un recubrimiento longitudinal del 90% y un transversal del 60%. La planificación de esta forma es rápida y sencilla pero no se puede adaptar a las diferentes alineaciones de la zona a lo largo del recorrido del torrente, por lo que se decide descartar este método. Se hubiese podido realizar dividiendo la zona en bloques y dando a cada uno de ellos una orientación, pero esta forma de proceder complicaría tanto la planificación como la ejecución posterior del vuelo. Y al tratarse de bloques diferentes con orientaciones distintas, podría afectar al

procesado posterior, motivo adicional para descartar el hecho de dividir la zona en bloques.

Este mismo programa incorpora otras funcionalidades para la planificación como son las posibilidades de trabajar en “Corridor” o “Spiral”.

Para definir un vuelo en modo “Corridor”, basta con dibujar un área en la zona central siguiendo la línea del eje del torrente (Figura 14) y se define el ancho del corredor para que el programa calcule todas las pasadas automáticamente.

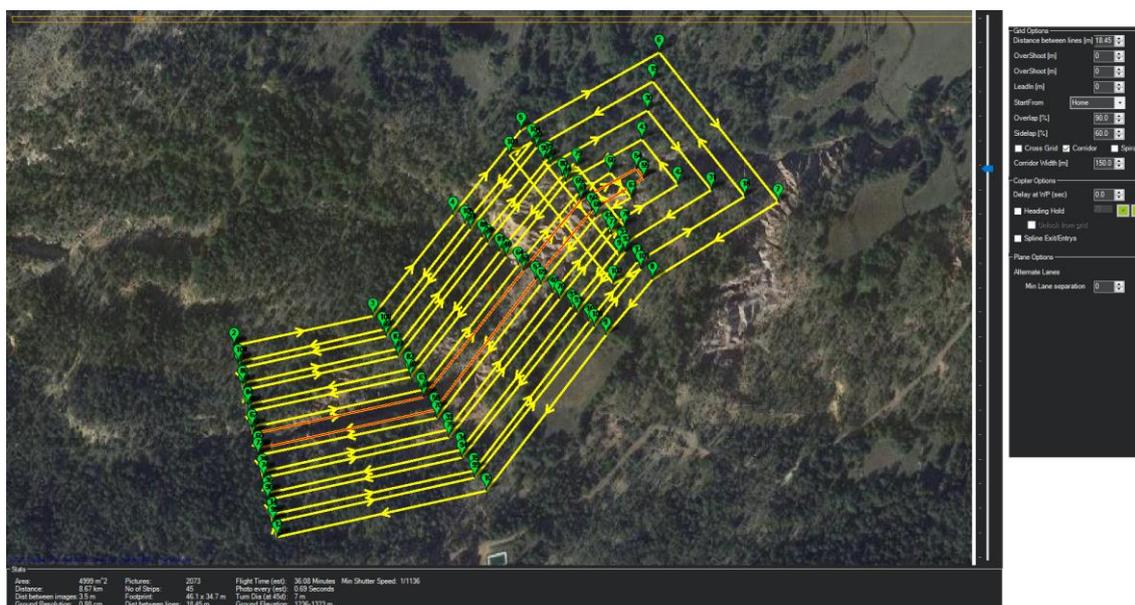


Figura 14. Planificación de vuelo en modo “Corridor”

Esta planificación se aproxima más a lo que se quiere obtener, ya que las pasadas son continuas a lo largo del torrente con los giros que se producen y paralelas entre sí. El inconveniente es que al tener que definir un área (el programa no contempla la opción de definir una línea a modo de eje), se producen pasadas muy juntas unas de otras provocadas por la separación de las líneas que definen el perímetro y la interpretación que de estas hace el programa para definir el recorrido. Este hecho provoca que el número de pasadas, fotos, y tiempo de vuelo se incremente en más del doble de lo que sería necesario, con el consiguiente incremento de tiempo en el procesado posterior.

Estos motivos hacen que esta opción tampoco sea considerada como adecuada para definir la planificación del vuelo.

Por último, existe la opción de “Spiral” (Figura 15). En este caso se define un área exterior y el programa calcula pasadas paralelas desde el exterior hasta el centro

formando una espiral y con una separación entre pasadas equivalente al recubrimiento transversal.

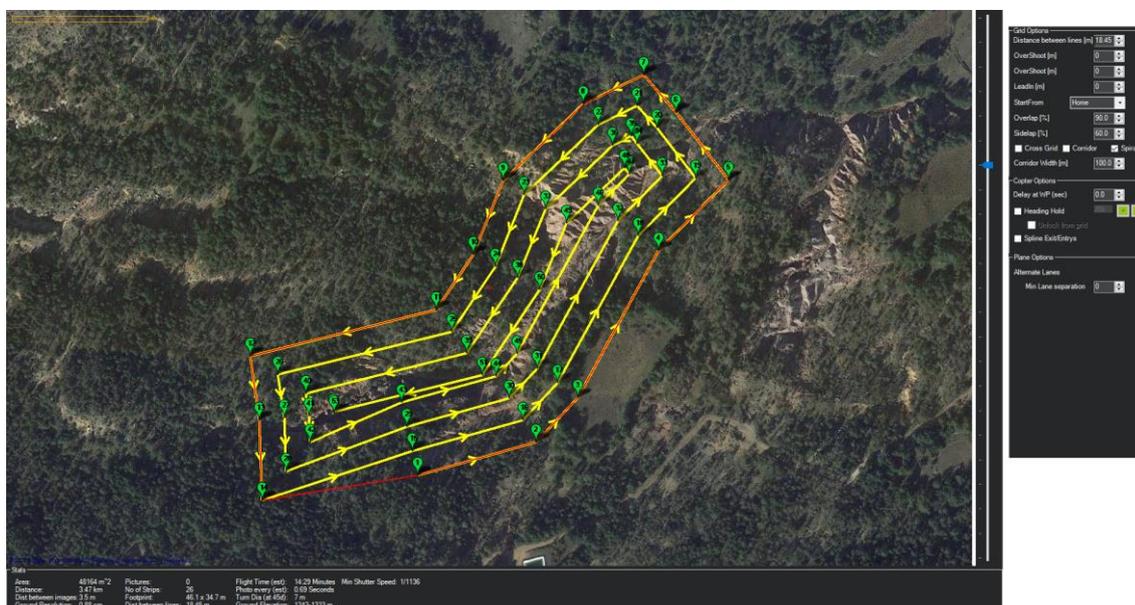


Figura 15. *Planificación de vuelo con la opción "Spiral"*

Hasta ahora es la opción que más se aproxima al resultado que se quiere obtener, sin embargo, tiene algunos inconvenientes. El número de fotos sigue siendo mayor a las estrictamente necesarias, porque para que la planificación funcione bien se ha de hacer un área homogénea y sin bordes irregulares. En este caso el número de fotos es de aproximadamente 990 fotos (3470 metros / 3,5 metros), cantidad que se ha de calcular a mano porque el programa no devuelve el valor. En la primera planificación, en modo "Grid" (Figura 13) el número de fotos no alcanzaba las 700.

Otro inconveniente que se observa es que la secuencia de pasadas no es ordenada, sino del exterior hacia el interior, con lo que el tiempo que pasa entre pasadas consecutivas es mayor que en un vuelo en zigzag, lo que puede provocar la aparición de diferencias radiométricas durante la fase de procesado.

Estos motivos llevan a tomar la decisión de que tampoco sea la opción escogida para la planificación.

4.2.2 Planificación con Litchi

Como se ha comentado en la descripción de este software, se trata de una aplicación que permite volar drones DJI según un recorrido programado, aunque no podemos efectuar una planificación convencional en modo "Grid".

Sin embargo, el hecho de poder definir una trayectoria es lo que le da el potencial que se necesita para adaptar el recorrido a este tipo de terreno tan irregular y accidentado. Por otro lado, no podemos definir un solape entre pasadas y esperar que el programa haga el cálculo del recorrido, pero si se puede calcular un recorrido según nuestras necesidades, con programas externos, y ese recorrido importarlo mediante un formato CSV. Este es el método que se ha pensado para definir la planificación correcta.

El primer paso es definir las líneas de vuelo paralelas sobre una ortofoto de la zona. Esto es posible realizarlo con un programa SIG o CAD (en este caso se ha usado el CAD MicroStation), de forma que sea sencillo definir las líneas paralelas a partir de una definida y según la separación adecuada en función del recubrimiento transversal (Figura 16).



Figura 16. Líneas de vuelo paralelas (20 metros de separación), y recorrido de ida y vuelta sobre la zona de interés del torrente

Para el cálculo de la separación de pasadas se recurre a los datos de la cámara según:

$$\text{Separación entre pasadas} = (1 - \text{Recubrimiento transversal}) * \text{ancho de foto} * \text{GSD}$$

Y donde

$$\text{GSD} = \frac{\text{altura de vuelo} * \text{tamaño fotorreceptor}}{\text{focal}}$$

Si aplicamos los valores obtenemos:

$$\text{GSD} = \frac{40\text{m} * 0,00328\text{mm}}{15\text{mm}} = 0,0087\text{m}$$

$$\text{Separación entre pasadas} = (1 - 0,55) * 5280 * 0,0087 = 20,67\text{m}$$

Tenemos, por tanto, que para obtener un recubrimiento transversal del 55%, la separación de pasadas debe ser de 20,67 metros. La planificación del vuelo se ha hecho con una separación de 20 metros con lo que el recubrimiento teórico se aumenta hasta el 56,68%, que teniendo en cuenta que la altura de 40 metros se ha tomado sobre los puntos más altos el recubrimiento final estará por encima del 60%.

La planificación se ha preparado para realizar el vuelo a una altura de 40 metros sobre el terreno en todo momento (sobre los puntos más altos considerando los árboles como terreno). Dado que en la zona existen gran diferencia de altitud (más de 80 metros, entre el punto más alto y el punto más bajo) se necesita disponer de un Modelo Digital de Superficie que nos de los valores de cota del terreno en todo el recorrido y que nos permita, por tanto, calcular el valor de cota relativa al origen.

El modelo utilizado se ha obtenido a partir del procesado fotogramétrico del vuelo de noviembre de 2020, pero como es una zona más reducida de la que se va a volar ahora, se ha ampliado con la ayuda de la 2ª cobertura de datos LIDAR del ICGC (<https://www.icgc.cat/es/Descargas/Elevaciones/Datos-lidar>). Los dos modelos (fotogramétrico y LIDAR) se han fusionado en uno sólo (Figura 17), dando prioridad a la zona de fotogrametría por ser más precisa y actualizada.

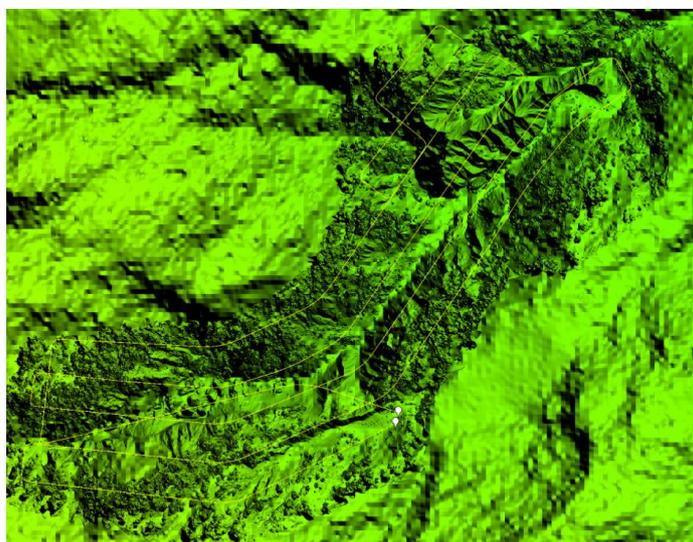


Figura 17. *Imagen del MDS usado para la determinación de alturas de la planificación donde puede observarse mayor resolución de este en la zona del levantamiento fotogramétrico*

Litchi permite la importación de un fichero CSV con los “waypoints” del recorrido (Tabla 2). Esto permite poder hacer la planificación sobre una hoja de cálculo Excel, donde podemos controlar todos los valores y una vez definidos exportar al formato CSV que después será importado en Litchi.

vuelo también es posible, pero en este caso se afecta tanto a recubrimiento longitudinal como transversal.

Es posible, como he dicho, hacer modificaciones sobre la marcha, pero estamos perdiendo en cierto modo el control sobre los resultados planificados. Para facilitar esos cambios de forma controlada, he preparado una pequeña calculadora en Excel (Figura 19) donde introduciendo los valores que queremos cambiar, se calculan el resto, de forma que tenemos los datos para decidir si la modificación es correcta, y qué parámetros, además, tenemos que cambiar.

Zenmuse X5S			
Formato 16:9	5280	2970	
Formato 4:3	5280	3956	
Formato 3:2	5280	3520	

Focal	15 mm.	H vuelo	40 m.
Tamaño pix.	0.00327897 mm.	GSD	0.0087 m.
Sensor CMOS	17.3	Sep pasadas	20 m.

Tiempo (s)	3	Velocidad (m/s)	3.33	Velocidad (km/h)	11.99
------------	---	-----------------	------	------------------	-------

	Formato 4:3	Formato 16:9	Formato 3:2
Overlap	71.12	61.53	67.54
Sidelap	56.68	56.68	56.68

Focal	15 mm.	H vuelo	30 m.
Tamaño pix.	0.00327897 mm.	GSD	0.0066 m.
Sensor CMOS	17.3	Sep pasadas	13.85 m.

Tiempo (s)	1.00	Velocidad (m/s)	5	Velocidad (km/h)	18.00
Distancia (m)	5.00				

	Formato 4:3	Formato 16:9	Formato 3:2
Overlap	80.73	60.61	71.83
Sidelap	60.00	60.00	60.00

Figura 19. *Calculadoras de diferentes parámetros de planificación de vuelo (verde: datos de entrada, azul: resultados, resto: datos fijos)*

Litchi ha sido el programa que me ha permitido hacer una planificación adaptada al tipo de terreno y controlando todos los parámetros. Es cierto que la planificación no es muy automática, pero con el método seguido no ha sido excesivamente complicado y se obtienen buenos resultados. Además, tiene la ventaja respecto a otras aplicaciones, que se integra perfectamente con el funcionamiento del dron y podemos controlar el vuelo desde la misma herramienta de planificación. Además, si tenemos conexión a Internet, la podemos utilizar para descargar cualquier planificación que tengamos preparada para transferirla directamente al dron.

De esta forma se han realizado un total de 3 campañas de vuelo que se describen a continuación:

- 1ª Campaña: 12 de mayo de 2021
 - o Se ha realizado una planificación (Figura 20) a 40 metros sobre el terreno, siguiendo los desniveles de este. Se ha ajustado a la zona de estudio. La planificación de las pasadas se ha hecho directamente sobre la aplicación, por lo que se ve que no son exactamente paralelas. Con este vuelo se pretende tener un estado inicial de la zona y poder mejorar los resultados en campañas posteriores, mejorando la planificación según se considere.

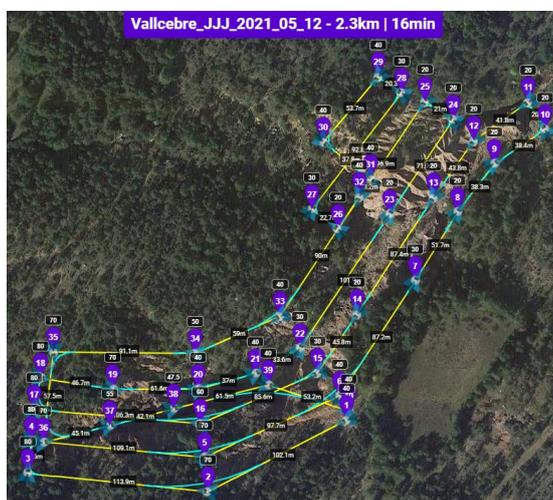


Figura 20. *Planificación de vuelo del día 12 de mayo de 2021*

- o Durante la misma campaña se realizó un segundo vuelo, pero ampliando en la zona noreste, porque estando allí se vio que era interesante incluir esa zona porque se estaban produciendo nuevos deslizamientos en el terreno.
- 2ª Campaña: 18 de junio de 2021
 - o Después de procesar fotogramétricamente la información de la primera campaña se observan algunas mejoras que se aplican en esta segunda campaña. Ahora ya se trabaja con pasadas paralelas a 20 metros según la metodología explicada anteriormente (Figura 21). La altura de vuelo es de 40 metros sobre el terreno y siguiendo los desniveles de este.

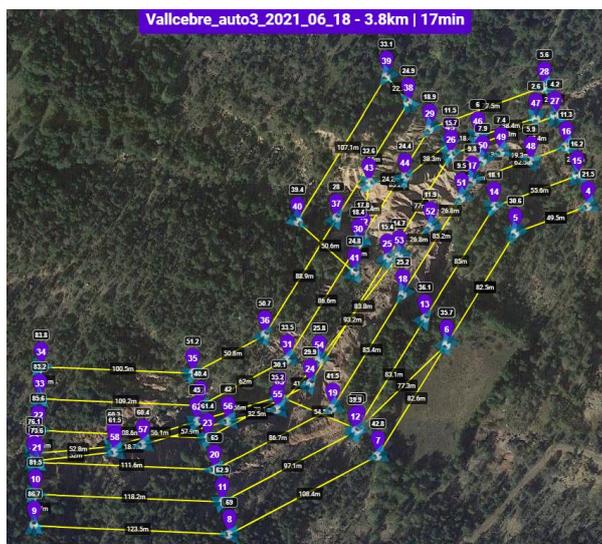


Figura 21. *Planificación de vuelo del día 18 de junio de 2021*

- Además, se ha ampliado la zona, ya que en el procesado de la 1ª campaña se observaron deficiencias en la construcción del modelo y la ortofoto provocadas por la falta de imágenes.
- La ampliación de zona también permite que sea visible alguno de los puntos de apoyo que se midieron durante la 1ª campaña y que un defecto en la planificación de esta hacía que no pudiesen ser utilizados.
- También se ha incluido un recorrido para efectuar imágenes cenitales por el eje del torrente.
- 3ª Campaña: 19 de julio de 2021
 - A partir de la experiencia y resultados de las campañas anteriores se planificó esta tercera campaña para conseguir los mejores resultados posibles. Se han realizado 3 vuelos con características diferentes, que procesados de forma conjunta deben permitir obtener unos resultados mejores que en otras campañas.
 - El primero de los vuelos (Figura 22) se trata de uno muy parecido al de la 2ª campaña, pero en esta ocasión la pasada por el eje se hace ligeramente separada del eje y rodeando la zona en el área de menor cota. Se realiza a 40 metros sobre el terreno y con separación de pasadas de 20 metros

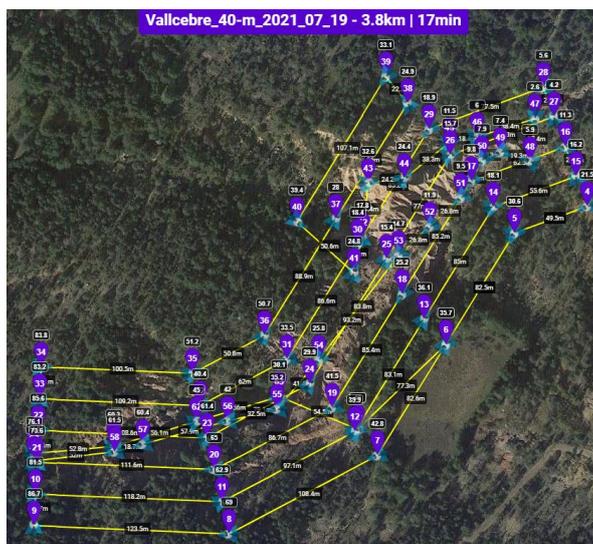


Figura 22. *Planificación del vuelo 1 del día 19 de julio de 2021*

- Para el segundo de los vuelos de esta campaña (Figura 23) se ha realizado una planificación a menor altura sobre el terreno (35 metros). Esta menor altura obliga a modificar la separación entre pasadas que pasa a ser de 15 metros, con lo que se consigue un recubrimiento transversal de aproximadamente 62,5%.
- El área cubierta es la misma y el tiempo de vuelo similar al primero, pero al existir más pasadas paralelas, la autonomía de las baterías no permite ampliar este vuelo con las pasadas de eje, para lo que se efectúa un tercer vuelo.

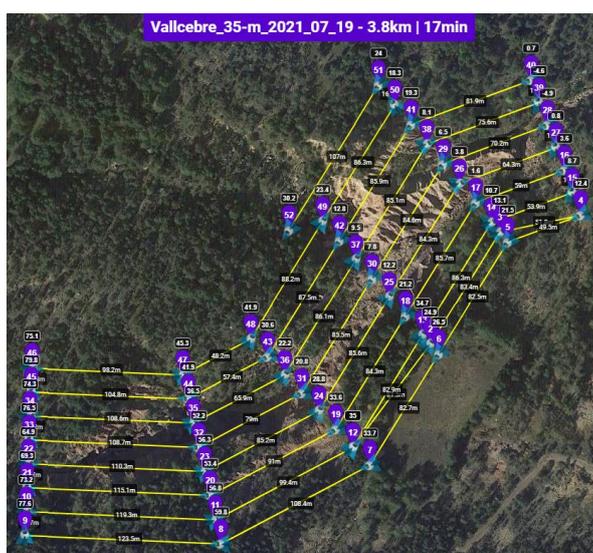


Figura 23. *Planificación del vuelo 2 del día 19 de julio de 2021*

- El tercer vuelo (Figura 24) se realiza para tener una cobertura sobre el eje del torrente, pero a una menor altura, ya que se planifica a 30 metros sobre el terreno
- Este vuelo además se realiza para conseguir fotografiar las zonas ocultas en vuelos anteriores, por lo que las pasadas se separan del eje y se hacen con la cámara inclinada (aproximadamente 30 grados) para intentar capturar más información.

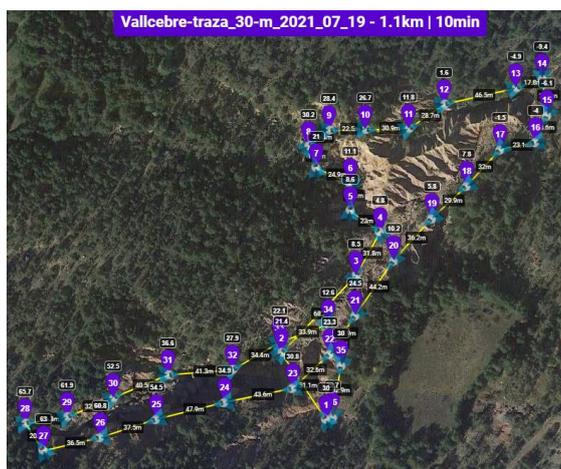


Figura 24. Planificación del vuelo 3 del día 19 de julio de 2021

En este tercer vuelo se añade un giro roll a la cámara para conseguir imágenes oblicuas. La fotogrametría con imágenes oblicuas se utiliza para aumentar la información capturada en zonas en las que el relieve es muy accidentado. Este hecho suele ser usado en fotogrametría arquitectónica independientemente del método de captura de las imágenes (sobre trípode, con dron, etc.) (Corso, y otros, 2016), y no es tan habitual recurrir a imágenes oblicuas para representar el terreno. En este caso se ha considerado muy interesante esta opción a causa de las ocultaciones que los taludes provocaban sobre sí mismos.

4.2.3 Planificación con Metashape

Metashape es un programa de procesado fotogramétrico, y no de planificación de vuelo, pero en las últimas versiones, el programa incluye una utilidad para planificar un vuelo y evitar zonas ocultas. A esta opción le da el nombre de Planificar misión óptima (Figura 25).

Si se lee la documentación de ayuda más actualizada al respecto (Agisoft, Mission planning & redundant image detection in Agisoft Metashape Professional, 2021) parece

que está especialmente pensado para trabajar sobre las estructuras complejas que pueden ser los edificios.

Se ha pensado que quizás pudiese utilizarse para obtener una planificación óptima que permita capturar información en los lugares más complicados de la zona de trabajo. No se ha querido dejar pasar la oportunidad de hacer algunas pruebas para ver su viabilidad, y para ello se ha realizado una planificación a partir del vuelo realizado en noviembre de 2020.

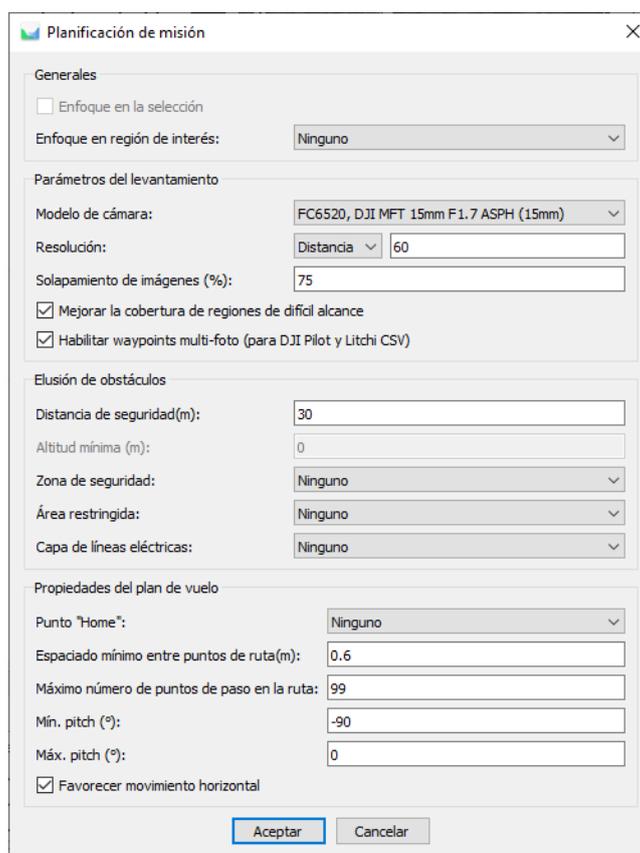


Figura 25. Opciones para Planificar misión óptima de Metashape

Los resultados obtenidos, no permiten usar esta información de planificación para el trabajo en esta zona. Como puede verse en el ejemplo realizado (Figura 26) el resultado que presenta Metashape es el de un conjunto de imágenes siguiendo el terreno, y con una orientación independiente para cada cámara.

Esta forma de volar no se puede realizar con el dron disponible para realizar la misión, por lo que se descarta seguir investigando en esta línea.

Además, requiere tener un vuelo previo de toda la zona (una superficie mayor a la necesaria), sobre la que efectuar un procesado rápido (a nivel de malla y ortofotos de baja resolución), para sobre ese resultado definir la planificación óptima.

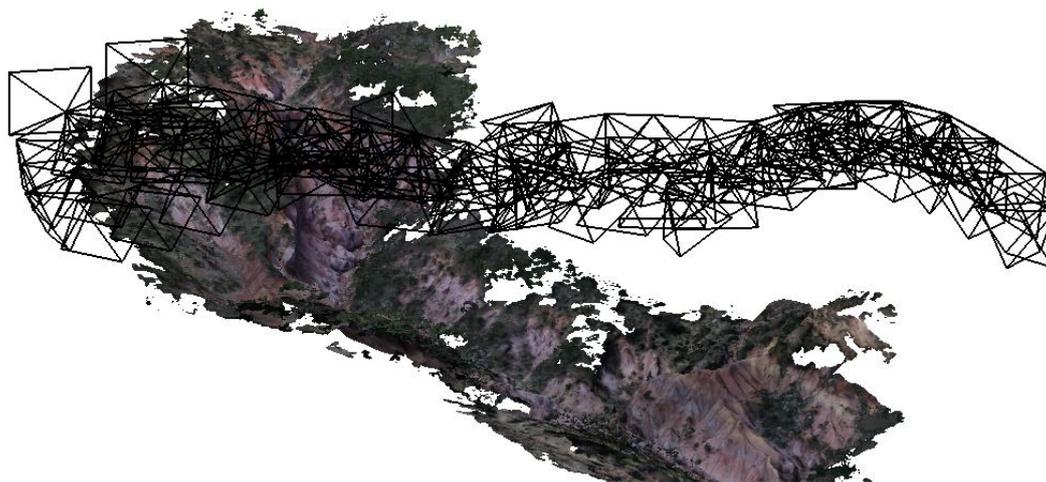


Figura 26. *Planificación de misión óptima sobre un trozo de la zona de Vallcebre, realizada con Metashape*

4.3 Obtención de imágenes

Para efectuar el vuelo de forma legal, no basta con planificar la operación y saber volar el dron. Es necesario disponer del correspondiente título de piloto y estar dado de alta como operadora para poder realizarlo. En mi caso, si bien conozco toda la normativa que aplica, y he efectuado toda la planificación de la operación, no dispongo del título necesario, por lo que he tenido que recurrir a un compañero de la Universidad Politécnica de Catalunya para que me acompañe durante la operación y poder volar bajo el paraguas de la operadora que existe en la sección de Ingeniería y del Terreno, Cartográfica y Geofísica (<https://deca.upc.edu/ca/el-departament/seccions/etcg>), del Departamento de ingeniería Civil y Ambiental (<https://deca.upc.edu/es>) de la UPC. En el ANEXO II – Operadora de vuelo, de esta memoria se aporta la documentación que acredita este extremo, así como el nombre de los pilotos habilitados para operar con el dron.

En todas las campañas el trabajo ha sido preparado previamente, y comprobado y supervisado en campo. El resultado de los vuelos se guarda en una tarjeta SD que se descarga justo al finalizar cada vuelo, para tener copia de seguridad del trabajo realizado y evitar cualquier pérdida de información.

Ya se han explicado anteriormente los diferentes vuelos y campañas efectuadas. Se incluye a modo de resumen la Tabla 4 con la comparativa de datos entre los distintos vuelos efectuados.

Tabla 4. *Tabla comparativa de resultados entre vuelos*

Campaña	Vuelo	Altura (m)	Tipo	Fotogramas	Overlap (%)	Sidelap (%)	Cadencia (s)	Velocidad (m/s)	Formato
12-may	1	40	Vertical	228	80	57	2	3.33	4:3
12-may	2	40	Vertical	238	80	57	2	3.33	4:3
18-jun	1	40	Vertical	691	80	57	1	5	16:9
19-jul	1	40	Vertical	628	86	57	1	5	4:3
19-jul	2	35	Vertical	627	84	63	1	5	4:3
19-jul	3	30	Oblicuo	350	90	NP	1	2.5	4:3

4.4 Apoyo fotogramétrico

En los trabajos fotogramétricos es necesario la toma de puntos de apoyo en campo, para su utilización posterior en los trabajos de aerotriangulación.

Es posible prescindir del apoyo de campo usando métodos de trabajo y sistemas que permitan la obtención de los parámetros de orientación externa, de forma directa y sin necesidad de recurrir a la medida de puntos de apoyo. En este sentido existen equipos que integran sensores GPS RTK o PPK, que permiten obtener las coordenadas X, Y, Z (longitud, latitud, altitud) en el momento de la toma fotográfica. La precisión que se obtiene con estos sistemas puede ser suficiente para muchos trabajos y sin necesidad de medidas de puntos de apoyo (Padró, Muñoz, Planas, & Pons, 2019), pero en este caso, que queremos obtener precisiones de 1-2 cm no es posible usar este método, suponiendo que se pudiese disponer de un dron RTK o PPK. Con estos sistemas lo que se obtienen son las coordenadas del centro de proyección, pero no obtenemos los giros de la cámara en el momento del disparo. Para determinar estos giros (parte indisoluble de los parámetros de orientación externa), tenemos que recurrir a procesos de aerotriangulación que permiten su determinación.

Por otro lado, si queremos prescindir por completo del proceso de aerotriangulación, tenemos que utilizar un equipo, que incorpore una unidad IMU (Inertial Measurement Unit). Son equipamientos que no suelen estar integrados en drones comerciales y requieren desarrollos especiales de integración con los propios sistemas que incorpora el dron. En ocasiones se debe modificar la estructura del dron para la integración de los elementos adicionales que son necesarios, como pueden ser las antenas GPS, que deben cumplir unas condiciones especiales respecto a la unidad IMU.



Figura 27. *Dron equipado con sistema IMU (detrás de la cámara) y una pértiga para las antenas GPS*

Si hay posibilidad de escoger el equipamiento, se debe seleccionar aquel que permita obtener los mejores resultados. Si, por el contrario, y como sucede para la realización de este Trabajo de Final de Máster, se dispone de un equipamiento específico, lo que se ha de hacer es adaptar la metodología de trabajo para obtener los mejores resultados.

Para este trabajo se dispone de un dron Inspire 2 (características en el apartado 3.1.2). El sistema obtiene fotografías RGB con la georreferenciación que proporciona el sistema GPS de navegación del dron, que es poco precisa. Se estima una precisión alrededor de 2 metros para longitud y latitud e inferior para la determinación de la coordenada Z o altitud.

Para obtener la precisión requerida para este trabajo se hace necesario recurrir a la medida de puntos de apoyo que se usarán en la posterior fase de aerotriangulación. Para la medida de puntos de apoyo se han utilizado dos receptores Topcon Hiper Pro. Estos equipos permiten el funcionamiento en modo RTK, pero se han utilizado en modo estático rápido para recibir datos de los satélites y efectuar un trabajo de procesamiento posterior para el cálculo de las coordenadas.

Las coordenadas de los puntos de apoyo se han calculado en el sistema de referencia oficial en España, regulado según el Real Decreto 1071/2007, de 27 de julio (BOE, 2007). Según este real decreto, se adopta el sistema ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) como sistema de referencia geodésico oficial en España para la referenciación geográfica y cartográfica en el ámbito de la Península Ibérica y las Islas Baleares. Para las Islas Canarias se adopta el sistema REGCAN95.

Como sistema de referencia altimétrico se tomarán las altitudes de los registros del nivel medio del mar en Alicante para la Península, y por referencias mareográficas locales para cada una de las islas. Este sistema se encuentra materializado por las líneas de la Red de Nivelación de Alta Precisión. El modelo de geoide que representa esta superficie puede ser implementado mediante el modelo EGM08-REDNAP, que permite convertir coordenadas elipsoidales medidas con GPS en ortométricas.

Los códigos EPSG⁴ que se emplearán en los diferentes cálculos son EPSG:4326 (WGS84) y EPSG:25831 (ETRS89, proyección UTM, Huso 31N).

Para el apoyo se han usado las dianas que ya estaban colocadas para la campaña de noviembre y se han seleccionado algunos puntos convenientemente distribuidos por la zona (Figura 28).



Figura 28. *Distribución de puntos de apoyo medidos durante la primera campaña de vuelo el día 12 de mayo de 2021*

La observación se ha hecho en cada uno de los puntos durante al menos 10 minutos, aunque la mayoría de ellos tienen un tiempo de observación mayor de 20 minutos. El punto 302 se ha observado sólo 4 minutos y medio y aunque se ha conseguido resolver ambigüedades se ha descartado su uso para los trabajos posteriores de aerotriangulación.

La medida de puntos de apoyo se realizó durante el día 12 de mayo coincidiendo con la primera campaña de vuelo de este TFM. Los puntos 103, 301, 105, 302 y 106, se observaron entre las 11 y las 12:30 de la mañana (Figura 29). Durante las horas

⁴ EPSG. Siglas de European Petroleum Survey Group, actualmente IOGP (International Association of Oil & Gas Producers). El Comité de Geomática se encarga del mantenimiento y actualización de la base de datos de códigos de sistemas de referencia. Más información en <https://epsg.org/home.html>

centrales del día se realizó el vuelo con el dron. Y por la tarde entre las 15:00 y las 17:00 se midieron el resto de los puntos (A102, 200, 306, 304, 201)



Figura 29. Observación mediante GPS del punto 306

Para el cálculo se han usado 4 estaciones permanentes alrededor de la zona (Figura 30) con distancias que van desde los 25 a los 38 km. Estas estaciones permanentes son:

- - Sant Bartomeu del Grau (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya)
- - Llívia (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya)
- - Solsona (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya)
- - Puigcerdà (Instituto Geográfico Nacional)

Aunque la distancia es muy grande entre la zona de trabajo y las estaciones permanentes, el hecho tener la posibilidad de calcular desde diferentes posiciones permite que se puedan obtener buenos resultados.

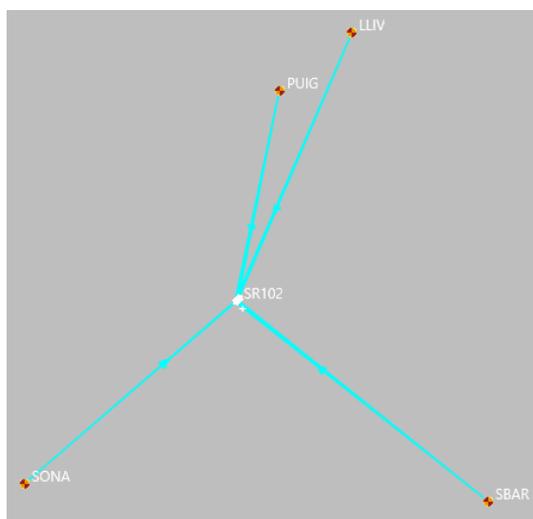


Figura 30. Posición de las estaciones permanentes y zona de trabajo en el centro

El cálculo de las coordenadas se ha realizado mediante el software Leica Infinity. Se han importado los datos RINEX descargados de las estaciones permanentes, los datos brutos obtenidos con los GPS convertidos a formato RINEX, y se han comprobado y actualizado los datos de las alturas de antenas y coordenadas de las estaciones permanentes.

Se han calculado todas las combinaciones posibles teniendo en cuenta que todos los puntos pueden ser calculados desde al menos 4 posiciones (Figura 31).

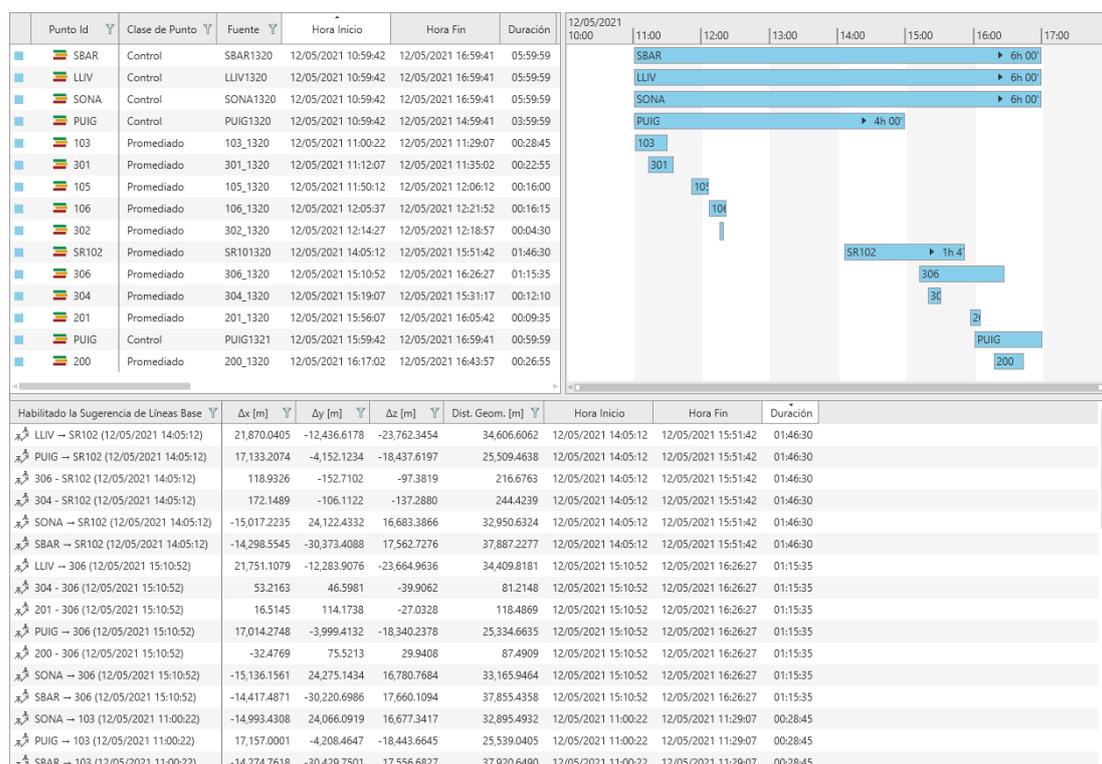


Figura 31. Cálculo de baselines y tiempos comunes entre observaciones

Esto permite efectuar un ajuste de red para todos los puntos. Los resultados finales obtenidos se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Tabla con las coordenadas calculadas de los puntos de apoyo (ETRS89, EPSG:25831)

Punto Id	Coordenada X [m]	Coordenada Y [m]	Altura Ortom. [m]	Desv. Estd. Coordenada X [m]	Desv. Estd. Coordenada Y [m]	Desv. Estd. Altura Ortom. [m]	Latitud [°]	Longitud [°]
103	401971.558	4671537.157	1280.028	0.0031	0.0030	0.0155	42° 11' 23.45" N	1° 48' 46.10" E
105	401862.590	4671552.327	1296.431	0.0043	0.0058	0.0337	42° 11' 23.89" N	1° 48' 41.34" E
106	401934.904	4671602.414	1278.813	0.0049	0.0073	0.0337	42° 11' 25.55" N	1° 48' 44.47" E
200	402110.176	4671660.793	1250.865	0.0035	0.0037	0.0247	42° 11' 27.52" N	1° 48' 52.07" E
201	402074.170	4671737.184	1251.951	0.0041	0.0038	0.0191	42° 11' 29.98" N	1° 48' 50.46" E
301	401939.908	4671512.216	1301.491	0.0043	0.0042	0.0220	42° 11' 22.63" N	1° 48' 44.74" E
302	401889.040	4671581.342	1297.789	0.0321	0.0267	0.1308	42° 11' 24.84" N	1° 48' 42.48" E
304	402143.290	4671768.947	1235.008	0.0030	0.0030	0.0143	42° 11' 31.04" N	1° 48' 53.45" E
306	402187.233	4671702.083	1248.714	0.0027	0.0024	0.0123	42° 11' 28.89" N	1° 48' 55.41" E
A102	402028.858	4671555.604	1267.828	0.0030	0.0030	0.0149	42° 11' 24.07" N	1° 48' 48.59" E
			RMS (sin 302)	0.0037	0.0043	0.0225		

En el ANEXO IV – Ajuste de Red, se incluyen los resultados de los cálculos efectuados con el programa Leica Infinity.

4.5 Procesado fotogramétrico

El procesado fotogramétrico para obtención de resultados se ha realizado con Metashape. Se trata de un software que salió al mercado en 2010 y desde entonces está en continua evolución. Se pueden obtener muy buenos resultados y dispone de bastantes opciones para que el operador tenga libertad de decidir qué camino es el mejor para obtener los resultados deseados, a diferencia de otros programas similares que son bastante más cerrados y menos transparentes al usuario (Agisoft, Agisoft Metashape User Manual Professional Edition, Version 1.7, 2021).

Sin pretender ser un manual de uso del programa, se describen brevemente y de forma muy genérica los pasos seguidos en los distintos procesados efectuados, para dejar constancia del flujo de trabajo.

- Carga de los fotogramas de vuelo.
 - o Se comprueba que tengan las coordenadas aproximadas de navegación y que se carguen correctamente los datos de la cámara desde los metadatos de las imágenes.
- Importación de las coordenadas de los puntos de apoyo y definición de los sistemas de referencia (Figura 32).



Figura 32. *Sistemas de coordenadas usados en el procesado fotogramétrico*

- Medición automática de puntos de enlace definiendo que el sistema mida 4000 puntos de paso por foto (Figura 33).

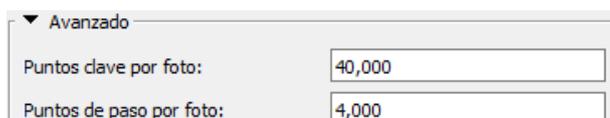


Figura 33. *Parámetros de medida de puntos de paso automáticos*

- Depuración de los puntos medidos a partir de la opción de Selección Gradual que permite detectar puntos en base a 4 criterios (Figura 34) para poder eliminar aquellos en los que los errores son mayores, y mejorar de esta forma los resultados finales del ajuste.

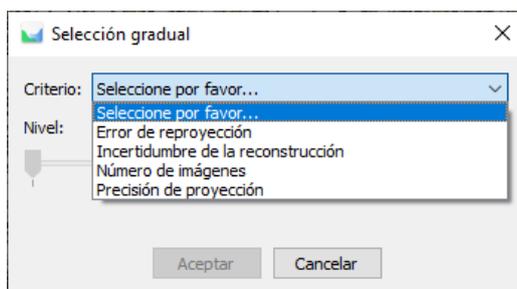


Figura 34. *Criterios de la opción de selección gradual para depurar los puntos medidos automáticamente*

- Medida de puntos de apoyo de forma manual en todas las imágenes donde aparecen y ajuste de la calibración de la cámara (Figura 35).

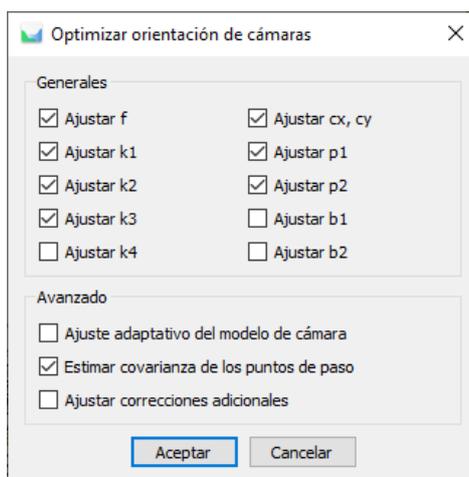


Figura 35. *Parámetros de ajuste de la cámara*

- Cálculo de nube de puntos densa.
 - o Se calcula con calidad Media en todos los casos, y se obtienen alrededor de 100 millones de puntos para cada vuelo.
- Obtención de un Modelo Digital de Elevaciones a partir de la nube de puntos densa.
 - o No se efectúa ningún filtrado ni clasificación por lo que se obtiene un modelo de superficie, adecuado para realizar una ortofoto verdadera.
- Para conseguir que el ajuste radiométrico final de la ortofoto resultante sea lo mejor posible se efectúa una calibración de color a partir del Modelo Digital de

Elevaciones creado anteriormente. Este ajuste añade información de Viñeteo (Figura 36) a la calibración de la cámara de forma que al aplicarlo a las imágenes se mejora la pérdida de luminosidad que se produce hacia los extremos del fotograma.

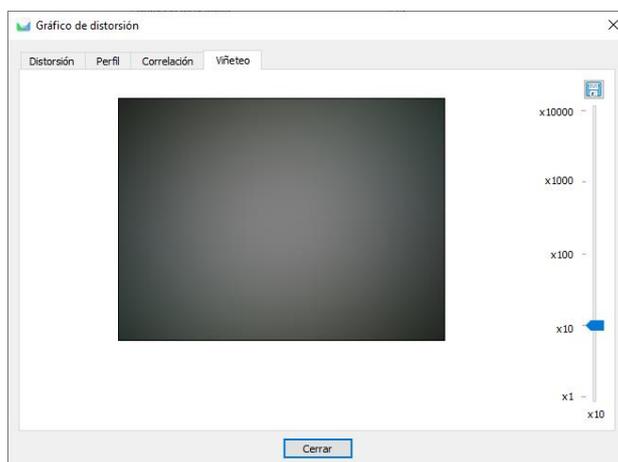


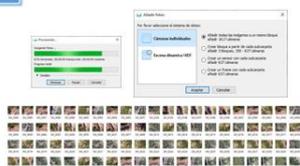
Figura 36. Corrección de Viñeteo en la calibración de la cámara

- Realización de ortofoto verdadera con la resolución por defecto.
 - o Dadas las condiciones de altura de los vuelos realizados y GSD, en todos los casos se obtienen ortofotos con resoluciones mejores de 1 cm.
- Exportación de los resultados.
 - o Se exporta la nube de puntos densa, obtenida para todos los vuelos con calidad media.
 - o Se exporta la ortofoto verdadera de cada vuelo, todas ellas con una resolución de 1 cm.

El flujo de trabajo descrito anteriormente es el que se ha realizado para todos los vuelos, pero cada campaña tiene sus particularidades. En el apartado 5 se describen los resultados obtenidos para cada una de las campañas de vuelo efectuadas.

En la Figura 37 se describe gráficamente el flujo de trabajo descrito anteriormente mostrando algunas de las pantallas y resultados del proceso.

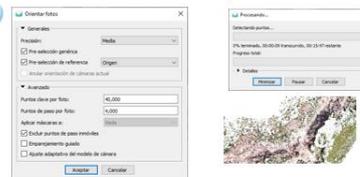
1 Carga de los fotogramas de vuelo



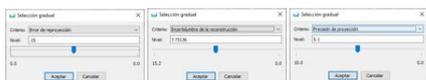
2 Importación puntos de apoyo



3 Medición automática de puntos de enlace



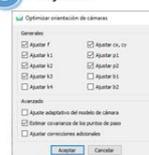
4 Depuración errores



5 Medida de puntos de apoyo



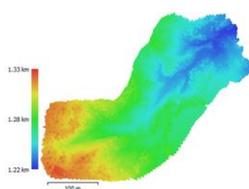
6 Ajuste



7 Cálculo de nube de puntos densa



8 Cálculo de MDE



9 Calibración del color



10 Ortofoto verdadera



Figura 37. Flujo de trabajo seguido en el procesado fotogramétrico

5 Resultados

Siguiendo el flujo de procesado fotogramétrico descrito en el apartado 4.5 se han procesado los vuelos de las distintas campañas. En cada caso se ha tratado de obtener unos resultados comparables para analizar posteriormente las mejoras de resultados en función de las modificaciones de planificación llevadas a cabo.

5.1 Resultados obtenidos

Siguiendo la metodología explicada en el apartado 4, se han obtenido resultados para cada una de las campañas según se indica en los apartados siguientes.

Como resultado del procesado de las imágenes de cada campaña se han obtenido los mismos productos (básicamente nube de puntos y ortofoto) que han sido comparados para obtener las mejoras resultantes en función de la planificación de vuelo efectuada (Ver apartado 5.2).

5.1.1 Campaña 1 (12 de mayo)

En esta campaña se realizaron dos vuelos según se ha explicado en el apartado 4.2.2. Un primer vuelo según la planificación prevista y un segundo vuelo ampliando un poco por la zona noreste para cubrir una zona en la que se observaron nuevos deslizamientos del terreno.

Este doble vuelo puede verse en la Figura 38, donde se han marcado con colores blancos y rojos las posiciones de los distintos fotogramas obtenidos. Prácticamente en todo el vuelo se observan fotogramas dobles, porque se ha usado la misma planificación y solo se observa un color en la zona de ampliación.

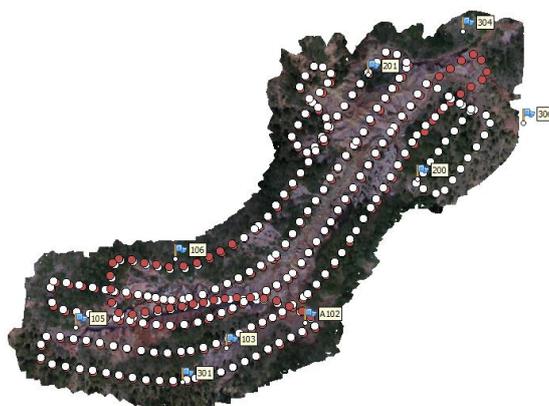


Figura 38. *Fotogramas obtenidos en los vuelos 1 (color rojo) y 2 (color blanco), de la campaña 1 (12 de mayo de 2021)*

Se ha obtenido un RMS total en el ajuste de la aerotriangulación de 2,35 cm (Tabla 6), sin embargo, se puede ver que el punto 306 no se ha medido porque la cobertura del vuelo no era suficiente. Este es el principal motivo que ha llevado a repetir el vuelo que se realizará durante la segunda campaña, aparte de para conseguir mayor homogeneidad en la zona volada gracias a una mejor planificación de vuelo.

Tabla 6. Resultados del ajuste conjunto de los vuelos de la 1ª campaña (12 de mayo de 2021)

Nombre	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
A102	0.712776	-1.97258	-1.60299	2.63983	0.453 (20)
103	1.38492	-0.15172	0.627683	1.52807	0.336 (19)
301	-0.0259666	3.27319	-1.36212	3.54539	0.400 (6)
105	-0.898414	0.0529928	-0.634985	1.10144	0.355 (21)
106	-0.72694	-1.63795	2.16883	2.81338	0.293 (7)
201	-1.16382	0.657334	2.89776	3.19117	0.287 (8)
304	0.590309	-0.468486	-0.916892	1.18686	0.213 (3)
306					
200	0.159769	0.386045	-1.18154	1.25324	0.319 (13)
Total	0.828461	1.50475	1.60311	2.34959	0.360

Como productos finales se ha obtenido una nube de puntos densa de 70,62 millones de puntos obtenidos en densidad media, que equivale a 1 punto cada 3,4 cm aproximadamente (Figura 39), y una ortofoto verdadera de 8,53 mm/píxel que después se ha remuestreado a 1 cm para permitir la comparación directa con los resultados de otras campañas (Figura 40). Tanto esta ortofoto como las obtenidas en el resto de las campañas se han recortado con el mismo polígono que define el límite de actuación.



points: 70,618,350

Figura 39. Nube densa de puntos obtenida en la 1ª campaña de vuelo



Figura 40. Ortofoto de la zona de trabajo con resolución de 1 cm, correspondiente a la 1ª campaña

5.1.2 Campaña 2 (18 de junio)

Como resultado del procesado de los vuelos de la 1ª campaña, se ve que los residuos obtenidos son demasiado elevados y se piensa que puede ser por culpa de la irregular planificación del vuelo. Esto lleva a efectuar la planificación de la segunda campaña según se ha explicado en el apartado 4.2.2, en la que sólo se ha realizado un único vuelo como se ve en la Tabla 4.

Este vuelo se ha realizado para tener la zona completa con una mejor planificación que se adapte a la zona y que incluya todos los puntos de apoyo medidos, ya que como se explicó anteriormente, el punto 306 no pudo ser medido en el primer vuelo por falta de imágenes. Si comparamos los puntos de paso medidos entre los vuelos de ambas campañas se puede ver la mejora que ha supuesto el vuelo de la segunda campaña respecto a la primera. En la Figura 41 se observa que, en la segunda campaña, además de tener más imágenes se han podido medir puntos en mayor número de estas y existen menos zonas con pocos haces.

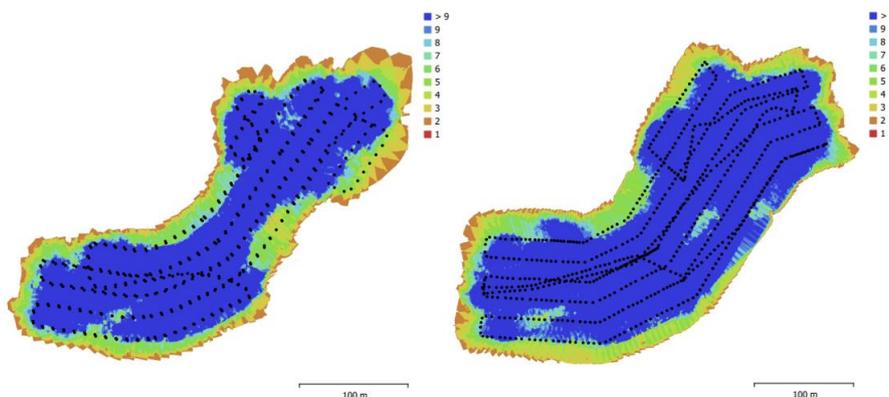


Figura 41. Comparativa de puntos de paso medidos entre los vuelos de la 1ª campaña (izquierda) y 2ª campaña (derecha)

Como resultado de la mayor medida de puntos de enlace y mayores conexiones se obtienen unos resultados del ajuste que mejoran los obtenidos anteriormente. En este caso se consigue un RMS total de 1,38 cm. El error desglosado por componentes y puntos se puede consultar en la tabla de la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados del ajuste conjunto de los vuelos de la 2ª campaña

Nombre	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
103	1.5043	0.113338	-0.428198	1.56815	0.334 (27)
105	-0.322891	0.167073	0.116511	0.381768	0.235 (35)
106	-1.48759	-0.802438	1.97744	2.60137	0.400 (19)
200	0.783249	0.604161	-0.299957	1.03367	0.410 (16)
201	-1.0007	-0.5424	0.80815	1.39596	0.365 (15)
301	-0.0734893	1.23044	-1.32469	1.80947	0.282 (9)
304	0.735997	-0.40072	-0.347557	0.907229	0.249 (12)
306	-0.140561	0.165536	0.0714802	0.228624	0.367 (8)
A102	0.103297	-0.450502	-0.577574	0.739739	0.320 (28)
Total	0.867468	0.600813	0.885977	1.37784	0.327

En esta campaña se ha obtenido una nube de puntos densa en calidad media con 78,20 millones de puntos que equivale a un punto cada 4,14 cm aproximadamente (Figura 42). A partir de estos puntos se ha obtenido una ortofoto que se ha remuestreado a 1 cm de resolución (Figura 43).



Figura 42. Nube densa de puntos resultado de la 2ª campaña de vuelo



Figura 43. Ortofoto de la zona de trabajo con resolución de 1 cm, correspondiente a la 2ª campaña

5.1.3 Campaña 3 (19 de julio)

Con los vuelos de las campañas anteriores se han conseguido unos buenos resultados en lo que respecta al ajuste de ambos bloques. Sin embargo, se realiza esta tercera campaña, para mejorar si es posible los resultados anteriores. Como se ha explicado anteriormente en esta campaña se han realizado tres vuelos. Dos de ellos con pasadas paralelas, pero con distinta separación y altura de vuelo, y un tercer vuelo siguiendo el eje del torrente, pero efectuando fotografía oblicua, que sirve para complementar las pasadas de eje verticales del primero de los vuelos.

Con esto se consigue una cobertura fotográfica muy densa (Figura 44) sobre toda la zona además de conseguir tener más información del terreno gracias a las imágenes oblicuas, que permitirán mejorar los resultados de la nube de puntos en las zonas de paredes verticales o con entrantes.



Figura 44. Cobertura fotográfica de la 3ª campaña procesado conjuntamente. En color rojo el vuelo 1 y en color blanco los vuelos 2 y 3

Si comparamos los puntos de paso medidos en este caso con respecto a los de la 2ª cobertura (Figura 45), de forma similar a como se ha hecho en la segunda campaña, se observa que todos los puntos de la zona tienen al menos 9 haces lo que asegura una mejor unión entre fotogramas que debería reflejarse en unos resultados mejores.

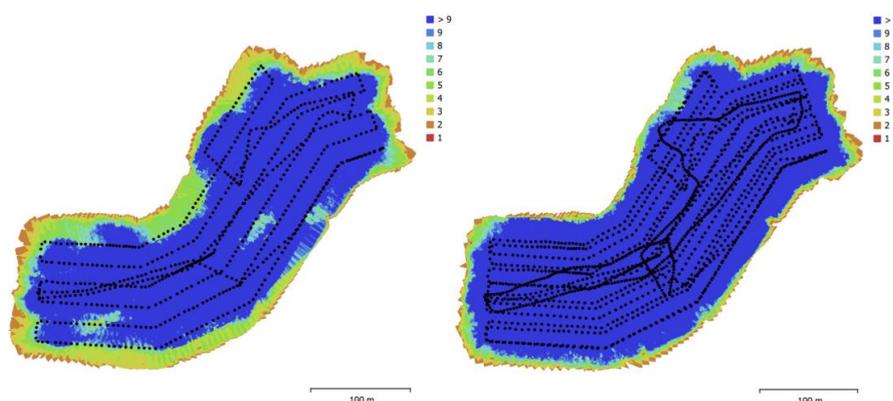


Figura 45. Comparativa de puntos de paso medidos entre los vuelos de la 2ª campaña (izquierda) y 3ª campaña (derecha)

También se puede ver que la cantidad de puntos medidos en las zonas periféricas aumenta considerablemente, lo que da más estabilidad al modelo en esas zonas y permite obtener mejores resultados.

Un objetivo de esta tercera campaña ha sido mejorar la planificación de vuelo de tal forma que ha permitido obtener mejores resultados en el ajuste de la aerotriangulación. En este caso después de procesar de forma conjunta los tres vuelos realizados se obtiene un RMS total de 1,17 cm (Tabla 8), que como vemos mejora sensiblemente los resultados obtenidos con los vuelos de las campañas anteriores.

Tabla 8. Resultados del ajuste conjunto de los vuelos de la 3ª campaña

Nombre	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
103	1.1286	-0.484808	-0.639841	1.38498	0.228 (58)
105	-0.23094	-0.274923	0.110903	0.375787	0.176 (78)
106	-0.16247	-0.233147	0.438203	0.52228	0.189 (55)
200	0.345891	0.548816	-0.957548	1.15661	0.231 (38)
201	-0.645237	-0.065727	-0.173381	0.67135	0.297 (35)
301	-0.629624	1.45355	-2.08904	2.6217	0.331 (18)
306	0.039231	-0.102006	0.0297739	0.113273	0.073 (22)
A102	-0.137328	-0.152819	-0.915583	0.938352	0.192 (76)
304	0.279605	-0.211975	-0.554908	0.656533	0.169 (50)
Total	0.514721	0.563913	0.886432	1.16991	0.209

De la 3ª campaña se ha obtenido una nube de puntos densa en calidad media de 112,17 millones de puntos que equivale a un punto cada 3,8 cm aproximadamente (Figura 46).

A partir de estos puntos se ha obtenido una ortofoto de 9,51 mm, que se ha remuestreado a 1 cm de resolución (Figura 47) para permitir la comparación rápida con el resto de las campañas.



Figura 46. *Nube densa de puntos obtenida del procesamiento de las imágenes de la 3ª campaña de vuelo*



Figura 47. *Ortofoto de la zona de trabajo con resolución de 1 cm, correspondiente a la 3ª campaña*

5.2 Análisis de resultados

Uno de los objetivos de este trabajo es analizar los resultados del procesamiento fotogramétrico para cuantificar las mejoras obtenidas con las diferentes planificaciones de vuelo realizadas. Algunos de los resultados se han ido mencionando a lo largo de la presente memoria y junto con nuevos análisis se recogen en este apartado.

5.2.1 Precisión en los puntos de apoyo

Una de las mejoras que se pretendía obtener era en la mejora de precisión en la medida de puntos de apoyo usados para el proceso fotogramétrico. El método RTK usado en la campaña de vuelo existente ofrece menores precisiones que si utilizamos el método estático rápido (Briceño, y otros, 2009) que es el que ha sido utilizado. Podemos comparar las coordenadas de los puntos medidos en estático rápido con las obtenidas en RTK (Tabla 9).

Se observa que existen puntos con diferencias en las coordenadas XY de hasta 10 cm, y algún punto con más de 12 cm en la coordenada Z. Si calculamos el error medio cuadrático se ve que es superior a 4 cm para todas las componentes, lo que está muy por encima de la precisión absoluta que se quería obtener.

Tabla 9. Diferencias entre las coordenadas medidas en postproceso y en RTK (EPSG:25831, unidades en metros)

Punto Id	X	Y	Z_elip	X_RTK	Y_RTK	Z_RTK_elip	X-X_RTK	Y-Y_RTK	Z-Z_RTK	
103	401971.558	4671537.157	1331.692	401971.562	4671537.139	1331.715	-0.004	0.017	-0.023	
105	401862.590	4671552.327	1348.098	401862.575	4671552.273	1348.114	0.014	0.054	-0.016	
106	401934.904	4671602.414	1330.481	401934.916	4671602.367	1330.603	-0.012	0.047	-0.122	
200	402110.176	4671660.793	1302.532	402110.218	4671660.734	1302.523	-0.042	0.059	0.009	
201	402074.170	4671737.184	1303.623	402074.175	4671737.164	1303.712	-0.005	0.020	-0.089	
301	401939.908	4671512.216	1353.153	401940.015	4671512.144	1353.102	-0.107	0.072	0.052	
304	402143.290	4671768.947	1286.680	402143.317	4671768.923	1286.670	-0.027	0.024	0.009	
306	402187.233	4671702.083	1300.382	402187.216	4671702.062	1300.383	0.017	0.021	-0.001	
A102	402028.858	4671555.604	1319.491	402028.876	4671555.572	1319.498	-0.018	0.032	-0.007	
							RMS	0.0408	0.0427	0.0544

Se puede ver que los resultados obtenidos en el procesado fotogramétrico serán mejores si se utilizan los puntos medidos en postproceso que los inicialmente usados en RTK, dado que la desviación estándar de los puntos GPS calculados está por debajo 1 cm en todas las componentes (Tabla 5).

Las coordenadas de los puntos RTK medidos en la campaña existente de noviembre de 2.020, se pueden usar para comprobar la bondad de los resultados de los ajustes fotogramétricos, teniendo en cuenta que dada la menor precisión en la medida de aquellos puntos las discrepancias serán acordes a esa precisión. Siguiendo con esta comprobación se ha efectuado un cálculo de la aerotriangulación usando como puntos de control los medidos en postproceso, y de comprobación o chequeo los medidos en RTK. El resultado de este ajuste se resume en la Tabla 10.

Tabla 10. Errores en los puntos de control (medidos en postproceso) y en los de comprobación (medidos en RTK). Unidades expresadas en metros

Tipo de punto	Nombre	Coordenada X [m]	Coordenada Y [m]	Altura Ortom. [m]	Error X	Error Y	Error Z	Error total	Error pix
APOYO	103	401971.558	4671537.157	1280.028	0.0118	-0.0037	-0.0116	0.0169	0.2357
APOYO	105	401862.590	4671552.327	1296.431	-0.0028	-0.0021	0.0048	0.0059	0.1740
APOYO	106	401934.904	4671602.414	1278.813	-0.0046	-0.0054	0.0080	0.0107	0.2066
APOYO	200	402110.176	4671660.793	1250.865	0.0050	0.0053	-0.0052	0.0089	0.2343
APOYO	201	402074.170	4671737.184	1251.951	-0.0085	-0.0014	-0.0047	0.0098	0.2974
APOYO	301	401939.908	4671512.216	1301.491	-0.0072	0.0175	-0.0230	0.0298	0.3328
APOYO	304	402143.290	4671768.947	1235.008	0.0038	-0.0019	-0.0032	0.0053	0.1792
APOYO	306	402187.233	4671702.083	1248.714	-0.0003	-0.0012	-0.0019	0.0023	0.0743
APOYO	A102	402028.858	4671555.604	1267.828	0.0026	-0.0023	-0.0107	0.0113	0.1974
RMS (Apoyo)					0.0061	0.0066	0.0102	0.0136	0.2259
Tipo de punto	Nombre	Coordenada X [m]	Coordenada Y [m]	Altura Ortom. [m]	Error X	Error Y	Error Z	Error total	Error pix
CHECK	104	401885.737	4671506.577	1313.443	0.0124	0.0376	0.0215	0.0451	0.3525
CHECK	108	401975.658	4671611.455	1273.602	-0.0229	0.0452	-0.0892	0.1026	0.2261
CHECK	109	401995.464	4671587.795	1257.181	-0.0072	0.0260	-0.0613	0.0670	0.2007
CHECK	110	401976.239	4671583.851	1261.049	-0.0206	0.0159	-0.0658	0.0708	0.1997
CHECK	112	402011.068	4671605.964	1255.090	-0.0138	0.0198	-0.0724	0.0763	0.1363
CHECK	113	402050.402	4671655.967	1244.832	-0.0179	0.0246	-0.0904	0.0953	0.1899
CHECK	114	402076.697	4671682.689	1240.689	-0.0286	0.0098	-0.0867	0.0918	0.1937
CHECK	115	402130.533	4671730.220	1235.268	-0.0136	-0.0002	-0.0865	0.0876	0.1963
CHECK	203	402029.206	4671688.876	1256.082	-0.0235	0.0254	-0.0868	0.0934	0.2229
CHECK	204	402014.344	4671731.982	1268.521	-0.0433	0.0327	-0.0671	0.0863	0.1659
CHECK	303	402109.744	4671749.645	1235.867	-0.0195	0.0427	-0.0969	0.1076	0.2519
CHECK	305	402150.545	4671733.607	1233.517	-0.0188	0.0081	-0.0611	0.0645	0.1289
CHECK	307	401938.150	4671576.277	1274.408	-0.0015	0.0299	-0.0164	0.0341	0.2039
CHECK	308	401916.351	4671569.040	1281.458	-0.0314	-0.0114	-0.0340	0.0476	0.1855
CHECK	309	402004.906	4671572.818	1269.767	-0.0301	0.0388	-0.0350	0.0603	0.1843
RMS (Check)					0.0227	0.0278	0.0696	0.0783	0.2087
RMS Total					0.0047	0.0051	0.0079	0.0105	0.1750

El ajuste del bloque tiene un error medio cuadrático total algo superior a 1 cm, que se consigue gracias a la precisión obtenida en la medida de los puntos de apoyo mediante GPS y el método de medida estático rápido y cálculo en postproceso.

Sin embargo, en los puntos de chequeo el error medio cuadrático total está por encima de 7 cm. Esto es debido a la menor precisión de los puntos medidos mediante sistema RTK, y vemos que los errores son de una magnitud similar a los ya comentados en la Tabla 9, que comparaba medidas RTK con postproceso. Y se descarta que pueda ser debido a errores en la medición sobre los fotogramas porque el error cometido en píxeles es similar en todos ellos y alrededor de 0,20 píxeles.

5.2.2 Mejoras de precisión en sucesivas campañas

Ya se ha comentado en apartados anteriores la mejora que ha supuesto el ajuste de la aerotriangulación en sucesivas campañas de vuelo (Tabla 6, Tabla 7, Tabla 8), donde se puede ver la mejora en el ajuste al aumentar la cantidad de puntos de enlace que se consigue con las mejoras de vuelo que se han realizado en las sucesivas campañas. En la Tabla 11 se recoge las mejoras en las diferentes campañas tanto en cm como en píxeles.

Tabla 11. *Errores en la aerotriangulación de los vuelos según campañas*

Campaña 12-05-2021			Campaña 18-06-2021			Campaña 19-07-2021		
Nombre	E. Total (cm)	Imagen (pix)	Nombre	E. Total (cm)	Imagen (pix)	Nombre	E. Total (cm)	Imagen (pix)
103	1.528	0.34	103	1.568	0.33	103	1.385	0.23
105	1.101	0.36	105	0.382	0.24	105	0.376	0.18
106	2.813	0.29	106	2.601	0.40	106	0.522	0.19
200	1.253	0.32	200	1.034	0.41	200	1.157	0.23
201	3.191	0.29	201	1.396	0.37	201	0.671	0.30
301	3.545	0.40	301	1.809	0.28	301	2.622	0.33
304	1.187	0.21	304	0.907	0.25	304	0.657	0.17
			306	0.229	0.37	306	0.113	0.07
A102	2.640	0.45	A102	0.740	0.32	A102	0.938	0.19
Total	2.350	0.36		1.378	0.33		1.170	0.21

Se observa que los errores se reducen a la mitad entre la primera y la tercera campaña. Teniendo en cuenta que los puntos de apoyo son los mismos y el método de aerotriangulación seguido ha sido el mismo, se justifica la mejora de precisión a causa de la mejor planificación del vuelo de la tercera campaña, donde se han efectuado dos vuelos a diferentes alturas y recubrimientos transversales y un tercer vuelo oblicuo por los ejes de interés, junto con el procesado conjunto de los tres vuelos.

5.2.3 Mejoras en la superficie reconstruida

Hemos visto como la mejora de planificación del vuelo ha influido en una mejora en los resultados de la aerotriangulación. Pero si analizamos las nubes de puntos densas obtenidas en las diferentes campañas (Figura 48) podemos ver una mejora en las zonas de orografía complicada donde se consigue reconstruir mayores detalles del terreno.



Figura 48. *Imagen superior: nube de puntos obtenida con el vuelo de la 1ª campaña. Imagen inferior: nube de puntos obtenida con el vuelo de la 3ª campaña*

Se pueden analizar visualmente las diferentes zonas de orografía complicada y en todas ellas se observa una considerable mejora en la cantidad de puntos obtenidos en la última campaña.

Tabla 12. Puntos de la nube densa según campaña

Puntos obtenidos en la nube densa	
1ª campaña	70618350
2ª campaña	78200502
3ª campaña	112166911

Si analizamos la Tabla 12 vemos que la mejora de la 2ª campaña respecto a la 1ª es de poco más de 8 millones de puntos. En ambos casos los vuelos han sido verticales y teniendo en cuenta que en la 2ª campaña la superficie de vuelo es ligeramente superior, no puede considerarse que entre estas campañas exista una mejora en este sentido.

Sin embargo, al comparar la 3ª campaña respecto a la 2ª vemos que se consigue aumentar la cantidad de puntos en casi 40 millones de puntos, lo que supone una mejora de más del 43%. Esto se justifica gracias a las planificaciones de la tercera campaña, donde se han obtenido 2 vuelos de toda la zona con diferentes alturas de vuelo y recubrimientos, y sobre todo por el tercer vuelo oblicuo y de menor altura que permite que se puedan ver zonas que en los vuelos verticales quedan ocultas.

5.2.4 Precisión de la ortofoto resultante

Uno de los productos que se ha obtenido es el ortomosaico de toda la zona con 1 cm de resolución. Si comparamos las ortofotos de las diferentes campañas (Figura 40, Figura 43, Figura 47), se observa que son perfectamente coincidentes (Figura 49), más allá de que la ortofoto de la 1ª campaña no cubra toda la zona.



Figura 49. Imagen izquierda: ortofoto de la 2ª campaña. Imagen derecha: ortofoto de la 3ª campaña

Para comprobar la precisión absoluta se ha medido sobre el resultado de la ortofoto de la 3ª campaña los puntos de apoyo utilizados y también los puntos de chequeo (Tabla 13). Podemos ver que el error medio cuadrático está por debajo de 1 cm y los valores son similares a los de la Tabla 10, que representa los errores de la fase de la aerotriangulación, y los esperados para el resto de los procesos.

Tabla 13. *Diferencias entre las coordenadas planimétricas de los puntos de control y comprobación medidos sobre ortofoto y las coordenadas medias con GPS. Unidades expresadas en metros*

Tipo	Punto	X_ortofoto	Y_ortofoto	X_apoyo	Y_apoyo	X_ort - X_ap	Y_ort - Y_ap
Apoyo	103	401971.562	4671537.142	401971.558	4671537.157	0.004	-0.015
Apoyo	105	401862.589	4671552.323	401862.590	4671552.327	-0.001	-0.004
Apoyo	106	401934.907	4671602.414	401934.904	4671602.414	0.003	0.000
Apoyo	200	402110.187	4671660.801	402110.176	4671660.793	0.011	0.008
Apoyo	201	402074.161	4671737.180	402074.170	4671737.184	-0.009	-0.004
Apoyo	301	401939.914	4671512.235	401939.908	4671512.216	0.006	0.019
Apoyo	304	402143.297	4671768.948	402143.290	4671768.947	0.007	0.001
Apoyo	306	402187.232	4671702.082	402187.233	4671702.083	-0.001	-0.001
Apoyo	A102	402028.861	4671555.608	402028.858	4671555.604	0.003	0.004
RMS (Apoyo)						0.006	0.009

Tipo	Punto	X_ortofoto	Y_ortofoto	X_apoyo	Y_apoyo	X_ort - X_ap	Y_ort - Y_ap
Check	104	401885.751	4671506.598	401885.737	4671506.577	0.014	0.021
Check	108	401975.634	4671611.496	401975.658	4671611.455	-0.024	0.041
Check	109	401995.466	4671587.821	401995.464	4671587.795	0.002	0.026
Check	110	401976.230	4671583.860	401976.239	4671583.851	-0.009	0.009
Check	112	402011.054	4671605.982	402011.068	4671605.964	-0.014	0.018
Check	113	402050.372	4671655.990	402050.402	4671655.967	-0.030	0.023
Check	114	402076.662	4671682.698	402076.697	4671682.689	-0.035	0.009
Check	115	402130.530	4671730.227	402130.533	4671730.220	-0.003	0.007
Check	203	402029.185	4671688.913	402029.206	4671688.876	-0.021	0.037
Check	204	402014.295	4671732.011	402014.344	4671731.982	-0.049	0.029
Check	303	402109.736	4671749.686	402109.744	4671749.645	-0.008	0.041
Check	305	402150.529	4671733.618	402150.545	4671733.607	-0.016	0.011
Check	307	401938.156	4671576.304	401938.150	4671576.277	0.006	0.027
Check	308	401916.327	4671569.026	401916.351	4671569.040	-0.024	-0.014
Check	309	402004.876	4671572.853	402004.906	4671572.818	-0.030	0.035
RMS (Check)						0.023	0.026

De igual forma sucede con los puntos de chequeo, en los que se observan discrepancias similares a los valores de la Tabla 10.

6 Conclusiones / Desarrollos futuros

Llegado a este punto del trabajo es procedente recoger y sintetizar las conclusiones que del mismo pueden extraerse. Al inicio del trabajo se planteaban unos objetivos y se debe analizar si los mismos se han cumplido.

Desde el punto de vista de los objetivos iniciales, se ha diseñado una planificación de vuelo que permite mejorar los resultados del procesado fotogramétrico de las imágenes. Esto se ha realizado siguiendo el procedimiento descrito en el apartado 4.2.2, y permite que pueda ser reproducido en sucesivas operaciones que se deseen hacer. Se ha escogido el software Litchi, frente a otros que permiten una planificación en bloque a pesar de no tener esta funcionalidad, por la facilidad de carga de la información y posibilidad de guardar y recuperar las planificaciones de la nube. En este sentido, cabe pensar en un desarrollo futuro, para automatizar lo máximo posible ese procedimiento mediante rutinas que minimicen lo que todavía se está haciendo manualmente.

Con una mejor planificación se consiguen mejores resultados en la precisión del ajuste fotogramétrico. El hecho de mejorar las coberturas o incorporar imágenes oblicuas en algunos casos ha permitido rebajar el error del ajuste en píxeles de 0,36 a 0,21 (Tabla 11).

La precisión final y los resultados del ajuste se mejoran al utilizar puntos GPS medidos en postproceso que previamente han sido ajustados. De esta forma se consiguen unos resultados de 1,16 cm de error medio cuadrático, en el procesado de la 3ª campaña (Tabla 11).

Con una buena planificación del vuelo, como se ha realizado en la 3ª campaña donde se obtienen imágenes a diferentes alturas e imágenes oblicuas, se ha conseguido aumentar la cantidad de puntos de la nube densa en más de un 43%. Pasamos de 78 millones de puntos a 112 millones, cuando comparamos las nubes de la 2ª y 3ª campañas, que son las dos planificaciones que cubren la misma zona de trabajo.

Esta mayor cantidad de puntos reconstruidos (posible por la mejora de la planificación) permitirá ajustar mejor los estudios posteriores en las zonas de orografía complicada.

Por todo lo descrito anteriormente se puede concluir que los objetivos de este trabajo han sido plenamente conseguidos.

Una conclusión adicional que puede extraerse es que, gracias a los vuelos oblicuos combinados con los verticales, se consigue mejorar la cantidad de puntos obtenidos y



con ello se pueden mejorar los estudios posteriores que puedan realizarse. Podemos decir, sin lugar a duda, que los mejores resultados se han conseguido con los vuelos efectuados en la 3ª campaña.

Se mencionaba también en los objetivos el uso que se pretendía dar a los resultados, como parte del trabajo de investigación que está llevando a cabo el grupo EROSLOP. Los resultados obtenidos ya se están utilizando para determinar movimientos en los taludes y desplazamientos producidos en diferentes zonas del terreno.

Aunque a lo largo de este trabajo se han hecho varias campañas de vuelo, el intervalo entre ellas ha sido muy corto y será difícil apreciar diferencias. Sí se están detectando desplazamientos entre la campaña de noviembre de 2020 y las realizadas este año. Como continuación de este trabajo se seguirán realizando nuevas campañas (unas 2 por año) durante la duración de su estudio, donde se prevé que sea posible monitorizar mejor los desplazamientos producidos. En estos nuevos vuelos se procederá con las planificaciones realizadas según la 3ª campaña de vuelo de este trabajo.

Un desarrollo futuro en este sentido es la posibilidad de automatizar ese análisis comparando nubes de puntos u ortofotos entre campañas, que, junto a la automatización de la planificación del vuelo mencionada anteriormente, son los puntos de mejoras que se contemplan poder realizar en un futuro.

7 Bibliografía

- Agisoft. (2021). *Agisoft Metashape User Manual Professional Edition, Version 1.7*. Recuperado el 25 de 08 de 2021, de https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_7_en.pdf
- Agisoft. (12 de 07 de 2021). *Mission planning & redundant image detection in Agisoft Metashape Professional*. Recuperado el 24 de 08 de 2021, de <https://www.agisoft.com/index.php?id=70>
- BOE, A. E. (2007). Real Decreto 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España. Recuperado el 08 de 2021, de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-15822>
- Briceño, A., Mass I, L., Rubí, Gioce, V., Royero, G., . . . Barrios, M. (12 de 2009). Mediciones GPS NTRIP: una nueva alternativa para el posicionamiento preciso en Venezuela. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 32(3). Recuperado el 08 de 2021, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702009000300003
- Buill, F., Nuñez, A., Lantada, N., & Prades, A. (2016). Fotogrametría y videogrametría desde UAV para la captura de geoinformación en estudios geológicos. *Topografía y cartografía: Revista del Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía*, 36(174). Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/549325>
- Buill, F., Nuñez-Andrés, A., Puig-Polo, C., Lantada, N., & Prades, A. (2017). Empleo de técnicas geomáticas para el estudio de paredes rocosas. *IX Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*, (págs. 569-580). Santander. Obtenido de <http://congress.cimne.com/simposiotaludes2017/frontal/doc/Ebook.pdf>
- Corso, J., Muñoz Capilla, J., García Almirall, P., Gracia, C., Casals, J., & Martínez, J. (2016). Red de alta precisión, láser escáner y fotogrametría, combinados para generar el modelado 3D de alta resolución e información derivada, aplicados a la Sagrada Familia de Barcelona. *Topografía y cartografía: Revista del Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía*, 36(174), 193-206. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7446251>
- DJI. (2021). INSPIRE 2. Obtenido de <https://www.dji.com/es/inspire-2/info>



- DJI. (2021). ZENMUSE X5S. Obtenido de <https://www.dji.com/es/zenmuse-x5s>
- Fernández del Castillo, T., Colomo Jimenez, C., Pérez García, J., Gómez López, J., Cardenal Escaracena, F., & Delgado García, J. (2016). Análisis de la actividad de deslizamientos empleando técnicas de UAV, LiDAR y fotogrametría a partir de vuelos recientes e históricos en la vertiente de La Guardia (Jaén). *Topografía y cartografía: Revista del Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía*, 36(174), 213-226. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7446253>
- Fonstad, M., Dietrich, J., Courville, B., Jensen, J., & Carbonneau, P. (30 de 03 de 2013). Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(4), 421-430. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/esp.3366>
- Padró, J.-C., Muñoz, F.-J., Planas, J., & Pons, X. (2019). Comparison of four UAV georeferencing methods for environmental monitoring purposes focusing on the combined use with airborne and satellite remote sensing platforms. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 75, 130-130. Recuperado el 2021, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243418306421>
- Tomás-Jover, R., Riquelme Guill, A., Cano González, M., Abellán Fernández, A., & Jordà, L. (2016). Structure from Motion (SfM) una técnica fotogramétrica de bajo coste para la caracterización y monitoreo de macizos rocosos. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/309611177_Structure_from_Motion_SfM_una_tecnica_fotogrametrica_de_bajo_coste_para_la_caracterizacion_y_monitoreo_de_macizos_rocosos

8 ANEXO I - Procedimientos de vuelo

El procedimiento de vuelo es relativamente sencillo cuando se conoce, pero al ser un trabajo que no se realiza frecuentemente se pueden producir errores o defectos en la ejecución que podrían causar malos resultados y en el peor de los casos provocar un accidente. Para evitar esos problemas se han redactado estas instrucciones, de forma muy básica, sobre cómo proceder.

En primer lugar, es necesario tener una planificación del vuelo según las necesidades requeridas, que previamente se ha preparado según el procedimiento descrito en el apartado 4.2.2. Esta planificación puede tenerse cargada en el iPad que controlará el vuelo, o cargarla desde la nube antes de su ejecución.

8.1 Preparación del dron

Sacar el dron de la caja (Figura 50) y colocarlo sobre la plataforma de despegue. Si no se dispone de una, se puede usar la propia tapa de la caja (). Esto se hace así para evitar que en el momento del despegue las hélices levanten polvo que puedan ensuciar la óptica de la cámara.



Figura 50. *Dron Inspire 2 guardado en su caja*

Se colocan 2 baterías cargadas en las correspondientes ubicaciones. Es una buena práctica usar siempre las mismas parejas de baterías y colocarlas en las mismas bahías.

Se enciende el dron mediante con 5 pulsaciones sobre el botón de encendido (Figura 51), con lo que además se despliega el tren de aterrizaje.

Se apaga el dron manteniendo el tren de aterrizaje desplegado (dos pulsaciones largas en el botón de encendido).

Se monta la cámara y se quita la protección del objetivo.

Se montan las hélices del dron.

Se enciende el dron (2 pulsaciones. La segunda larga hasta que se vayan encendiendo las 4 luces superiores de color verde).



Figura 51. Botón de encendido del dron y luces de estado

Se enciende la emisora a la que se ha conectado el iPad con los programas de vuelo. Si el vuelo no está cargado en el programa es necesario recuperarlo de la nube, para lo que se necesita conexión a internet.

8.2 Ejecución del vuelo

Para el control de dron y ejecución del vuelo se dispone de un iPad, en el que se encuentran instalados los programas necesarios.



Se ejecuta el programa LITCHI, pulsando sobre el icono . Una vez en marcha se muestra una pantalla como en la Figura 52, donde aparece cargado el último proyecto efectuado.

En la parte superior central aparece el estado de conexión con el dron. En este caso desconectado porque todavía no se ha encendido la controladora ni establecido la conexión con el dron.

Antes de entrar en el programa es necesario tener encendido el dron, con las hélices y la cámara montadas, y la controladora encendida.



Figura 52. Pantalla del programa Litchi con el dron desconectado

Si esto es así ese mensaje no aparece. Puede sin embargo aparecer un problema de calibración de la brújula.

Para calibrar la brújula se realiza con el programa . El dron tiene que estar conectado, y pulsando sobre la palabra Connected accedemos a la opción de calibración (Figura 53).

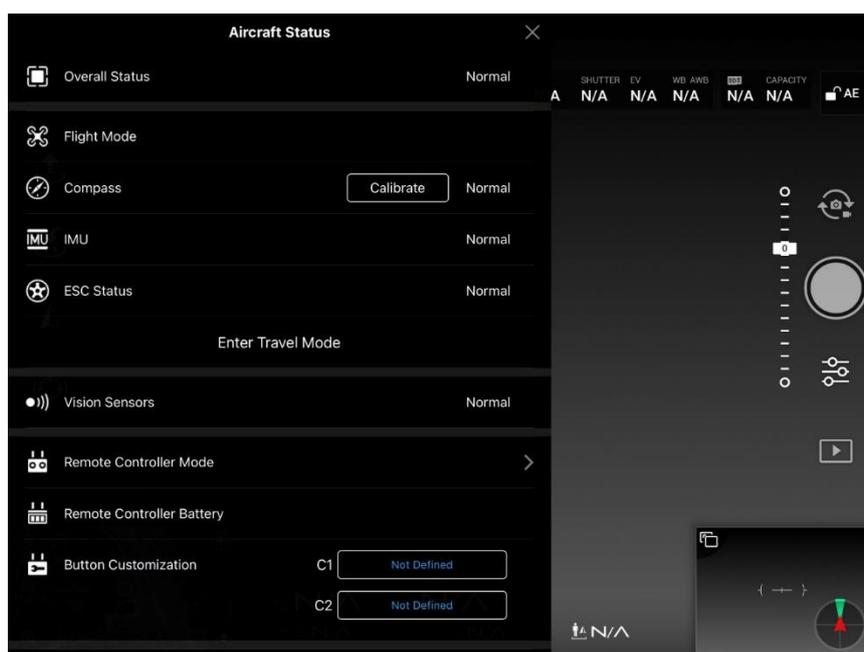


Figura 53. Pantalla de acceso a la calibración de la brújula

Seguimos las instrucciones que el programa nos va dando, cogiendo y girando el dron como nos indica.

Una vez finalizada la calibración volvemos al programa LITCHI para iniciar la operación de vuelo.

Con el icono , ubicado en la parte izquierda de la pantalla, se importa la misión previamente creada (es necesario tener conexión a internet para poder importarla). Se puede tener importada previamente si se prevé que en la zona de trabajo no se podrá tener cobertura para internet.

Si se modifica la misión, se puede guardar con el icono  siempre que tengamos conexión a internet.

La ejecución del vuelo se inicia con el botón . Al pulsar este botón el dron se levanta unos metros del suelo, el programa transmite la misión al dron por bluetooth y una vez cargada se ejecuta la planificación programada de forma automática.

El botón  nos muestra los ajustes de la misión (Figura 54), que pueden ser modificados antes de ejecutarla.



Figura 54. Pantalla con los parámetros de la misión para modificar

8.3 Recogida del dron

Para recoger el dron se siguen los pasos inversos a los realizados para la preparación.

Una vez finalizada la misión llevamos a cabo los siguientes pasos:

- Apagado del dron manteniendo desplegado el tren de aterrizaje (dos pulsaciones largas en el botón de encendido).
- Desmontaje de hélices.
- Desmontaje de gimbal y cámara y colocación de las protecciones.
- Apagado definitivo del dron y plegado del tren de aterrizaje (5 pulsaciones en el botón de encendido), para que pueda ser guardado en la caja

9 ANEXO II – Operadora de vuelo

Es incluyen en las páginas siguientes la información referida a al dron que certifica que es posible la operación realizada y que se cumple con la normativa vigente en materia de vuelos con dron.

ENTRADA
Registro General AESA
Número: 2020025008
Fecha: 17/04/2020 09:47

JUSTIFICANTE DE PRESENTACIÓN DE REGISTRO

1. DATOS DE LOS SOLICITANTES

FRANCISCO TORRES TORRES (41443276J)

2. ASUNTO

PRESENTACIÓN COMUNICACIÓN PREVIA (RPAS)
CIUDADANO REGISTRA SU SOLICITUD FIRMADA PRESENTADA VIA SEDE AESA

COMUNICACIÓN PREVIA

para la realización de vuelos especializados o experimentales con aeronaves pilotadas por control remoto

Tipo de comunicación (marque la opción u opciones elegidas)

Inicial

Art 21.1 Masa máxima al despegue hasta 50 Kg. Vuelos fuera de aglomeraciones de edificios o de reuniones de personas al aire libre, en espacio aéreo no controlado y fuera de una zona de información de vuelo (FIZ), siempre que la operación se realice dentro del alcance visual del piloto (VLOS), o (EVLOS), a una distancia horizontal del piloto o de los observadores, no mayor de 500 m y a una altura sobre el terreno no mayor de 400 pies (120 m).

Art 21.2 a) Masa máxima al despegue de hasta 2 Kg. Vuelos fuera de aglomeraciones de edificios o de reuniones de personas al aire libre, en espacio aéreo no controlado y fuera de una zona de información de vuelo (FIZ), para vuelos más allá del alcance visual del piloto (BVLOS) y dentro del alcance directo de la emisión por radio de la estación de pilotaje remoto que permita un enlace de mando y control efectivo y a una altura sobre el terreno no mayor de 400 pies (120 m).

Art 39. Masa máxima al despegue igual o inferior a 25Kg para la realización de vuelos experimentales en las que no es necesario autorización de acuerdo al artículo 40 del RD 1036/2017.

Modificación (indicar los cambios en las condiciones inicialmente declaradas)

1. Datos del declarante (operador)

Nombre o razón social (primer apellido, segundo apellido, nombre):

ENGINYERIA DEL TERRENY, CARTOGRÀFICA I GEOFÍSICA (ETCG) - UPC

DNI, NIF, NIE, CIF: Q0818003F

Domicilio / sede social (Lugar de establecimiento o residencia del operador y lugar desde el que se dirigen las operaciones; tipo de vía, nombre de la vía, código postal, municipio, provincia):

CARRER JORDI GIRONA 31. 08034-BARCELONA, BARCELONA

Teléfono de contacto: 934017746

Correo electrónico: CRISTINA.LASHERAS@UPC.EDU

Datos registrales (en caso de sociedades, fundaciones u otras entidades obligadas a registro):

Medio preferente para las notificaciones (marcar una de las dos opciones):

Notificación por comparecencia en Sede Electrónica de AESA.

Correo postal. Domicilio a efectos de notificaciones (rellenar solamente si no coincide con el del declarante):

Otros datos:

Se va a impartir formación práctica y se dispone de Manual de Instrucción conforme al artículo 33.1.d)

Datos del representante (en su caso):

Nombre (primer apellido, segundo apellido, nombre): TORRES TORRES, FRANCISCO

DNI, NIF, NIE, CIF: 41443276J

Domicilio (tipo de vía, nombre de la vía, código postal, municipio, provincia):

CARRER JORDI GIRONA 31. 08034-BARCELONA, Barcelona

Teléfono de contacto: 934017746

Correo electrónico: CRISTINA.LASHERAS@UPC.EDU

Para entidades privadas, Nº Protocolo/ Notario/ año del poder de representación notarial:

DNI RECTOR TORRES UPC.PDF

NOTA: Se deberá adjuntar copia del documento que lo acredite.

COMUNICACIÓN PREVIA

para la realización de vuelos especializados o experimentales con aeronaves pilotadas por control remoto

2. Operación de aeronaves pilotadas por control remoto (de conformidad con lo dispuesto en el art. 39 del RD 1036/2017):

2.1 Vuelos experimentales (marcar todos los que procedan):

- Vuelos de prueba de producción y de mantenimiento.
- Vuelos de demostración no abiertos al público.
- Vuelos para programas de investigación, realizados por cuenta de quien gestione el programa en los que se trate de demostrar la viabilidad de realizar determinada actividad con aeronaves pilotadas por control remoto.
- Vuelos de desarrollo en los que se trate de poner a punto las técnicas y procedimientos para realizar una determinada actividad con aeronaves pilotadas por control remoto (RPA), previos a la puesta en producción de esa actividad, realizados por quien pretenda llevarla a cabo.
- Vuelos de I + D, realizados por fabricantes u otras entidades, organizaciones, organismos, instituciones o centros tecnológicos para el desarrollo de nuevas aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) o de los elementos que configuran el RPAS.

Vuelos de prueba necesarios para que el operador pueda demostrar que la operación u operaciones pretendidas pueden realizarse con seguridad (Aviso: Marcar esta casilla solo en caso de solicitar una autorización y no ser todavía operador habilitado por comunicación previa)

Características particulares a tener en cuenta de la operación de vuelos experimentales y breve descripción de sus perfiles:

2.2 Operaciones aéreas especializadas (trabajos aéreos) (marcar todas las que procedan):

- Actividades de investigación y desarrollo.
- Tratamientos aéreos, fitosanitarios y otros que supongan esparcir sustancias en el suelo o la atmósfera, incluyendo actividades de lanzamiento de productos para extinción de incendios.
- Fotografía, filmaciones y levantamientos aéreos (levantamientos topográficos, fotogrametría).
- Investigación y reconocimiento instrumental: calibración de equipos, exploración meteorológica, marítima, geológica, petrolífera o arqueológica, enlace y transmisiones, emisoras, receptor, repetidor de radio o televisión.
- Observación y vigilancia aérea incluyendo filmación y actividades de vigilancia de incendios forestales.
- Publicidad aérea mediante el uso de la aeronave.
- Operaciones de emergencia, búsqueda y salvamento.
- Inspecciones lineales.
- Formación práctica de pilotos remotos (Aviso: el operador ha de disponer de un Manual de Instrucción. Si se externaliza esta formación no se debe marcar esta casilla)
- Otros trabajos especiales (describir):

Nota: La declaración de cualquier operación aérea especializada implica que el primer vuelo a realizar como operador serán los vuelos de prueba de forma que se demuestre que la operación u operaciones pretendidas con la aeronave pilotada por control remoto pueden realizarse con seguridad. Se deberán de realizar y documentar de acuerdo al apéndice G y conservar a disposición de la Autoridad (no adjuntar).

3. Aeronaves utilizadas (en caso de ser necesario añadir hojas suplementarias con los mismos datos):

Clase de aeronave (avión/ helicóptero/ multirrotor/ otros)	Fabricante	Tipo / modelo	Nº de serie u otra identificación	MTOW (Kg)
Otros	DJI	INSPIRE 2	09YDFBC0040313	4.00
Otros	DJI	S900	01R0052919	8.20

4. Datos de los pilotos (en caso de haber más de uno añadir hojas suplementarias con los mismos datos):

DNI, NIF, NIE, pasaporte: 05384756L

Nacionalidad: ESPAÑOLA

Nombre (primer apellido, segundo apellido, nombre):

BUILL POZUELO, FELIPE

COMUNICACIÓN PREVIA

para la realización de vuelos especializados o experimentales con aeronaves pilotadas por control remoto

4. Datos de los pilotos (en caso de haber más de uno añadir hojas suplementarias con los mismos datos):

Domicilio (tipo de vía, nombre de la vía, código postal, municipio, provincia):

DOCTOR FERRAN Nº 5 PO3 1. 08191-RUBÍ, Barcelona

Teléfono: 649598222

Correo electrónico: FELIPE.BUILL@UPC.EDU

Fecha de nacimiento: 30/03/2003

4.1. Formación teórica (marcar el requisito que se cumple):

<input type="checkbox"/> Licencia de piloto Art 34.1 a)	<input type="checkbox"/> Conocimientos teóricos para licencia de piloto Art 34.1 a)	<input type="checkbox"/> Certificado básico aeronaves pilotadas por control remoto Art 34.1 a)	<input checked="" type="checkbox"/> Certificado avanzado aeronaves pilotadas por control remoto Art 34.1 a)
Tipo y nº de licencia:	Certificado emitido por:	Certificado emitido por:	Certificado emitido por: E-ATO-233

4.2 Formación práctica:

Aeronaves para las que se cuenta con certificado	Certificado emitido por	Aeronaves similares
Phantom 4 Pro	E-ATO-233	DJI - INSPIRE 2

(* Indicar las aeronaves en las que el operador habilita al piloto a operar por ser similares a las que cuenta con certificado práctico de acuerdo al punto 2.1 de la revisión 2 del Apéndice I.

4.3 Certificado médico:

Clase: CLASE LAPL

Vigencia: 14/06/2020

País emisión: ESPAÑA

4. Datos de los pilotos (en caso de haber más de uno añadir hojas suplementarias con los mismos datos):

DNI, NIF, NIE, pasaporte: 47875241M,

Nacionalidad: ESPAÑOLA

Nombre (primer apellido, segundo apellido, nombre):

RUIZ CARULLA, ROGER

Domicilio (tipo de vía, nombre de la vía, código postal, municipio, provincia):

C/MANSO 48 PRAL 1A. 08015-BARCELONA, Barcelona

Teléfono: 669057401

Correo electrónico: ROGER.RUIZCARULLA@GMAIL.COM

Fecha de nacimiento: 27/12/1987

4.1. Formación teórica (marcar el requisito que se cumple):

<input type="checkbox"/> Licencia de piloto Art 34.1 a)	<input type="checkbox"/> Conocimientos teóricos para licencia de piloto Art 34.1 a)	<input type="checkbox"/> Certificado básico aeronaves pilotadas por control remoto Art 34.1 a)	<input checked="" type="checkbox"/> Certificado avanzado aeronaves pilotadas por control remoto Art 34.1 a)
Tipo y nº de licencia:	Certificado emitido por:	Certificado emitido por:	Certificado emitido por: E-ATO-286

COMUNICACIÓN PREVIA

para la realización de vuelos especializados o experimentales con aeronaves pilotadas por control remoto

4.2 Formación práctica:

Aeronaves para las que se cuenta con certificado	Certificado emitido por	Aeronaves similares
DJI - INSPIRE 2	E-ATO-286	Phantom 4 Pro

(* Indicar las aeronaves en las que el operador habilita al piloto a operar por ser similares a las que cuenta con certificado práctico de acuerdo al punto 2.1 de la revisión 2 del Apéndice I.

4.3 Certificado médico:

Clase: CLASE LAPL

Vigencia: 18/02/2021

País emisión: ESPAÑA

5. Documentación disponible a disposición de la autoridad (marcar cada punto):

Caracterización de las aeronaves que vaya a utilizar, incluyendo la definición de su configuración, características y prestaciones, así como los procedimientos para su pilotaje, cuando, dichas aeronaves no dispongan, según corresponda, de certificado de aeronavegabilidad RPA o del certificado especial para vuelos experimentales de acuerdo con el artículo 26. a) del RD 1036/2017.

Estudio aeronáutico de seguridad de la operación u operaciones, en el que se constate que pueden realizarse con seguridad, así como, en su caso, la idoneidad de la zona de seguridad para la realización de vuelos experimentales conforme a lo previsto en el artículo 23.2.

Póliza de seguro u otra garantía financiera que cubra la responsabilidad civil frente a terceros por los daños que puedan ocasionarse durante y por causa de la ejecución de las operaciones aéreas especializadas o vuelos experimentales, según lo establecido en el artículo 26.c) del RD 1036/2017.

Justificación de haber adoptado las medidas adecuadas para proteger a la aeronave de actos de interferencia ilícita durante las operaciones, incluyendo la interferencia deliberada del enlace de radio, y establecer los procedimientos necesarios para evitar el acceso de personal no autorizado a la estación de pilotaje remoto y a la ubicación del almacenamiento de la aeronave de acuerdo al artículo 26.d)

Documentación que refleje que la(s) aeronave(s) estará(n) pilotada(s) por control remoto por pilotos que cumplen los requisitos establecidos de acuerdo con los artículos 33, 34, 35, 36, 37 y 38 del RD 1036/2017.

En el caso de aeronaves de más de 25Kg y hasta 50Kg se dispone de certificado de aeronavegabilidad RPAS y matrícula de acuerdo con los artículos 9, 10 y 11 del RD 1036/2017.

Además de las obligaciones previstas en el punto anterior, el operador que realice operaciones aéreas experimentales está obligado a disponer de:

Documento en el que se especifiquen los perfiles y características de los vuelos a realizar.

Además de las obligaciones previstas en el punto anterior, el operador que realice operaciones aéreas especializadas está obligado a disponer de:

Manual de Operaciones que establezca la información y los procedimientos para realizar sus operaciones, así como el entrenamiento práctico de los pilotos para el mantenimiento de su aptitud de acuerdo con lo previsto en el artículo 36, O Manual de Instrucción, según proceda conforme a lo previsto en el artículo 27.1.a). / Operations Manual establishing the information and procedures for carrying out your operations, as well as the practical training of pilots for the maintenance of the aptitude in accordance with Article 36, or Instruction Manual, as appropriate in accordance with Article 27.1.a).

Programa de mantenimiento adecuado para garantizar la aeronavegabilidad continuada del RPAS, del que formará parte, en todo caso, la estación de pilotaje remoto; así como sistema de registro de los datos relativos a los vuelos realizados y el tiempo de vuelo, las deficiencias ocurridas antes de y durante los vuelos, para su análisis y resolución, los eventos significativos relacionados con la seguridad, y las inspecciones y acciones de mantenimiento y sustitución de piezas realizadas de acuerdo a lo establecido en el artículo 16 2 a) y 18 del RD 1036/2017.

COMUNICACIÓN PREVIA

para la realización de vuelos especializados o experimentales con aeronaves pilotadas por control remoto

Lugar y Fecha	Nombre, apellidos y cargo	Firma
17/04/2020	FRANCISCO TORRES TORRES	Firmado con certificado digital

Agencia Estatal de Seguridad Aérea

Avenida del General Perón 40, Puerta B, 1ª Planta 28020 Madrid

COMUNICACIÓN PREVIA

para la realización de vuelos especializados o experimentales con aeronaves pilotadas por control remoto

ADVERTENCIAS:

La comunicación previa y sus modificaciones habilita para el ejercicio de las operaciones aéreas especializadas o vuelos experimentales incluidos en dicha comunicación desde la fecha de su presentación, con las condiciones o limitaciones que se hayan comunicado.

Cualquier cambio que afecte a la información facilitada en la presente comunicación se dará cuenta a la Agencia Estatal de Seguridad Aérea.

De conformidad con el apartado 4 del artículo 69 de la Ley 39/2015, de 1 de Octubre, del Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas, *“La inexactitud, falsedad u omisión, de carácter esencial, en cualquier dato, manifestación o documento que se acompañe o incorpore a una declaración responsable o a una comunicación previa, o la no presentación ante la Administración competente de la declaración responsable o comunicación previa, determinará la imposibilidad de continuar con el ejercicio del derecho o actividad afectada desde el momento en que se tenga constancia de tales hechos, sin perjuicio de las responsabilidades penales, civiles o administrativas a que hubiera lugar”.*

Todo ello en concordancia con lo dispuesto en el artículo 33 apartado 4 y 7 de la Ley 21/2003, de 7 de julio, de Seguridad Aérea.

El operador debe de adoptar las medidas necesarias para garantizar el cumplimiento de lo dispuesto en materia de protección de datos personales y protección de la intimidad en la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal y en la Ley Orgánica 1/1982, de 5 de mayo, de protección civil del derecho al honor, a la intimidad personal y familiar y a la propia imagen, sus normas de desarrollo y normativa concordante.

También, debe asegurarse de que la aeronave pilotada por control remoto (RPA) y los equipos de telecomunicaciones que incorpora cumplen con la normativa reguladora de las telecomunicaciones y, en particular, y cuando sea necesario, con los requisitos establecidos para la comercialización, la puesta en servicio y el uso de equipos radioeléctricos.

PROTECCIÓN DE DATOS:

La Agencia Estatal de Seguridad Aérea (En adelante AESA), como Responsable del Tratamiento de sus datos personales en cumplimiento de la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal y su Real Decreto 1720/2007, de 21 de diciembre, que tiene derogada las disposiciones de derecho interno que sean contrarias o no hayan sido adaptadas al Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos (Reglamento General de Protección de Datos) y en cumplimiento del citado Reglamento General de Protección de Datos, le informa, de manera explícita, que se va a proceder al tratamiento de sus datos de carácter personal obtenidos de la “COMUNICACIÓN PREVIA”, para el tratamiento “Gestión de Operadores de RPAS, en régimen de comunicación previa” y con la finalidad:

De “Comunicación Previa”. El usuario no podrá negar su consentimiento por ser este una obligación legal, definida por la “Ley 39/2015, de 1 de octubre, del Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas” en concordancia con Ley 21/2003, de 7 de julio, de Seguridad Aérea.

Este tratamiento de datos de carácter personal se encuentra incluido en el Registro de Datos Personales de AESA.

La legalidad del tratamiento está basada en una obligación legal.

La información de carácter personal será conservada mientras sea necesaria o no se ejerza su derecho de cancelación o supresión.

La información puede ser cedida a terceros para colaborar en la gestión de los datos de carácter personal, únicamente para la finalidad descrita anteriormente.

La categoría de los datos de carácter personal que se tratan son únicamente “Datos identificativos (nombre, DNI, dirección, correo-e, firma, cargo...)”.

De acuerdo con lo previsto en el citado Reglamento General de Protección de Datos, puede ejercitar sus derechos Acceso, Rectificación, Supresión, Portabilidad de sus datos, la Limitación u Oposición a su tratamiento ante el Delegado de Protección de Datos, dirigiendo una comunicación al correo dpd.aesa@seguridadaerea.es

Para más información sobre el tratamiento de los datos de carácter personal pulse el siguiente enlace:

https://www.seguridadaerea.gob.es/lang_castellano/normativa_aesa/protecc_de_datos/default.aspx

COMUNICACIÓN PREVIA

para la realización de vuelos especializados o experimentales con aeronaves pilotadas por control remoto

Documentación anexa

Documento: DNI RECTOR TORRES UPC.PDF

HASH: B71BVHQgkVeOq/0mdFKPdgAxd0frM3iQX8XktA6kgj9CkJWucFGHyMyks1Nyvzj2jsfsJXBATGEst0fv+k8Mw==



10ANEXO III – Reseñas de estaciones GPS permanentes

Se incluyen en este apartado las reseñas con información correspondiente a las estaciones permanentes utilizadas para el cálculo de las coordenadas GPS de los puntos de apoyo usados para la georreferenciación del vuelo.

Informació estacions

Selecciona estació:

Estació SONA (SONA)

Nom:	SONA
Codi IERS DOMES:	13495M001
Latitud:	41° 59' 32.04" N
Longitud:	1° 31' 0.55" E
Cota:	755.4m
Data d'instal·lació:	14/05/2008
Tipus de receptor:	LEICA GR50
Num. sèrie del receptor:	1831581
Constel·lacions:	GPS i GLONASS
Tipus d'antena:	LEIAR25.R4 NONE
Núm. sèrie de l'antena:	726361
Punt referència antena:	BPA
Màscara d'elevació:	0 °
Freqüència dades:	1s



Informació estacions

Selecciona estació:

SBAR (SBAR) ▾

Estació SBAR (SBAR)

Nom:	SBAR
Codi IERS DOMES:	13492M001
Latitud:	41° 58' 48.38" N
Longitud:	2° 10' 27.4" E
Cota:	937.8m
Data d'instal·lació:	16/01/2003
Tipus de receptor:	LEICA GR50
Num. sèrie del receptor:	1831582
Constel·lacions:	GPS i GLONASS
Tipus d'antena:	LEIAR25.R4 NONE
Núm. sèrie de l'antena	726348
Punt referència antena:	BPA
Màscara d'elevació:	0 °
Freqüència dades:	1s



Informació estacions

Selecciona estació: LLIV (LLIV)

Estació LLIV (LLIV)

Nom:	LLIV
Codi IERS DOMES:	13436M001
Latitud:	42° 28' 41.16" N
Longitud:	1° 58' 23.16" E
Cota:	1466.8m
Data d'instal·lació:	01/03/1999
Tipus de receptor:	LEICA GR50
Num. sèrie del receptor:	1831700
Constel·lacions:	GPS i GLONASS
Tipus d'antena:	LEIAR25.R4 NONE
Núm. sèrie de l'antena	726354
Punt referència antena:	BPA
Màscara d'elevació:	0 °
Freqüència dades:	1s



Reseña de Estación Permanente - ERGNSS

29-may-2021

Situación:

Código.....: **PUIG**
 Nombre.....: **Puigcerda**
 Código IERS: 19496M001
 Instalación...: 09 de junio de 2016

Municipio: Bolvir
 Provincia: Girona

Localización.: Centro de Conservación de Carreteras de Bolvir
 Ctra. N-260 PK 184+500
 17539 Bolvir (Girona)

Construcción: Pilar de hormigón armado de 3,00 m. de altura sobre roca nativa. La marca de coordenadas en la pieza de centrado forzado empotrada en la parte superior del pilar.

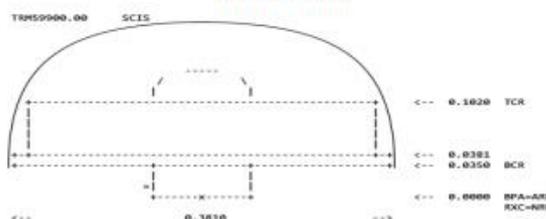
Coordenadas ETRS89:

Longitud.....: 1° 52' 13,77994"	X.....: 4714323.295 m
Latitud.....: 42° 24' 56,48472"	Y.....: 153959.848 m
Altitud elipsoidal: 1162.360 m	Z.....: 4280589.259 m
X UTM.....: 407067.762 m	Altitud sobre el nivel medio del mar:
Y UTM.....: 4696549.407 m	1109.747 m
Huso.....: 31	

Instrumentación:

Receptor: TRIMBLE NETR9
 Antena: TRM59900.00 SCIS Altura: 0.0350 m (BPA)
 Offset de centros de fase de antena: L1 0.111 m L2 0.125 m

Esquema antena



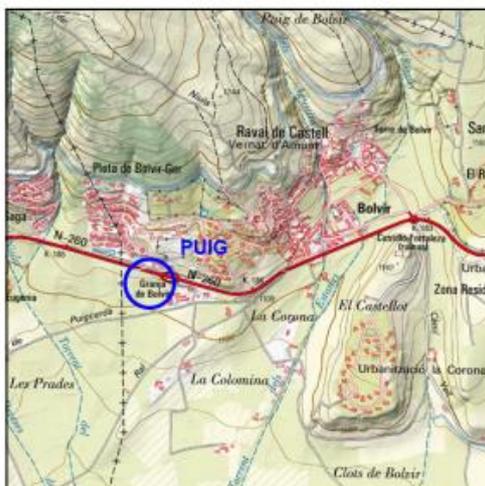
Información adicional:

Esta estación permanente pertenece a la red ERGNSS.

Datos horarios a 1 y 30 segundos y diarios a 30 segundos
<ftp://ftp.geodesia.ign.es>

Emite correcciones diferenciales a través del Caster <http://ergnss-ip.ign.es>

E-mail de contacto: buzon-geodesia@fomento.es



Observaciones:

Empty box for observations.



11 ANEXO IV – Ajuste de Red

Se incorporan los resultados del ajuste de red obtenido con el programa Leica Infinity, de los puntos de apoyo medidos para el ajuste posterior de los bloques fotogramétricos y georreferenciación de los resultados.

Informe de Ajuste de Red

Informe creado: 07/06/2021 20:58:33

Detalles del proyecto

General

Nombre del proyecto: Vallcebre_20210512_last_V2
Propietario: Javier
Jefe de Topografía: -
Fecha de Creación: 07/06/2021 20:20:31
Último Acceso: 07/06/2021 20:57:02
Software aplicación: Infinity 3.0

Información del cliente

Nombre del cliente: Javier Muñoz
Persona de contacto: -
Número: -
Email: javiermuca@usal.es
Skype: -
Website: -

Sistema de Coordenadas Principal

Nombre de Sistema de Coordenadas: ETRS89
Tipo de Transformación: Clásica 3D
Distribución de Residuos: Ninguno
Elipsoide: GRS 1980
Tipo de Proyección: UTM
Modelo de Geoide: cat80000
Modelo CSCS: -

Ruta: C:\0_javi\upc\estudios_MASTER\Curso_20-21\0_Trabajo_final_de_master\2_Infinity\Projects\Vallcebre_20210512_last_V2\Vallcebre_20210512_last_V2.iprj...

Tamaño: 122.5 MB

Comentarios: -

Nombre: 06/07/2021 20:38:34

Fecha/Hora: 07/06/2021 20:38:34

Kernel de procesamiento: MOVE3 4.4.1

www.MOVE3.com

© 1993-2017 Sweco Nederland
B.V.

Con licencia para Leica
Geosystems AG

Parámetros de Ajuste

General

Puntos de Control: Contreñido Internamente
Dimensión: 3D
Sistema de Coordenadas: Local Geodésicas
Tipo de Altura: Ortométrica

Nivel de Confianza para Alturas - 1D: 68,3%

Nivel de Confianza para Elipses de Error - 2D: 39,4%

Núm. máx de Iteraciones: 3

Criterios de iteración: 0.0001 m

Parámetros de Desviación Estándar

Parámetros de Desviación Estándar - TPS: Individuales

Parámetros de Desviación Estándar - GNSS: Individuales

Origen de parámetros de desviación estándar - Nivel: Individuales

Origen de errores de centrado/altura - TPS: Individuales

Origen de errores de centrado/altura - GNSS: Individuales

Criterios de Prueba:

Nivel de significancia (α , multi-dimensional):	0.62
Nivel de significancia (α_0 , uni-dimensional):	5,0%
Poder de la prueba (1- β):	80%
σ a-priori:	1.0
σ a-priori (GNSS):	10.0

Avanzado

Usar observaciones reducidas: No

Resumen de Ajuste

Ajuste

Tipo:	Contreñido Internamente
Dimensión:	3D
Número de Iteraciones:	2
Corrección máx. de coordenadas en la última iteración:	0.0000 m

Estaciones

Número de estaciones desconocidas:	14
Total:	14

Observaciones

Diferencias de Coordenadas GNSS:	135 (45 líneas base)
Total:	135

Incógnitas

Coordenadas:	42
Parámetros de Transformación GNSS:	4
Total:	46

Contreñimientos internos: 7

Grados de Libertad: 96

Criterio de optimización v'Pv: 70.97664

σ a-posteriori: 0.860

Prueba

Valor crítico de la prueba W:	1.96
Valor crítico de la prueba T (2 dimensiones):	2.42
Valor crítico de la prueba T (3 dimensiones):	1.89
Valor crítico de prueba F:	0.95
Prueba F:	0.74

Prueba Chi Cuadrado (95.0%)

Límite inferior del valor crítico:	0.74
Límite superior del valor crítico:	1.30
Prueba Chi Cuadrado:	0.74

Datos de entrada

Coordenadas aproximadas

Estación	Latitud	Longitud	Altura Ortom. [m]	Descripción
103	42° 11' 23.45" N	1° 48' 46.10" E	1,279.9905	Promediado
105	42° 11' 23.89" N	1° 48' 41.34" E	1,296.3860	Promediado
106	42° 11' 25.55" N	1° 48' 44.47" E	1,278.7775	Promediado
200	42° 11' 27.52" N	1° 48' 52.07" E	1,250.8271	Promediado
201	42° 11' 29.98" N	1° 48' 50.46" E	1,251.8997	Promediado
301	42° 11' 22.63" N	1° 48' 44.74" E	1,301.4482	Promediado
302	42° 11' 24.84" N	1° 48' 42.48" E	1,297.7821	Promediado
304	42° 11' 31.04" N	1° 48' 53.45" E	1,234.9520	Promediado
306	42° 11' 28.89" N	1° 48' 55.41" E	1,248.6570	Promediado
LLIV	42° 28' 41.25" N	1° 58' 22.97" E	1,414.9424	Control
PUIG	42° 24' 56.48" N	1° 52' 13.78" E	1,109.7470	Control
SBAR	41° 58' 48.39" N	2° 10' 27.46" E	887.4097	Control
SONA	41° 59' 32.05" N	1° 31' 00.56" E	704.9529	Control

SR102	42° 11' 24.07" N	1° 48' 48.59" E	1,267.7517	Promediado
-------	------------------	-----------------	------------	------------

Parámetros Adicionales

	Valor	Uso
Rotación sobre X	-	Calcular
Rotación sobre Y	-	Calcular
Rotación sobre Z	-	Calcular
Escala	-	Calcular

Observaciones

Desde Estación	Punto Visado	ΔX [m]	ΔY [m]	ΔZ [m]	Desv. Est. ΔX [m]	Desv. Est. ΔY [m]	Desv. Est. ΔZ [m]
SONA	103	-14,993.4502	24,066.0983	16,677.3260	0.0207	0.0044	0.0185
PUIG	103	17,157.0280	-4,208.4634	-18,443.6440	0.0204	0.0043	0.0182
LLIV	103	21,893.8258	-12,492.9585	-23,768.3938	0.0239	0.0048	0.0215
103	301	33.9256	-30.2589	-4.3977	0.0246	0.0055	0.0229
SBAR	103	-14,274.7665	-30,429.7599	17,556.6789	0.0227	0.0048	0.0203
SONA	301	-14,959.5538	24,035.8326	16,672.8863	0.0416	0.0109	0.0381
SBAR	301	-14,240.8374	-30,460.0070	17,552.2757	0.0447	0.0121	0.0436
LLIV	301	21,927.7558	-12,522.9623	-23,772.9970	0.3405	0.1778	0.3895
PUIG	301	17,190.9917	-4,238.7225	-18,448.0188	0.0469	0.0160	0.0443
SONA	105	-14,987.0393	23,957.0219	16,698.4354	0.0493	0.0075	0.0514
PUIG	105	17,163.4671	-4,317.5380	-18,422.4985	0.0594	0.0089	0.0620
SBAR	105	-14,268.3340	-30,538.8271	17,577.8053	0.0590	0.0088	0.0617
LLIV	105	21,900.2863	-12,602.0349	-23,747.2277	0.0583	0.0087	0.0610
106	302	29.5079	-44.3579	-4.4534	2.7241	1.1216	1.4622
PUIG	302	17,143.9056	-4,292.0975	-18,399.8096	0.1296	0.0431	0.1102
LLIV	302	21,882.2018	-12,575.7576	-23,724.7414	1.1629	0.6178	0.7653
SBAR	302	-14,286.4928	-30,512.4533	17,600.3307	1.1741	0.6238	0.7728
SONA	302	-15,005.4240	23,983.1736	16,721.0838	1.2165	0.6463	0.8007
SBAR	106	-14,317.9289	-30,468.7287	17,603.8467	0.0375	0.0063	0.0363
PUIG	106	17,113.8322	-4,247.4221	-18,396.4281	0.0649	0.0119	0.0656
SONA	106	-15,036.6889	24,027.1418	16,724.5073	0.0655	0.0121	0.0669
PUIG	SR102	17,133.2331	-4,152.1260	-18,437.5953	0.0460	0.0073	0.0420
SR102	304	-171.5686	106.2247	138.1146	0.5101	0.0803	0.6058
SBAR	304	-14,470.7088	-30,267.3041	17,700.0118	0.0231	0.0057	0.0221
LLIV	304	21,697.9659	-12,330.4801	-23,624.9668	0.0607	0.0139	0.0588
SONA	304	-15,189.3730	24,228.5573	16,820.6839	0.0238	0.0060	0.0221
306	304	-53.2205	-46.6005	39.8999	0.0083	0.0021	0.0076
LLIV	SR102	21,870.0626	-12,436.6081	-23,762.3190	0.0319	0.0057	0.0289
SR102	306	-118.9525	152.7089	97.3623	0.0101	0.0024	0.0092
SONA	SR102	-15,017.2560	24,122.4308	16,683.3540	0.0271	0.0057	0.0247
SBAR	SR102	-14,298.5364	-30,373.4185	17,562.7378	0.0410	0.0080	0.0363
SONA	201	-15,152.7033	24,160.9629	16,807.7664	0.0349	0.0109	0.0340
306	201	-16.5321	-114.1713	27.0182	0.0191	0.0058	0.0181
SBAR	201	-14,433.9522	-30,334.8925	17,687.1806	0.0377	0.0118	0.0367
LLIV	201	21,734.6120	-12,398.0734	-23,637.9118	0.0609	0.0110	0.0586
PUIG	201	16,997.8180	-4,113.5853	-18,313.1569	0.0488	0.0158	0.0479
LLIV	306	21,751.1283	-12,283.8946	-23,664.9364	0.0107	0.0024	0.0099
SBAR	306	-14,417.4865	-30,220.7099	17,660.1082	0.0099	0.0023	0.0090
SONA	306	-15,136.1709	24,275.1423	16,780.7539	0.0087	0.0021	0.0080
306	200	32.4896	-75.5215	-29.9230	0.0457	0.0058	0.0400
PUIG	306	17,014.3439	-3,999.4085	-18,340.1817	0.0183	0.0034	0.0165
SBAR	200	-14,385.0341	-30,296.2297	17,630.1439	0.0475	0.0074	0.0411
LLIV	200	21,783.5719	-12,359.4268	-23,694.9242	0.0439	0.0070	0.0380
PUIG	200	17,046.7980	-4,074.9261	-18,370.1343	0.0473	0.0073	0.0410
SONA	200	-15,103.7065	24,199.6182	16,750.7976	0.0515	0.0081	0.0446

Resultados del Ajuste

Coordenadas Ajustadas

Estación	Latitud	Longitud	Altura Ortom. [m]	Corr Lat [m]	Corr Long [m]	Corr Altura [m]
103	42° 11' 23.45" N	1° 48' 46.10" E	1,280.0284	0.0034	-0.0012	0.0379
105	42° 11' 23.89" N	1° 48' 41.34" E	1,296.4308	0.0047	-0.0015	0.0449
106	42° 11' 25.55" N	1° 48' 44.47" E	1,278.8128	0.0061	0.0059	0.0354
200	42° 11' 27.52" N	1° 48' 52.07" E	1,250.8651	0.0026	-0.0020	0.0380
201	42° 11' 29.98" N	1° 48' 50.46" E	1,251.9509	0.0020	-0.0021	0.0512
301	42° 11' 22.63" N	1° 48' 44.74" E	1,301.4907	0.0051	-0.0002	0.0424
302	42° 11' 24.84" N	1° 48' 42.48" E	1,297.7887	-0.0021	0.0096	0.0066
304	42° 11' 31.04" N	1° 48' 53.45" E	1,235.0076	0.0014	-0.0011	0.0556
306	42° 11' 28.89" N	1° 48' 55.41" E	1,248.7144	0.0025	-0.0009	0.0574

LLIV	42° 28' 41.25" N	1° 58' 22.97" E	1,414.8035	-0.0017	-0.0057	-0.1390
PUIG	42° 24' 56.48" N	1° 52' 13.78" E	1,109.6961	-0.0051	0.0020	-0.0509
SBAR	41° 58' 48.39" N	2° 10' 27.45" E	887.3322	-0.0111	-0.0069	-0.0775
SONA	41° 59' 32.05" N	1° 31' 00.56" E	704.7749	-0.0115	0.0056	-0.1780
SR102	42° 11' 24.07" N	1° 48' 48.59" E	1,267.8275	0.0036	-0.0015	0.0759

Parámetros Adicionales

	Valor ajust.	Corr	D.Est.
Rotación sobre X	0.54269 "	0.54269 "	0.03552 "
Rotación sobre Y	-8.69887 "	-8.69887 "	0.04062 "
Rotación sobre Z	-0.34642 "	-0.34642 "	0.04037 "
Escala	1.0000083616	0.0000083616	0.0000000285

Desviación Estándar

Estación	D.Est. Lat [m]	D.Est. Long [m]	D.Est Alt [m]
103	0.0030	0.0031	0.0155
105	0.0058	0.0043	0.0337
106	0.0073	0.0049	0.0337
200	0.0037	0.0035	0.0247
201	0.0038	0.0041	0.0191
301	0.0042	0.0043	0.0220
302	0.0267	0.0321	0.1308
304	0.0030	0.0030	0.0143
306	0.0024	0.0027	0.0123
LLIV	0.0026	0.0024	0.0115
PUIG	0.0027	0.0025	0.0130
SBAR	0.0021	0.0028	0.0073
SONA	0.0028	0.0033	0.0162
SR102	0.0030	0.0030	0.0149

Elipse de Error Absoluto (Niveles de Confianza: 2D - 39,4% 1D - 68,3%)

Estación	Semi eje mayor (a) [m]	Semi eje menor (b) [m]	D.Est Alt [m]	Orientación (φ) [°]
103	-	-	0.0155	-
105	-	-	0.0337	-
106	-	-	0.0337	-
200	-	-	0.0247	-
201	-	-	0.0191	-
301	-	-	0.0220	-
302	-	-	0.1308	-
304	-	-	0.0143	-
306	-	-	0.0123	-
LLIV	-	-	0.0115	-
PUIG	-	-	0.0130	-
SBAR	-	-	0.0073	-
SONA	-	-	0.0162	-
SR102	-	-	0.0149	-

Elipses de Error Relativo (Niveles de Confianza: 2D - 39,4% 1D - 68,3%)

Desde	a	Semi eje mayor (a) [m]	Semi eje menor (b) [m]	D.Est Alt [m]	Orientación (ψ) [°]
103	301	0.0042	0.0034	0.0209	-88
106	302	0.0409	0.0207	0.1450	63
306	304	0.0020	0.0016	0.0085	36
306	201	0.0038	0.0028	0.0167	-56
306	200	0.0033	0.0025	0.0242	-45
LLIV	103	0.0028	0.0022	0.0144	-45
LLIV	301	0.0045	0.0037	0.0223	-58
LLIV	105	0.0059	0.0039	0.0345	-22
LLIV	302	0.0400	0.0196	0.1390	-76
LLIV	304	0.0026	0.0021	0.0114	-17
LLIV	SR102	0.0025	0.0021	0.0123	-14
LLIV	201	0.0040	0.0031	0.0179	27
LLIV	306	0.0018	0.0015	0.0084	-10
LLIV	200	0.0035	0.0027	0.0245	-5
PUIG	103	0.0028	0.0022	0.0142	-33
PUIG	301	0.0044	0.0037	0.0217	-51
PUIG	105	0.0060	0.0039	0.0352	-11
PUIG	302	0.0401	0.0194	0.1394	-64
PUIG	106	0.0077	0.0046	0.0350	-9

PUIG	SR102	0.0028	0.0023	0.0149	-6
PUIG	201	0.0042	0.0033	0.0193	35
PUIG	306	0.0022	0.0018	0.0120	-3
PUIG	200	0.0036	0.0029	0.0254	4
SBAR	103	0.0027	0.0021	0.0121	29
SBAR	301	0.0044	0.0036	0.0205	14
SBAR	105	0.0058	0.0038	0.0337	51
SBAR	302	0.0402	0.0196	0.1372	-2
SBAR	106	0.0075	0.0044	0.0338	52
SBAR	304	0.0026	0.0020	0.0104	55
SBAR	SR102	0.0026	0.0021	0.0113	58
SBAR	201	0.0040	0.0031	0.0169	-81
SBAR	306	0.0018	0.0014	0.0071	62
SBAR	200	0.0034	0.0027	0.0236	67
SONA	103	0.0027	0.0021	0.0134	-77
SONA	301	0.0045	0.0036	0.0222	-88
SONA	105	0.0059	0.0039	0.0357	-49
SONA	302	0.0410	0.0199	0.1454	78
SONA	106	0.0078	0.0047	0.0359	-47
SONA	304	0.0025	0.0021	0.0111	-44
SONA	SR102	0.0024	0.0020	0.0120	-45
SONA	201	0.0040	0.0031	0.0180	2
SONA	306	0.0016	0.0014	0.0077	-38
SONA	200	0.0034	0.0027	0.0249	-32
SR102	304	0.0029	0.0022	0.0130	-22
SR102	306	0.0021	0.0016	0.0100	-38

Fiabilidad Externa

Estación	Componente	Rel. Ext. [m]	Tipo de Observación	Estación	Pto. Visado
103	E-O	-0.0559	DY de línea base	PUIG	302
	N-S	0.0679	DX de línea base	PUIG	302
	Altura	-0.0751	DX de línea base	PUIG	302
105	E-O	-0.0560	DY de línea base	PUIG	302
	N-S	0.0679	DX de línea base	PUIG	302
	Altura	-0.0751	DX de línea base	PUIG	302
106	E-O	-0.0559	DY de línea base	PUIG	302
	N-S	0.0678	DX de línea base	PUIG	302
	Altura	-0.0748	DX de línea base	PUIG	302
200	E-O	-0.0559	DY de línea base	PUIG	302
	N-S	0.0678	DX de línea base	PUIG	302
	Altura	-0.0748	DX de línea base	PUIG	302
201	E-O	-0.0559	DY de línea base	PUIG	302
	N-S	0.0678	DX de línea base	PUIG	302
	Altura	-0.0749	DX de línea base	PUIG	302
301	E-O	-0.0559	DY de línea base	PUIG	302
	N-S	0.0679	DX de línea base	PUIG	302
	Altura	-0.0751	DX de línea base	PUIG	302
302	E-O	0.7173	DY de línea base	PUIG	302
	N-S	-0.8704	DX de línea base	PUIG	302
	Altura	0.9486	DX de línea base	PUIG	302
304	E-O	-0.0558	DY de línea base	PUIG	302
	N-S	0.0678	DX de línea base	PUIG	302
	Altura	-0.0749	DX de línea base	PUIG	302
306	E-O	-0.0558	DY de línea base	PUIG	302
	N-S	0.0678	DX de línea base	PUIG	302
	Altura	-0.0749	DX de línea base	PUIG	302
LLIV	E-O	-0.0465	DY de línea base	PUIG	302
	N-S	0.0555	DX de línea base	PUIG	302
	Altura	-0.0559	DX de línea base	PUIG	302
PUIG	E-O	-0.0504	DY de línea base	PUIG	302
	N-S	0.0604	DX de línea base	PUIG	302
	Altura	-0.0663	DX de línea base	PUIG	302
SBAR	E-O	-0.0502	DY de línea base	PUIG	302
	N-S	0.0619	DX de línea base	PUIG	302
	Altura	-0.0467	DX de línea base	PUIG	302
SONA	E-O	-0.0672	DY de línea base	PUIG	302
	N-S	0.0822	DX de línea base	PUIG	302
	Altura	-0.1049	DX de línea base	PUIG	302
SR102	E-O	-0.0559	DY de línea base	PUIG	302
	N-S	0.0678	DX de línea base	PUIG	302
	Altura	-0.0751	DX de línea base	PUIG	302

Observaciones GNSS ajustadas

Desde Estación	Punto Visado	ΔX [m]	ΔY [m]	ΔZ [m]	Res. ΔX [m]	Res. ΔY [m]	Res. ΔZ [m]
SONA	103	-14,993.4606	24,066.0924	16,677.3145	0.0104	0.0060	0.0115
PUIG	103	17,157.0395	-4,208.4625	-18,443.6336	-0.0115	-0.0009	-0.0103
LLIV	103	21,893.8330	-12,492.9502	-23,768.3858	-0.0072	-0.0083	-0.0080
103	301	33.9286	-30.2574	-4.4006	-0.0030	-0.0015	0.0029
SBAR	103	-14,274.7710	-30,429.7609	17,556.6712	0.0045	0.0010	0.0077
SONA	301	-14,959.5321	24,035.8350	16,672.9138	-0.0218	-0.0024	-0.0276
SBAR	301	-14,240.8424	-30,460.0183	17,552.2706	0.0050	0.0113	0.0051
LLIV	301	21,927.7616	-12,523.2076	-23,772.7865	-0.0058	0.2453	-0.2105
PUIG	301	17,190.9681	-4,238.7199	-18,448.0343	0.0236	-0.0026	0.0155
SONA	105	-14,987.0270	23,957.0184	16,698.4501	-0.0123	0.0034	-0.0147
PUIG	105	17,163.4732	-4,317.5364	-18,422.4980	-0.0061	-0.0016	-0.0005
SBAR	105	-14,268.3373	-30,538.8348	17,577.8068	0.0033	0.0078	-0.0015
LLIV	105	21,900.2667	-12,602.0241	-23,747.2502	0.0197	-0.0107	0.0225
106	302	30.0731	-44.6600	-3.3488	-0.5653	0.3021	-1.1045
PUIG	302	17,143.9242	-4,292.0851	-18,399.8057	-0.0186	-0.0124	-0.0038
LLIV	302	21,880.7177	-12,576.5728	-23,724.5580	1.4841	0.8152	-0.1834
SBAR	302	-14,287.8863	-30,513.3835	17,600.4991	1.3935	0.9302	-0.1684
SONA	302	-15,006.5760	23,982.4698	16,721.1424	1.1520	0.7038	-0.0586
SBAR	106	-14,317.9594	-30,468.7235	17,603.8479	0.0305	-0.0052	-0.0012
PUIG	106	17,113.8510	-4,247.4251	-18,396.4569	-0.0188	0.0030	0.0288
SONA	106	-15,036.6491	24,027.1298	16,724.4912	-0.0397	0.0120	0.0161
PUIG	SR102	17,133.2752	-4,152.1206	-18,437.5620	-0.0420	-0.0054	-0.0332
SR102	304	-172.1636	106.1120	137.2737	0.5950	0.1127	0.8409
SBAR	304	-14,470.6989	-30,267.3070	17,700.0164	-0.0099	0.0029	-0.0047
LLIV	304	21,697.9051	-12,330.4963	-23,625.0406	0.0608	0.0162	0.0738
SONA	304	-15,189.3885	24,228.5462	16,820.6597	0.0155	0.0111	0.0242
306	304	-53.2186	-46.5984	39.9033	-0.0019	-0.0021	-0.0034
LLIV	SR102	21,870.0687	-12,436.6083	-23,762.3143	-0.0060	0.0002	-0.0047
SR102	306	-118.9449	152.7104	97.3703	-0.0076	-0.0015	-0.0081
SONA	SR102	-15,017.2250	24,122.4343	16,683.3860	-0.0310	-0.0034	-0.0320
SBAR	SR102	-14,298.5353	-30,373.4190	17,562.7428	-0.0011	0.0005	-0.0050
SONA	201	-15,152.6907	24,160.9694	16,807.7827	-0.0126	-0.0065	-0.0163
306	201	-16.5207	-114.1753	27.0263	-0.0114	0.0039	-0.0081
SBAR	201	-14,434.0010	-30,334.8839	17,687.1394	0.0488	-0.0086	0.0412
LLIV	201	21,734.6030	-12,398.0732	-23,637.9177	0.0090	-0.0002	0.0058
PUIG	201	16,997.8095	-4,113.5855	-18,313.1654	0.0085	0.0002	0.0085
LLIV	306	21,751.1237	-12,283.8979	-23,664.9439	0.0046	0.0033	0.0075
SBAR	306	-14,417.4802	-30,220.7086	17,660.1131	-0.0062	-0.0012	-0.0049
SONA	306	-15,136.1699	24,275.1447	16,780.7564	-0.0010	-0.0023	-0.0025
306	200	32.4617	-75.5229	-29.9547	0.0280	0.0013	0.0318
PUIG	306	17,014.3302	-3,999.4102	-18,340.1917	0.0137	0.0017	0.0100
SBAR	200	-14,385.0186	-30,296.2315	17,630.1584	-0.0155	0.0018	-0.0144
LLIV	200	21,783.5854	-12,359.4208	-23,694.8987	-0.0135	-0.0061	-0.0255
PUIG	200	17,046.7919	-4,074.9331	-18,370.1464	0.0061	0.0070	0.0121
SONA	200	-15,103.7083	24,199.6218	16,750.8016	0.0018	-0.0036	-0.0040

Observaciones GNSS ajustadas - continuación

Desde Estación	Punto Visado	Desv. Est. ΔX [m]	Desv. Est. ΔY [m]	Desv. Est. ΔZ [m]	ΔX prueba W	ΔY prueba W	ΔZ prueba W	Prueba T
SONA	103	0.0105	0.0022	0.0094	-0.87	2.11	1.12	1.87
PUIG	103	0.0115	0.0024	0.0104	-0.07	-0.27	-0.24	0.31
LLIV	103	0.0114	0.0024	0.0103	0.89	-2.61	-1.00	2.45
103	301	0.0155	0.0038	0.0144	-1.05	-0.22	1.10	0.48
SBAR	103	0.0108	0.0023	0.0098	-0.70	0.45	0.85	0.30
SONA	301	0.0163	0.0041	0.0152	0.59	-0.24	-0.89	0.42
SBAR	301	0.0165	0.0041	0.0154	-0.33	1.27	0.18	0.54
LLIV	301	0.0173	0.0042	0.0161	0.04	1.65	-0.71	1.18
PUIG	301	0.0169	0.0042	0.0157	1.02	-0.90	-0.63	0.59
SONA	105	0.0246	0.0038	0.0256	0.17	0.69	-0.29	0.22
PUIG	105	0.0254	0.0039	0.0262	-0.45	-0.27	0.43	0.09
SBAR	105	0.0248	0.0039	0.0257	0.41	1.21	-0.42	0.53
LLIV	105	0.0250	0.0039	0.0259	-0.15	-1.70	0.31	1.04
106	302	0.1121	0.0370	0.0959	0.14	0.51	-0.93	0.37
PUIG	302	0.1091	0.0367	0.0926	-2.24	-1.93	1.85	4.22
LLIV	302	0.1098	0.0368	0.0932	1.45	1.03	-1.11	1.56
SBAR	302	0.1097	0.0368	0.0931	1.25	1.29	-1.00	1.59
SONA	302	0.1097	0.0368	0.0931	0.97	0.91	-0.67	0.86
SBAR	106	0.0251	0.0044	0.0248	3.92	-1.40	-3.73	5.85

PUIG	106	0.0264	0.0047	0.0259	-2.02	0.34	2.02	1.47
SONA	106	0.0257	0.0046	0.0253	-2.79	1.41	2.60	3.19
PUIG	SR102	0.0123	0.0024	0.0111	-0.53	-1.00	0.20	0.82
SR102	304	0.0098	0.0023	0.0090	-1.01	-0.16	1.10	1.30
SBAR	304	0.0088	0.0021	0.0081	-0.70	0.77	0.41	0.37
LLIV	304	0.0099	0.0023	0.0091	-0.40	1.08	0.90	1.16
SONA	304	0.0084	0.0020	0.0077	-0.67	2.09	1.07	2.29
306	304	0.0064	0.0016	0.0059	1.22	-2.38	-1.44	2.91
LLIV	SR102	0.0102	0.0022	0.0093	-0.13	0.05	0.05	0.02
SR102	306	0.0075	0.0017	0.0068	0.13	-0.89	-0.77	1.44
SONA	SR102	0.0092	0.0020	0.0084	0.38	-0.68	-0.94	1.11
SBAR	SR102	0.0098	0.0022	0.0089	0.31	0.08	-0.35	0.04
SONA	201	0.0131	0.0038	0.0125	0.16	-0.47	-0.24	0.21
306	201	0.0122	0.0036	0.0117	-0.62	1.81	-0.19	1.61
SBAR	201	0.0134	0.0038	0.0128	0.49	-2.06	0.68	2.38
LLIV	201	0.0141	0.0038	0.0134	0.26	-0.01	-0.22	0.03
PUIG	201	0.0153	0.0040	0.0143	0.01	-0.15	0.11	0.02
LLIV	306	0.0077	0.0017	0.0071	-1.22	2.33	1.28	2.62
SBAR	306	0.0068	0.0016	0.0063	-0.60	-0.68	0.22	0.62
SONA	306	0.0062	0.0014	0.0056	0.70	-2.21	-0.50	1.77
306	200	0.0184	0.0028	0.0160	-1.15	-0.49	1.40	0.86
PUIG	306	0.0104	0.0020	0.0094	0.91	0.51	-0.63	0.62
SBAR	200	0.0190	0.0030	0.0166	0.12	0.57	-0.31	0.18
LLIV	200	0.0191	0.0030	0.0167	1.38	-0.56	-1.47	1.14
PUIG	200	0.0198	0.0031	0.0174	-0.62	1.13	0.55	0.66
SONA	200	0.0189	0.0030	0.0165	0.53	-0.52	-0.47	0.21

Residuos del vector línea base GNSS

Desde Estación	Punto Visado	Vector Ajust.	Resid [m]	Resid [ppm]
SONA	103	32,895.4933	0.0166	0.5
PUIG	103	25,539.0443	0.0155	0.6
LLIV	103	34,646.0661	0.0136	0.4
103	301	45.6730	0.0045	97.8
SBAR	103	37,920.6558	0.0090	0.2
SONA	301	32,855.6695	0.0352	1.1
SBAR	301	37,930.1530	0.0134	0.4
LLIV	301	34,681.4480	0.3233	9.3
PUIG	301	25,570.0234	0.0284	1.1
SONA	105	32,823.5883	0.0195	0.6
PUIG	105	25,546.3180	0.0064	0.2
SBAR	105	38,015.5912	0.0086	0.2
LLIV	105	34,675.1292	0.0318	0.9
106	302	53.9456	1.2770	23,672.7
PUIG	302	25,512.5260	0.0227	0.9
LLIV	302	34,637.9942	1.7032	49.2
SBAR	302	38,012.9956	1.6838	44.3
SONA	302	32,862.6350	1.3512	41.1
SBAR	106	37,990.0320	0.0310	0.8
PUIG	106	25,482.4282	0.0345	1.4
SONA	106	32,910.6729	0.0445	1.4
PUIG	SR102	25,509.4672	0.0538	2.1
SR102	304	244.4261	1.0363	4,239.6
SBAR	304	37,931.5381	0.0114	0.3
LLIV	304	34,365.4299	0.0970	2.8
SONA	304	33,176.4159	0.0308	0.9
306	304	81.2152	0.0044	54.5
LLIV	SR102	34,606.5992	0.0077	0.2
SR102	306	216.6780	0.0112	51.7
SONA	SR102	32,950.6335	0.0447	1.4
SBAR	SR102	37,887.2357	0.0052	0.1
SONA	201	33,103.7465	0.0216	0.7
306	201	118.4877	0.0145	122.7
SBAR	201	37,965.5168	0.0645	1.7
LLIV	201	34,421.7422	0.0107	0.3
PUIG	201	25,322.3052	0.0120	0.5
LLIV	306	34,409.8111	0.0094	0.3
SBAR	306	37,855.4430	0.0081	0.2
SONA	306	33,165.9475	0.0035	0.1
306	200	87.4914	0.0424	484.2
PUIG	306	25,334.6669	0.0170	0.7
SBAR	200	37,889.4825	0.0213	0.6

LLIV	200	34,477.9364	0.0295	0.9
PUIG	200	25,390.1649	0.0153	0.6
SONA	200	33,080.7052	0.0057	0.2

Pruebas y Errores Estimados

Pruebas de Observaciones

	Estación	Pto. Visado	MDB	Redun	BNR	Prueba W	Error Est	Prueba T
ΔX	SONA	103	0.0223 m	69	2.02	-0.87	-	1.87
ΔY			0.0128 m	64	1.97	2.11	0.0096 m	-
ΔZ			0.0202 m	60	2.06	1.12	-	-
ΔX	PUIG	103	0.0231 m	63	2.38	-0.07	-	0.31
ΔY			0.0134 m	57	2.37	-0.27	-	-
ΔZ			0.0210 m	51	2.43	-0.24	-	-
ΔX	LLIV	103	0.0243 m	71	1.96	0.89	0.0077 m	2.45
ΔY			0.0138 m	66	1.90	-2.61	-0.0129 m	-
ΔZ			0.0222 m	64	1.98	-1.00	-0.0079 m	-
ΔX	103	301	0.0302 m	52	3.00	-1.05	-	0.48
ΔY			0.0206 m	36	3.58	-0.22	-	-
ΔZ			0.0289 m	41	3.07	1.10	-	-
ΔX	SBAR	103	0.0238 m	73	1.87	-0.70	-	0.30
ΔY			0.0137 m	68	1.77	0.45	-	-
ΔZ			0.0216 m	63	1.91	0.85	-	-
ΔX	SONA	301	0.0384 m	79	1.49	0.59	-	0.42
ΔY			0.0258 m	80	1.44	-0.24	-	-
ΔZ			0.0369 m	77	1.48	-0.89	-	-
ΔX	SBAR	301	0.0424 m	74	1.30	-0.33	-	0.54
ΔY			0.0286 m	84	1.23	1.27	-	-
ΔZ			0.0422 m	89	1.23	0.18	-	-
ΔX	LLIV	301	0.5282 m	100	0.12	0.04	-	1.18
ΔY			0.3944 m	100	0.08	1.65	-	-
ΔZ			0.6378 m	100	0.07	-0.71	-	-
ΔX	PUIG	301	0.0372 m	66	1.67	1.02	-	0.59
ΔY			0.0317 m	89	1.38	-0.90	-	-
ΔZ			0.0363 m	83	1.61	-0.63	-	-
ΔX	SONA	105	0.0436 m	65	1.99	0.17	-	0.22
ΔY			0.0222 m	65	2.00	0.69	-	-
ΔZ			0.0453 m	68	1.98	-0.29	-	-
ΔX	PUIG	105	0.0488 m	71	1.66	-0.45	-	0.09
ΔY			0.0249 m	73	1.66	-0.27	-	-
ΔZ			0.0507 m	79	1.63	0.43	-	-
ΔX	SBAR	105	0.0482 m	73	1.60	0.41	-	0.53
ΔY			0.0246 m	74	1.59	1.21	-	-
ΔZ			0.0502 m	78	1.59	-0.42	-	-
ΔX	LLIV	105	0.0480 m	72	1.65	-0.15	-	1.04
ΔY			0.0245 m	73	1.64	-1.70	-	-
ΔZ			0.0499 m	77	1.63	0.31	-	-
ΔX	106	302	5.2677 m	100	0.05	0.14	-	0.37
ΔY			2.5047 m	100	0.09	0.51	-	-
ΔZ			2.9359 m	99	0.18	-0.93	-	-
ΔX	PUIG	302	1.4048 m	0	45.02	-2.24	-1.1237 m	4.22
ΔY			0.7822 m	1	32.04	-1.93	-0.5386 m	-
ΔZ			0.9152 m	5	29.34	1.85	0.6057 m	-
ΔX	LLIV	302	2.3040 m	99	0.14	1.45	-	1.56
ΔY			1.4061 m	100	0.16	1.03	-	-
ΔZ			1.6011 m	98	0.30	-1.11	-	-
ΔX	SBAR	302	2.3262 m	99	0.14	1.25	-	1.59
ΔY			1.4197 m	100	0.16	1.29	-	-
ΔZ			1.6164 m	98	0.30	-1.00	-	-
ΔX	SONA	302	2.4100 m	99	0.14	0.97	-	0.86
ΔY			1.4708 m	100	0.15	0.91	-	-
ΔZ			1.6741 m	98	0.29	-0.67	-	-
ΔX	SBAR	106	0.0600 m	43	3.64	3.92	0.0841 m	5.85
ΔY			0.0259 m	34	3.80	-1.40	-0.0129 m	-
ΔZ			0.0597 m	31	3.81	-3.73	-0.0796 m	-
ΔX	PUIG	106	0.0767 m	76	1.37	-2.02	-0.0552 m	1.47
ΔY			0.0320 m	79	1.45	0.34	-	-
ΔZ			0.0769 m	83	1.30	2.02	0.0556 m	-
ΔX	SONA	106	0.0715 m	74	1.48	-2.79	-0.0714 m	3.19
ΔY			0.0323 m	81	1.37	1.41	0.0162 m	-
ΔZ			0.0724 m	84	1.41	2.60	0.0671 m	-

ΔX	PUIG	SR102	0.0335 m	88	1.21	-0.53	-	0.82
ΔY			0.0188 m	84	1.22	-1.00	-	-
ΔZ			0.0305 m	86	1.22	0.20	-	-
ΔX	SR102	304	0.1991 m	100	0.20	-1.01	-	1.30
ΔY			0.0888 m	100	0.22	-0.16	-	-
ΔZ			0.1995 m	100	0.22	1.10	-	-
ΔX	SBAR	304	0.0291 m	80	1.14	-0.70	-	0.37
ΔY			0.0149 m	82	1.17	0.77	-	-
ΔZ			0.0276 m	86	1.12	0.41	-	-
ΔX	LLIV	304	0.0653 m	96	0.49	-0.40	-	1.16
ΔY			0.0331 m	96	0.50	1.08	-	-
ΔZ			0.0632 m	98	0.46	0.90	-	-
ΔX	SONA	304	0.0308 m	84	1.03	-0.67	-0.0074 m	2.29
ΔY			0.0155 m	85	1.09	2.09	0.0115 m	-
ΔZ			0.0283 m	86	1.03	1.07	0.0108 m	-
ΔX	306	304	0.0214 m	20	6.07	1.22	0.0093 m	2.91
ΔY			0.0109 m	20	5.52	-2.38	-0.0093 m	-
ΔZ			0.0200 m	16	6.22	-1.44	-0.0103 m	-
ΔX	LLIV	SR102	0.0297 m	85	1.20	-0.13	-	0.02
ΔY			0.0154 m	81	1.26	0.05	-	-
ΔZ			0.0270 m	84	1.21	0.05	-	-
ΔX	SR102	306	0.0183 m	27	4.14	0.13	-	1.44
ΔY			0.0099 m	32	4.27	-0.89	-	-
ΔZ			0.0166 m	29	4.19	-0.77	-	-
ΔX	SONA	SR102	0.0260 m	83	1.34	0.38	-	1.11
ΔY			0.0149 m	82	1.21	-0.68	-	-
ΔZ			0.0238 m	81	1.34	-0.94	-	-
ΔX	SBAR	SR102	0.0397 m	93	0.81	0.31	-	0.04
ΔY			0.0202 m	90	0.83	0.08	-	-
ΔZ			0.0354 m	90	0.83	-0.35	-	-
ΔX	SONA	201	0.0373 m	80	1.24	0.16	-	0.21
ΔY			0.0233 m	83	1.27	-0.47	-	-
ΔZ			0.0337 m	83	1.25	-0.24	-	-
ΔX	306	201	0.0259 m	48	3.11	-0.62	-	1.61
ΔY			0.0168 m	48	2.97	1.81	-	-
ΔZ			0.0234 m	38	3.16	-0.19	-	-
ΔX	SBAR	201	0.0399 m	82	1.15	0.49	0.0071 m	2.38
ΔY			0.0249 m	85	1.16	-2.06	-0.0183 m	-
ΔZ			0.0360 m	84	1.17	0.68	0.0087 m	-
ΔX	LLIV	201	0.0379 m	83	1.28	0.26	-	0.03
ΔY			0.0260 m	83	1.21	-0.01	-	-
ΔZ			0.0354 m	93	1.27	-0.22	-	-
ΔX	PUIG	201	0.0504 m	86	0.97	0.01	-	0.02
ΔY			0.0318 m	91	0.98	-0.15	-	-
ΔZ			0.0455 m	89	0.96	0.11	-	-
ΔX	LLIV	306	0.0174 m	30	3.35	-1.22	-0.0076 m	2.62
ΔY			0.0094 m	35	3.45	2.33	0.0078 m	-
ΔZ			0.0159 m	34	3.35	1.28	0.0073 m	-
ΔX	SBAR	306	0.0163 m	36	2.99	-0.60	-	0.62
ΔY			0.0087 m	38	2.87	-0.68	-	-
ΔZ			0.0149 m	36	3.12	0.22	-	-
ΔX	SONA	306	0.0150 m	33	3.15	0.70	-	1.77
ΔY			0.0081 m	35	3.20	-2.21	-0.0064 m	-
ΔZ			0.0137 m	35	3.26	-0.50	-	-
ΔX	306	200	0.0284 m	70	2.00	-1.15	-	0.86
ΔY			0.0144 m	66	2.05	-0.49	-	-
ΔZ			0.0243 m	74	1.98	1.40	-	-
ΔX	PUIG	306	0.0198 m	54	2.62	0.91	-	0.62
ΔY			0.0107 m	49	2.94	0.51	-	-
ΔZ			0.0179 m	51	2.74	-0.63	-	-
ΔX	SBAR	200	0.0348 m	80	1.48	0.12	-	0.18
ΔY			0.0182 m	78	1.38	0.57	-	-
ΔZ			0.0297 m	75	1.49	-0.31	-	-
ΔX	LLIV	200	0.0347 m	78	1.53	1.38	-	1.14
ΔY			0.0176 m	75	1.54	-0.56	-	-
ΔZ			0.0293 m	72	1.57	-1.47	-	-
ΔX	PUIG	200	0.0359 m	78	1.55	-0.62	-	0.66
ΔY			0.0185 m	76	1.56	1.13	-	-
ΔZ			0.0307 m	73	1.57	0.55	-	-
ΔX	SONA	200	0.0369 m	83	1.32	0.53	-	0.21
ΔY			0.0193 m	82	1.26	-0.52	-	-
ΔZ			0.0314 m	79	1.33	-0.47	-	-

Pruebas de Altura de Antena

Estación	Pto. Visado	Fecha/Hora	MDB de Antena	Prueba W de Antena	Error Est. Antena
SONA	103	12/05/2021 11:00:22	0.0815 m	0.93	-
PUIG	103	12/05/2021 11:00:22	0.0865 m	-0.92	-
LLIV	103	12/05/2021 11:00:22	0.0914 m	-0.76	-
103	301	12/05/2021 11:12:07	0.1152 m	-0.06	-
SBAR	103	12/05/2021 11:00:22	0.0865 m	0.47	-
SONA	301	12/05/2021 11:12:07	0.1437 m	-0.70	-
SBAR	301	12/05/2021 11:12:07	0.1535 m	-0.27	-
LLIV	301	12/05/2021 11:12:07	1.0546 m	-0.61	-
PUIG	301	12/05/2021 11:12:07	0.1418 m	1.11	-
SONA	105	12/05/2021 11:50:12	0.1860 m	-0.16	-
PUIG	105	12/05/2021 11:50:12	0.2130 m	-0.29	-
SBAR	105	12/05/2021 11:50:12	0.2049 m	0.44	-
LLIV	105	12/05/2021 11:50:12	0.2090 m	0.04	-
106	302	12/05/2021 12:14:27	5.0913 m	-0.96	-
PUIG	302	12/05/2021 12:14:27	1.7998 m	0.23	-
LLIV	302	12/05/2021 12:14:27	2.6478 m	0.05	-
SBAR	302	12/05/2021 12:14:27	2.6897 m	0.03	-
SONA	302	12/05/2021 12:14:27	2.7777 m	0.12	-
SBAR	106	12/05/2021 12:05:37	0.1933 m	1.01	-
PUIG	106	12/05/2021 12:05:37	0.2396 m	-0.33	-
SONA	106	12/05/2021 12:05:37	0.2381 m	-0.99	-
PUIG	SR102	12/05/2021 14:05:12	0.1512 m	-1.31	-
SR102	304	12/05/2021 15:19:07	1.1254 m	-0.13	-
SBAR	304	12/05/2021 15:19:07	0.0825 m	-0.54	-
LLIV	304	12/05/2021 15:19:07	0.1996 m	1.17	-
SONA	304	12/05/2021 15:19:07	0.0827 m	0.98	-
306	304	12/05/2021 15:19:07	0.0600 m	-0.69	-
LLIV	SR102	12/05/2021 14:05:12	0.1091 m	-0.21	-
SR102	306	12/05/2021 15:10:52	0.0653 m	-1.84	-
SONA	SR102	12/05/2021 14:05:12	0.0944 m	-1.56	-
SBAR	SR102	12/05/2021 14:05:12	0.1339 m	-0.11	-
SONA	201	12/05/2021 15:56:07	0.1128 m	-0.22	-
306	201	12/05/2021 15:56:07	0.0852 m	-1.75	-
SBAR	201	12/05/2021 15:56:07	0.1225 m	2.38	0.1041 m
LLIV	201	12/05/2021 15:56:07	0.2041 m	0.19	-
PUIG	201	12/05/2021 15:56:07	0.1520 m	0.27	-
LLIV	306	12/05/2021 15:10:52	0.0645 m	0.59	-
SBAR	306	12/05/2021 15:10:52	0.0533 m	-1.05	-
SONA	306	12/05/2021 15:10:52	0.0488 m	0.23	-
306	200	12/05/2021 16:17:02	0.1530 m	1.20	-
PUIG	306	12/05/2021 15:10:52	0.0771 m	0.88	-
SBAR	200	12/05/2021 16:17:02	0.1639 m	-0.57	-
LLIV	200	12/05/2021 16:17:02	0.1535 m	-0.83	-
PUIG	200	12/05/2021 16:17:02	0.1638 m	0.16	-
SONA	200	12/05/2021 16:17:02	0.1707 m	0.03	-



12ANEXO V – Resultados de los ajustes fotogramétricos

Se incluye en este apartado, como información complementaria a este documento, los resultados del procesado fotogramétrico realizado de forma conjunta en los diferentes vuelos de una misma campaña. Existen por tanto tres informes de procesado.

Levantamiento fotogramétrico Vallcebre

1ª campaña de vuelo

12 de mayo de 2021

21 August 2021



Datos del levantamiento

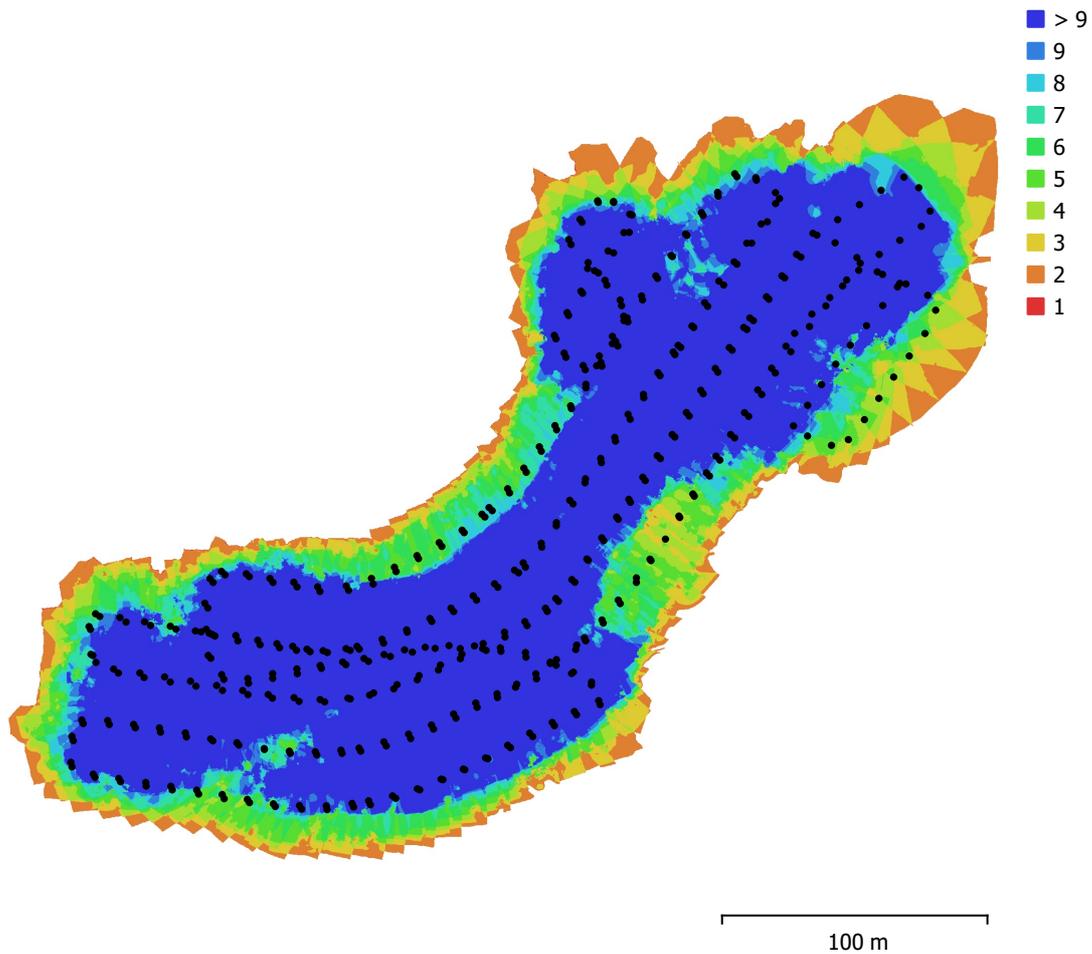


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 466

Altitud media de vuelo: 42.3 m

Resolución en terreno: 8.53 mm/pix

Área cubierta: 0.0499 km²

Imágenes alineadas: 465

Puntos de paso: 378,847

Proyecciones: 1,338,157

Error de reproyección: 0.659 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrado
C6520, DJI MFT 15mm F1.7 ASPH (15mm)	5280 x 3956	15 mm	3.28 x 3.28 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Calibración de cámara

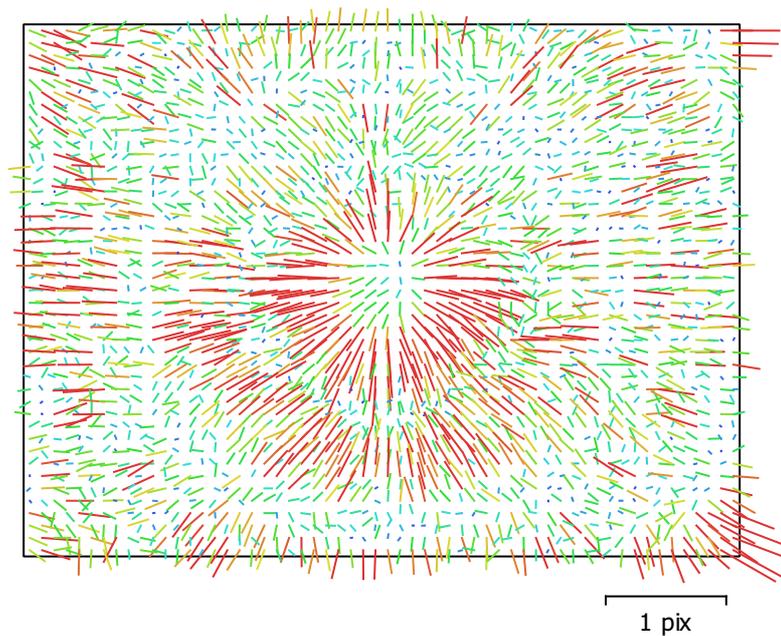


Fig. 2. Gráfico de residuales para FC6520, DJI MFT 15mm F1.7 ASPH (15mm).

FC6520, DJI MFT 15mm F1.7 ASPH (15mm)

466 imágenes, rolling-shutter

Tipo
Cuadro

Resolución
5280 x 3956

Distancia focal
15 mm

Tamaño de píxel
3.28 x 3.28 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	4548.91	0.23	1.00	-0.32	-0.82	-0.03	0.05	-0.05	-0.19	-0.03
Cx	-115.246	0.027		1.00	0.28	-0.02	0.04	-0.05	0.78	0.03
Cy	14.3382	0.048			1.00	0.01	-0.02	0.03	0.18	0.50
K1	-0.00407247	2.8e-05				1.00	-0.95	0.88	-0.06	-0.02
K2	0.0102191	0.00012					1.00	-0.98	0.04	-0.02
K3	-0.0129601	0.00016						1.00	-0.06	0.01
P1	-0.00759644	1.8e-06							1.00	0.06
P2	0.00147356	2.2e-06								1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Posiciones de cámaras

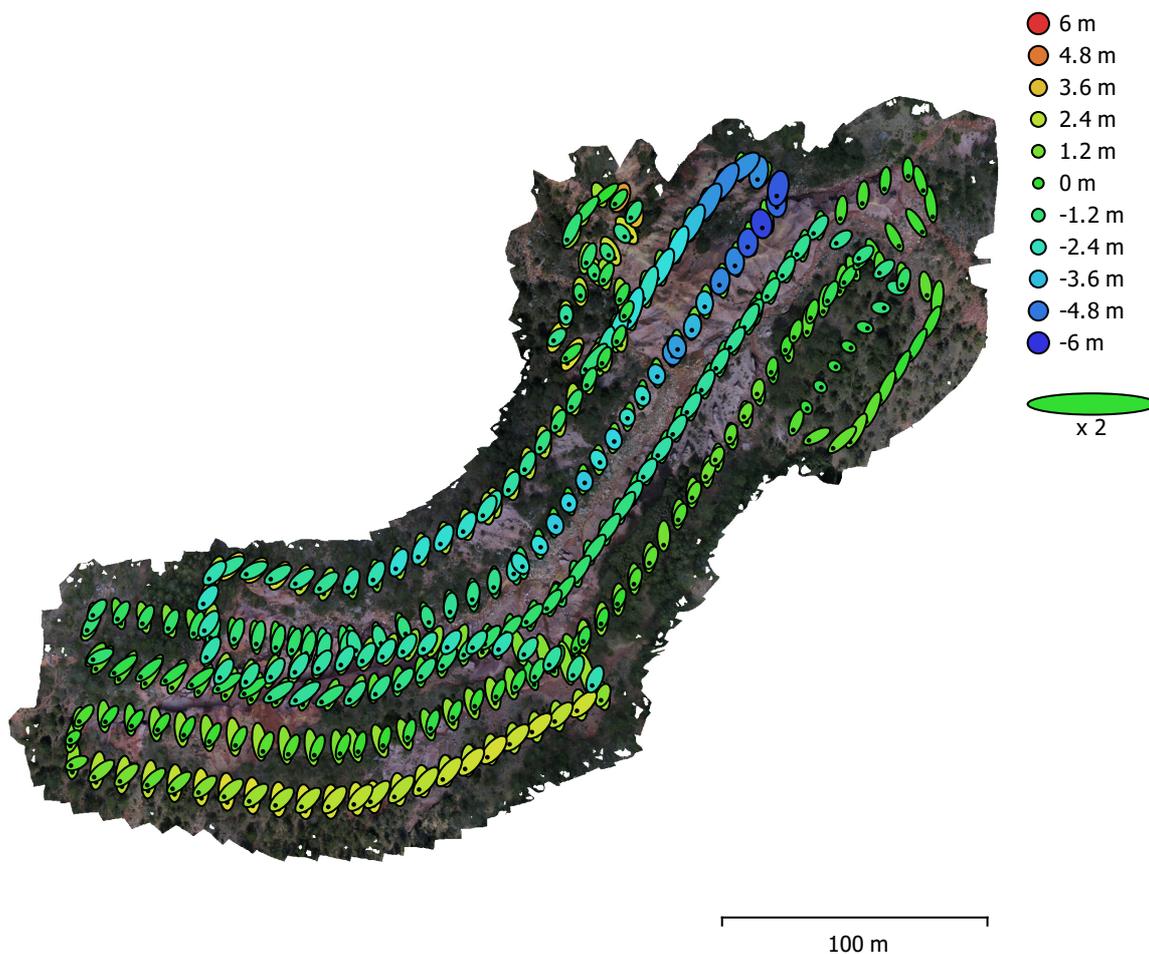


Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimadores de error.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY. Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Error en X (m)	Error en Y (m)	Error en Z (m)	Error en XY (m)	Error combinado (m)
1.33064	3.16383	1.72034	3.43226	3.83927

Tabla 3. Errores medios de las posiciones de cámaras.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Puntos de control terrestre

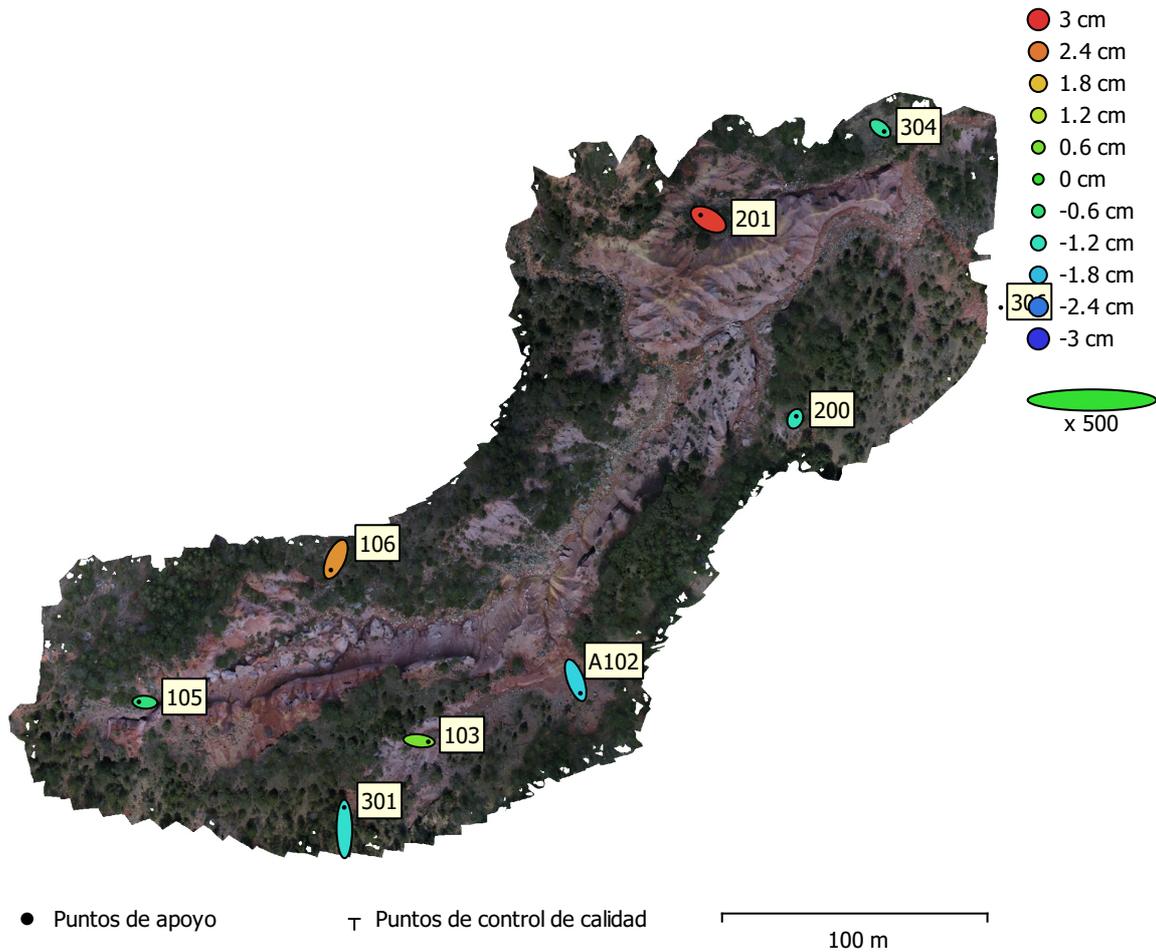


Fig. 4. Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.

Las posiciones estimadas de puntos de apoyo se marcan con puntos o cruces.

Número	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Error en XY (cm)	Total (cm)
8	0.828461	1.50475	1.60311	1.71773	2.34959

Tabla 4. ECM de puntos de apoyo.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Nombre	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
A102	0.712776	-1.97258	-1.60299	2.63983	0.453 (20)
103	1.38492	-0.15172	0.627683	1.52807	0.336 (19)
301	-0.0259666	3.27319	-1.36212	3.54539	0.400 (6)
105	-0.898414	0.0529928	-0.634985	1.10144	0.355 (21)
106	-0.72694	-1.63795	2.16883	2.81338	0.293 (7)
201	-1.16382	0.657334	2.89776	3.19117	0.287 (8)
304	0.590309	-0.468486	-0.916892	1.18686	0.213 (3)
306					
200	0.159769	0.386045	-1.18154	1.25324	0.319 (13)
Total	0.828461	1.50475	1.60311	2.34959	0.360

Tabla 5. Puntos de apoyo.
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Modelo digital de elevaciones

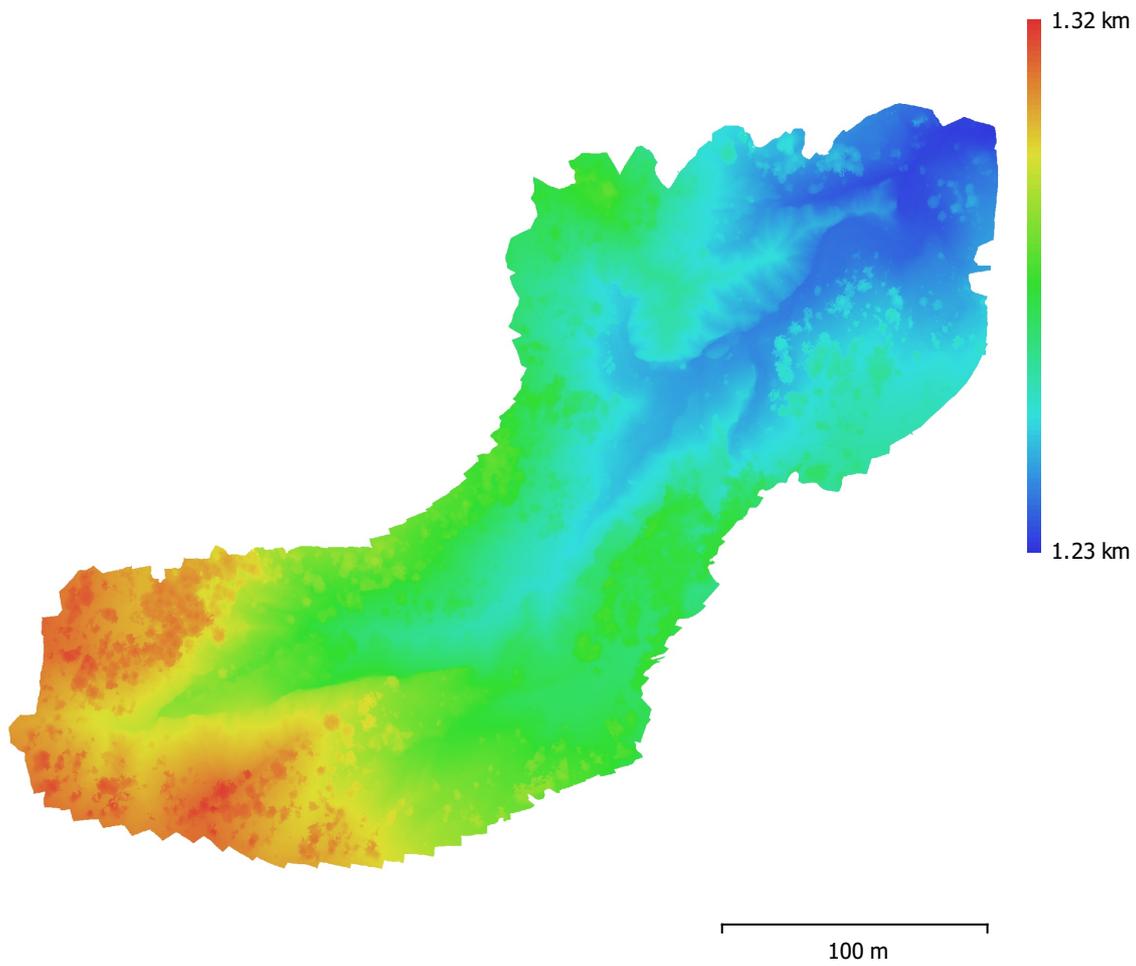


Fig. 5. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 3.41 cm/pix
Densidad de puntos: 860 puntos/m²

Parámetros de procesamiento

Generales

Cámaras	466
Cámaras orientadas	465
Marcadores	9
Sistema de coordenadas	ETRS89 / UTM zone 31N (EPSG::25831)
Ángulo de rotación	Omega, Phi, Kappa

Nube de puntos

Puntos	378,847 de 461,623
RMS error de reproyección	0.170595 (0.658596 pix)
Error de reproyección máximo	1.44468 (16.1268 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	3.46594 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos clave	No
Multiplicidad media de puntos de paso	4.06951

Parámetros de orientación

Precisión	Alta
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	Origen
Puntos clave por foto	40,000
Puntos de paso por foto	4,000
Excluir puntos de paso inmóviles	Sí
Emparejamiento guiado	No
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	Sí
Tiempo búsqueda de emparejamientos	34 minutos 10 segundos
Uso de memoria durante el emparejamiento	2.71 GB
Tiempo de orientación	6 minutos 47 segundos
Uso de memoria durante el alineamiento	257.58 MB

Parámetros de optimización

Parámetros	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	No
Tiempo de optimización	5 minutos 54 segundos
Versión del programa	1.7.1.11797
Tamaño de archivo	38.72 MB

Mapas de profundidad

Número	465
--------	-----

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Media
Nivel de filtrado	Leve
Tiempo de procesamiento	9 horas 50 minutos
Uso de memoria	2.11 GB
Versión del programa	1.7.3.12136
Tamaño de archivo	829.32 MB

Nube de puntos densa

Puntos	70,618,350
Colores de puntos	3 bandas, uint8

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Media
Nivel de filtrado	Leve
Tiempo de procesamiento	9 horas 50 minutos
Uso de memoria	2.11 GB

Parámetros de generación de la nube densa

Tiempo de procesamiento	5 horas 41 minutos
Uso de memoria	5.12 GB
Versión del programa	1.7.3.12136
Tamaño de archivo	1006.21 MB

MDE

Tamaño	15,082 x 13,926
Sistema de coordenadas	ETRS89 / UTM zone 31N (EPSG::25831)

Parámetros de reconstrucción

Origen de datos	Nube de puntos densa
Interpolación	Habilitada
Tiempo de procesamiento	2 minutos 59 segundos
Uso de memoria	309.35 MB
Versión del programa	1.7.3.12136
Tamaño de archivo	155.07 MB

Ortomosaico

Tamaño	43,763 x 34,111
Sistema de coordenadas	ETRS89 / UTM zone 31N (EPSG::25831)
Colores	3 bandas, uint8

Parámetros de reconstrucción

Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	MDE
Permitir el cierre de agujeros	Sí
Habilitar el filtro de efecto fantasma	No
Tiempo de procesamiento	2 horas 49 minutos
Uso de memoria	3.40 GB
Versión del programa	1.7.3.12136
Tamaño de archivo	8.14 GB

Sistema

Nombre del programa	Agisoft Metashape Professional
Versión del programa	1.7.3 build 12136
OS	Windows 64 bit
RAM	31.86 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-7700HQ CPU @ 2.80GHz
GPU(s)	Ninguno

Levantamiento fotogramétrico Vallcebre

2ª campaña de vuelo

18 de junio de 2021

20 August 2021



Datos del levantamiento

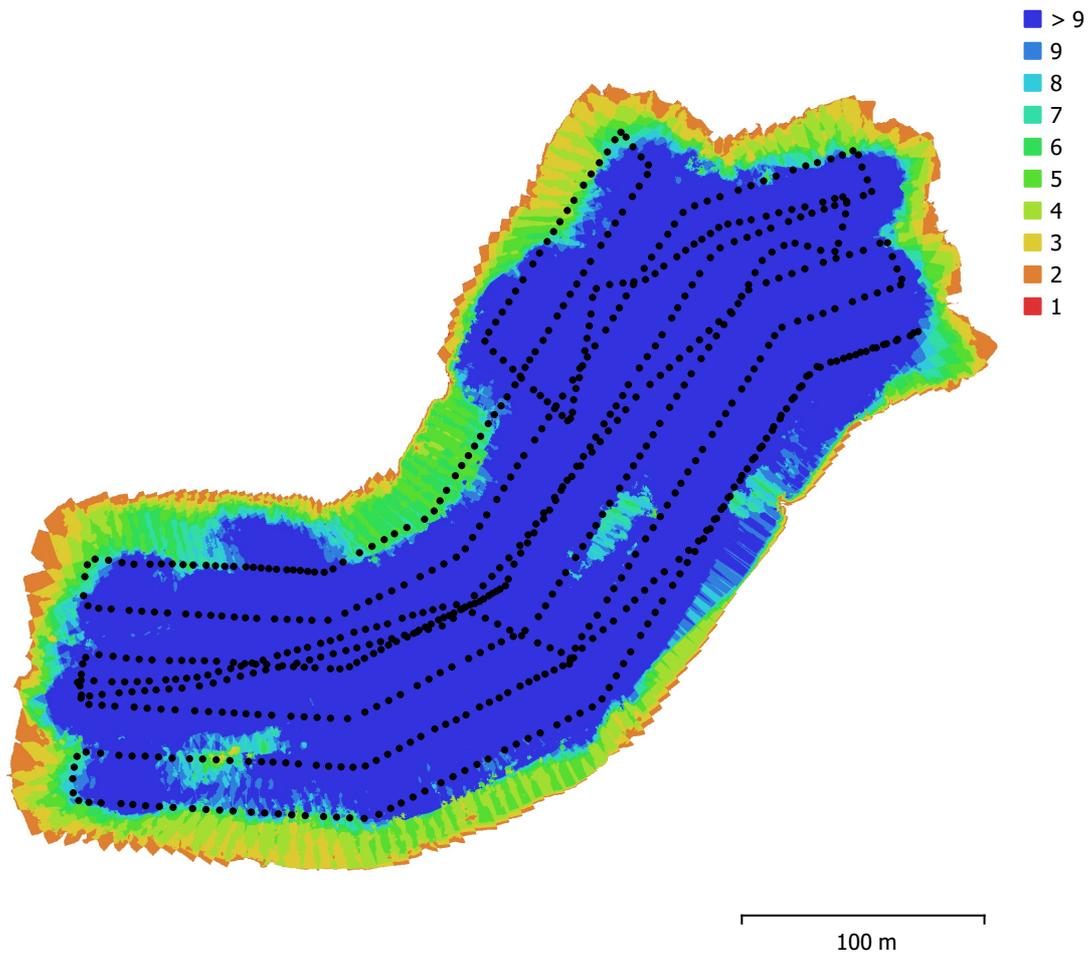


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 691

Altitud media de vuelo: 50.8 m

Resolución en terreno: 1.03 cm/pix

Área cubierta: 0.0694 km²

Imágenes alineadas: 691

Puntos de paso: 273,821

Proyecciones: 1,714,196

Error de reproyección: 1.33 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrado
Mavic 2 Pro, DJI MFT 15mm F1.7 ASPH (15mm)	5280 x 2970	15 mm	3.57 x 3.57 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Calibración de cámara

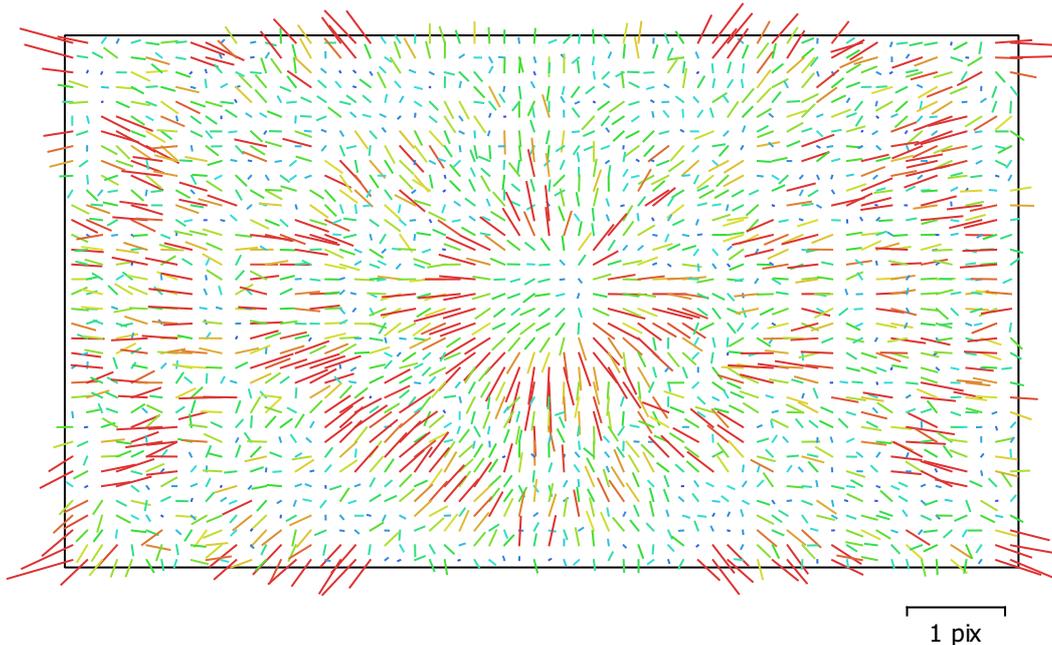


Fig. 2. Gráfico de residuales para FC6520, DJI MFT 15mm F1.7 ASPH (15mm).

FC6520, DJI MFT 15mm F1.7 ASPH (15mm)

691 imágenes, rolling-shutter

Tipo
Cuadro

Resolución
5280 x 2970

Distancia focal
15 mm

Tamaño de píxel
3.57 x 3.57 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	4563.16	0.47	1.00	0.71	-0.20	0.01	-0.02	0.05	0.36	0.02
Cx	136.997	0.056		1.00	-0.17	0.04	-0.04	0.06	0.86	-0.01
Cy	2.25936	0.03			1.00	-0.02	0.01	-0.01	-0.12	0.81
K1	0.00497716	4.6e-05				1.00	-0.95	0.88	0.05	-0.02
K2	-0.0283351	0.00022					1.00	-0.98	-0.04	0.00
K3	0.0438515	0.00032						1.00	0.06	0.00
P1	0.010922	3.3e-06							1.00	-0.04
P2	0.000865368	2.3e-06								1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Posiciones de cámaras

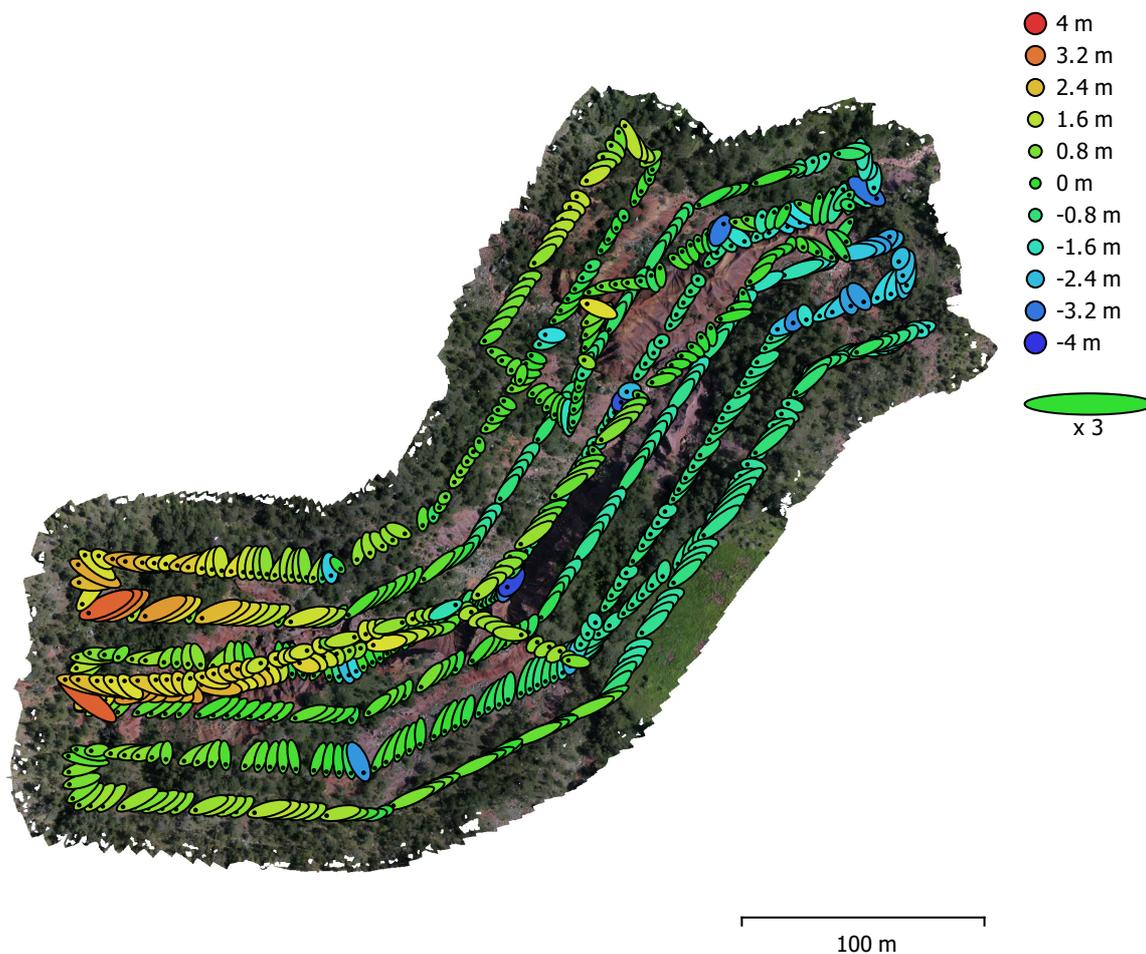


Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimadores de error.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY. Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Error en X (m)	Error en Y (m)	Error en Z (m)	Error en XY (m)	Error combinado (m)
2.1504	1.899	1.23929	2.86887	3.1251

Tabla 3. Errores medios de las posiciones de cámaras.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Puntos de control terrestre

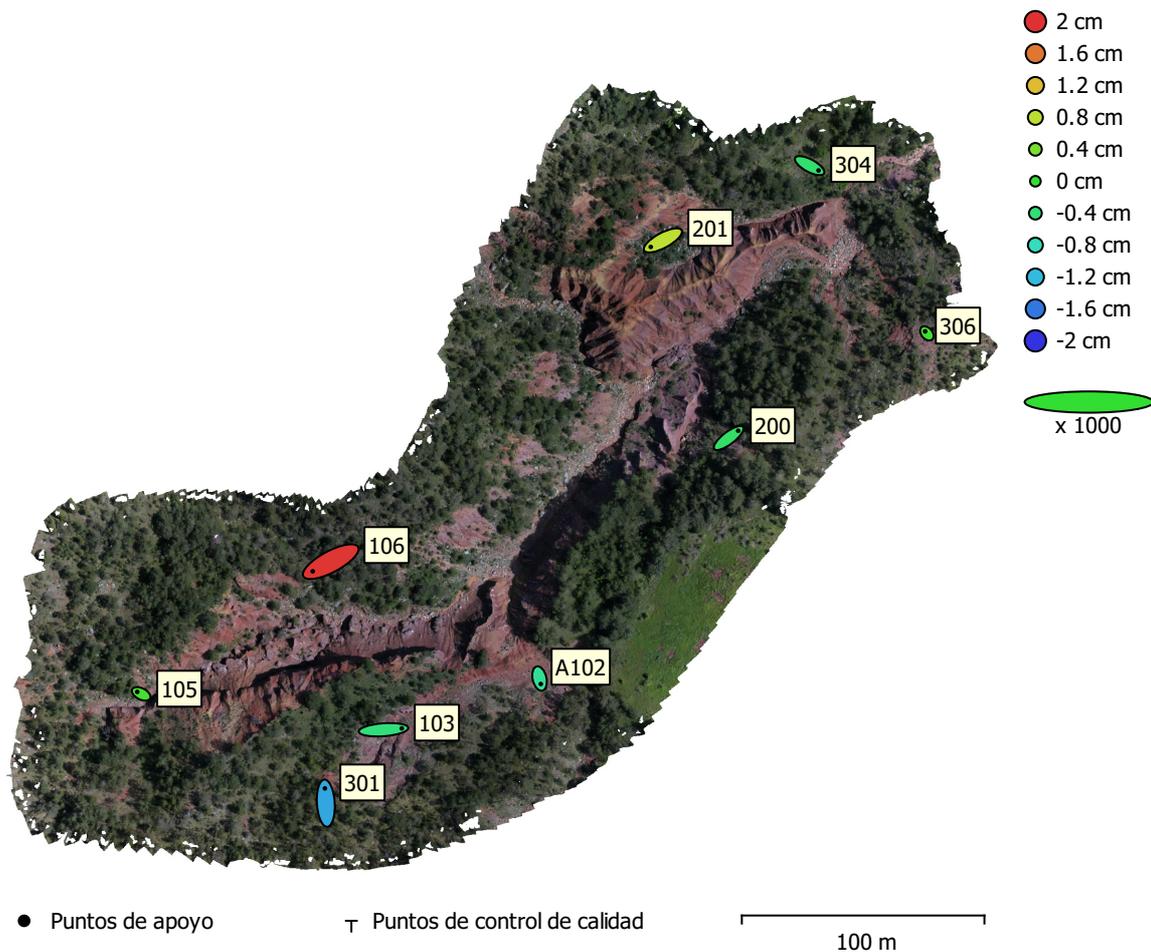


Fig. 4. Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY. Las posiciones estimadas de puntos de apoyo se marcan con puntos o cruces.

Número	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Error en XY (cm)	Total (cm)
9	0.867468	0.600813	0.885977	1.05521	1.37784

Tabla 4. ECM de puntos de apoyo.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Nombre	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
103	1.5043	0.113338	-0.428198	1.56815	0.334 (27)
105	-0.322891	0.167073	0.116511	0.381768	0.235 (35)
106	-1.48759	-0.802438	1.97744	2.60137	0.400 (19)
200	0.783249	0.604161	-0.299957	1.03367	0.410 (16)
201	-1.0007	-0.5424	0.80815	1.39596	0.365 (15)
301	-0.0734893	1.23044	-1.32469	1.80947	0.282 (9)
304	0.735997	-0.40072	-0.347557	0.907229	0.249 (12)
306	-0.140561	0.165536	0.0714802	0.228624	0.367 (8)
A102	0.103297	-0.450502	-0.577574	0.739739	0.320 (28)
Total	0.867468	0.600813	0.885977	1.37784	0.327

Tabla 5. Puntos de apoyo.
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Modelo digital de elevaciones

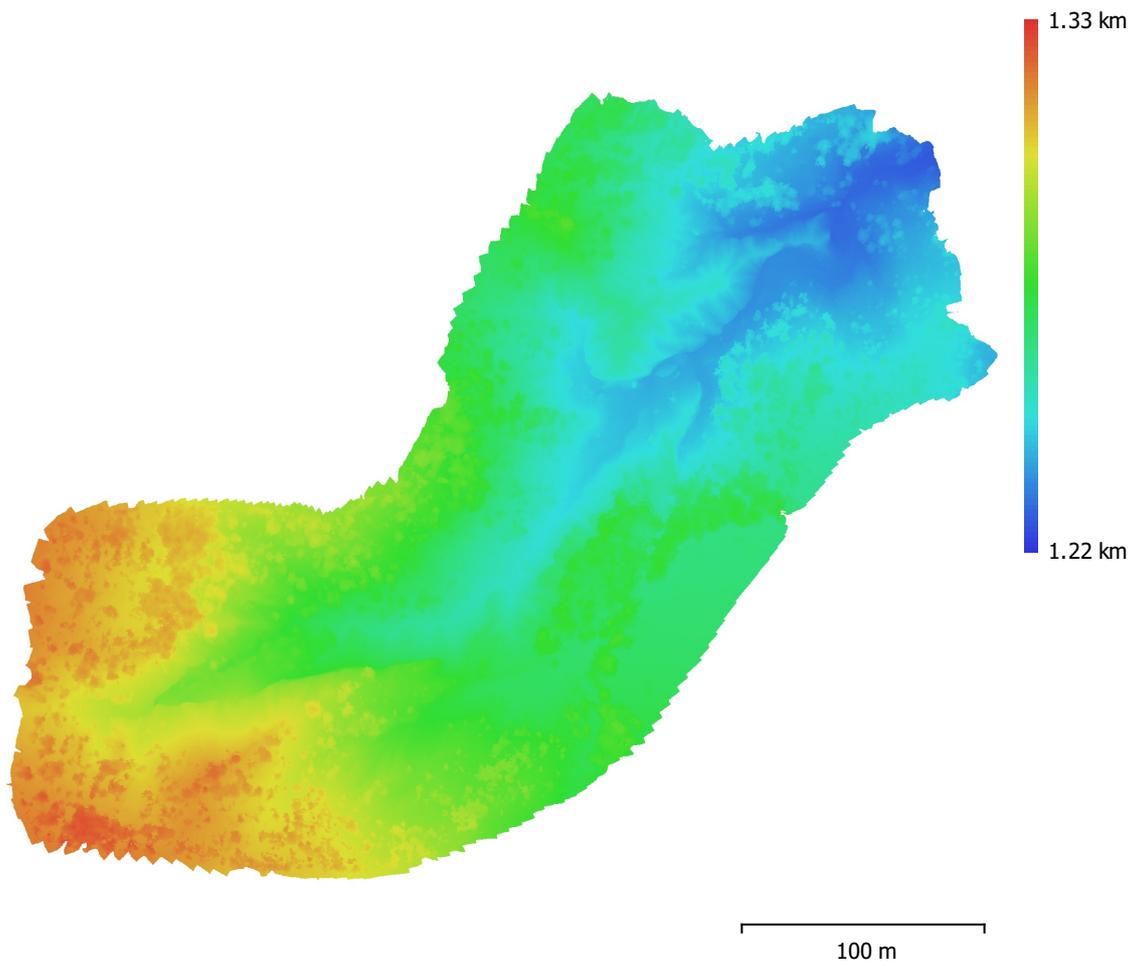


Fig. 5. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 4.14 cm/pix
Densidad de puntos: 583 puntos/m²

Parámetros de procesamiento

Generales

Cámaras	691
Cámaras orientadas	691
Marcadores	9
Sistema de coordenadas	ETRS89 / UTM zone 31N (EPSG::25831)
Ángulo de rotación	Omega, Phi, Kappa

Nube de puntos

Puntos	273,821 de 550,470
RMS error de reproyección	0.147927 (1.33111 pix)
Error de reproyección máximo	0.964041 (31.9219 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	7.46765 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos clave	No
Multiplicidad media de puntos de paso	5.41057

Parámetros de orientación

Precisión	Media
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	Origen
Puntos clave por foto	40,000
Puntos de paso por foto	4,000
Excluir puntos de paso inmóviles	Sí
Emparejamiento guiado	No
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	Sí
Tiempo búsqueda de emparejamientos	27 minutos 38 segundos
Uso de memoria durante el emparejamiento	2.62 GB
Tiempo de orientación	39 minutos 50 segundos
Uso de memoria durante el alineamiento	457.74 MB

Parámetros de optimización

Parámetros	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	No
Tiempo de optimización	10 minutos 24 segundos
Versión del programa	1.7.3.12136
Tamaño de archivo	53.38 MB

Mapas de profundidad

Número	691
--------	-----

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Media
Nivel de filtrado	Leve
Tiempo de procesamiento	18 horas 17 minutos
Uso de memoria	2.14 GB
Versión del programa	1.7.3.12136
Tamaño de archivo	1023.60 MB

Nube de puntos densa

Puntos	78,200,502
Colores de puntos	3 bandas, uint8

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Media
Nivel de filtrado	Leve
Tiempo de procesamiento	18 horas 17 minutos
Uso de memoria	2.14 GB

Parámetros de generación de la nube densa

Tiempo de procesamiento 1 hora 37 minutos
Uso de memoria 4.90 GB
Versión del programa 1.7.3.12136
Tamaño de archivo 1.09 GB

MDE

Tamaño 14,263 x 12,885
Sistema de coordenadas ETRS89 / UTM zone 31N (EPSG::25831)

Parámetros de reconstrucción

Origen de datos Nube de puntos densa
Interpolación Habilitada
Tiempo de procesamiento 3 minutos 7 segundos
Uso de memoria 306.84 MB
Versión del programa 1.7.3.12136
Tamaño de archivo 145.96 MB

Ortomosaico

Tamaño 39,531 x 31,603
Sistema de coordenadas ETRS89 / UTM zone 31N (EPSG::25831)
Colores 3 bandas, uint8

Parámetros de reconstrucción

Modo de mezcla Mosaico
Superficie MDE
Permitir el cierre de agujeros Sí
Habilitar el filtro de efecto fantasma No
Tiempo de procesamiento 2 horas 38 minutos
Uso de memoria 2.97 GB
Versión del programa 1.7.3.12136
Tamaño de archivo 11.15 GB

Sistema

Nombre del programa Agisoft Metashape Professional
Versión del programa 1.7.3 build 12136
OS Windows 64 bit
RAM 31.86 GB
CPU Intel(R) Core(TM) i7-7700HQ CPU @ 2.80GHz
GPU(s) Ninguno

Levantamiento fotogramétrico Vallcebre

3ª campaña de vuelo

19 de julio de 2021

20 August 2021



Datos del levantamiento

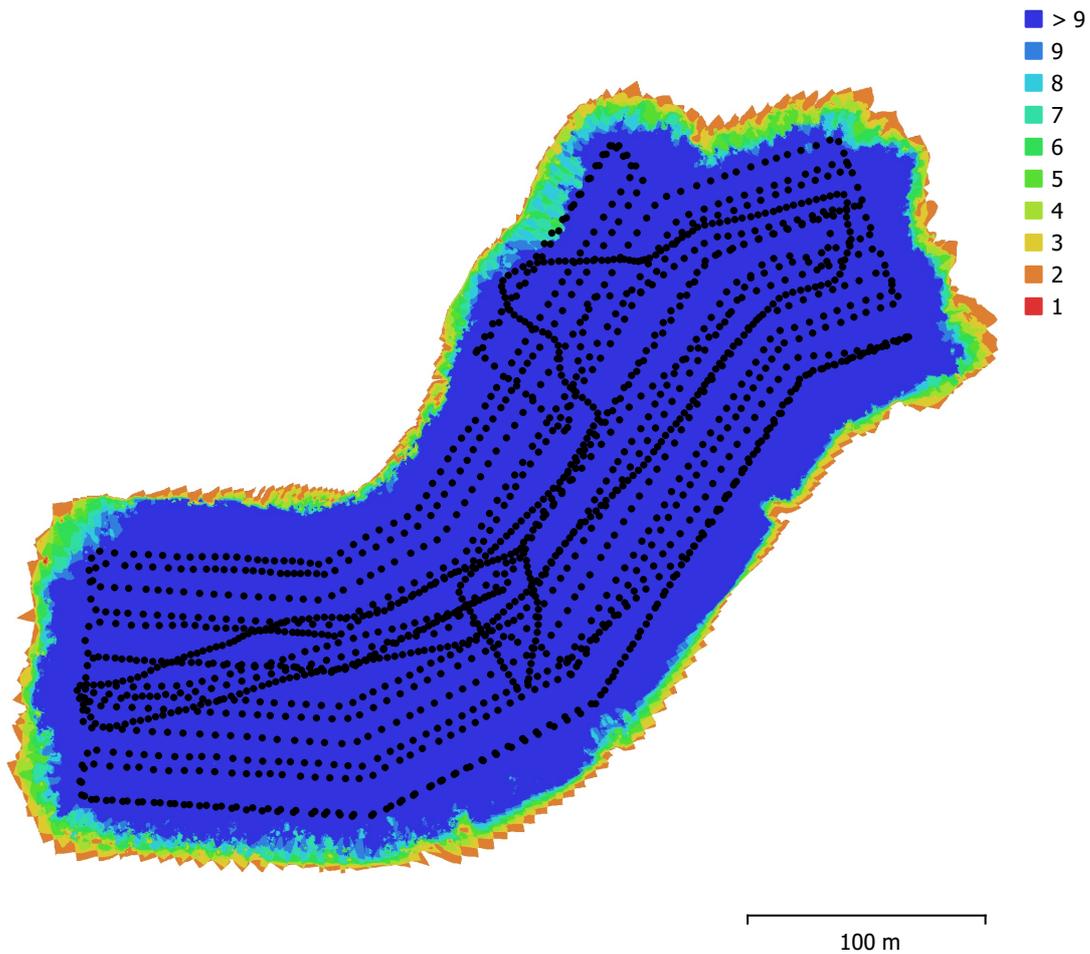


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 1,605

Altitud media de vuelo: 45.4 m

Resolución en terreno: 9.51 mm/pix

Área cubierta: 0.074 km²

Imágenes alineadas: 1,605

Puntos de paso: 209,781

Proyecciones: 1,079,429

Error de reproyección: 0.66 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrado
C6520, DJI MFT 15mm F1.7 ASPH (15mm)	5280 x 3956	15 mm	3.28 x 3.28 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Calibración de cámara

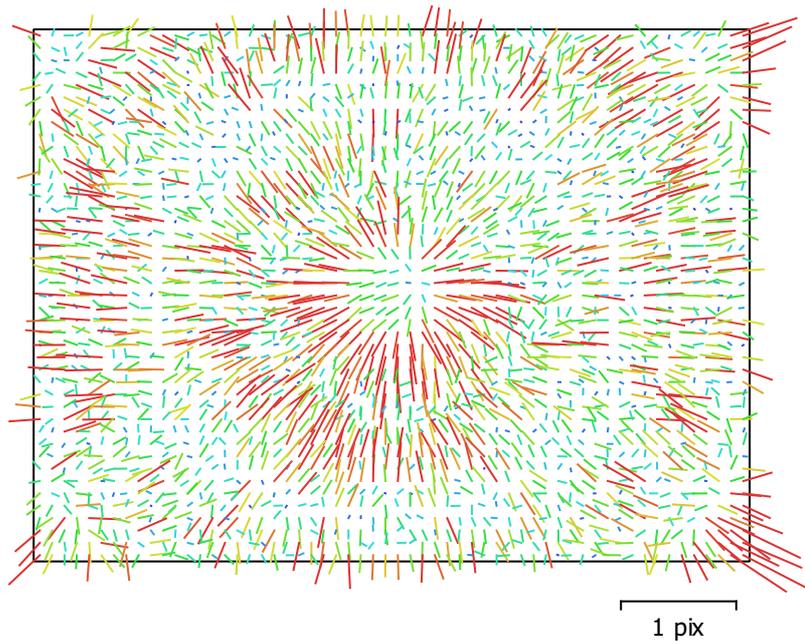


Fig. 2. Gráfico de residuales para FC6520, DJI MFT 15mm F1.7 ASPH (15mm).

FC6520, DJI MFT 15mm F1.7 ASPH (15mm)

1605 imágenes, rolling-shutter

Tipo
Cuadro

Resolución
5280 x 3956

Distancia focal
15 mm

Tamaño de píxel
3.28 x 3.28 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	4555.1	0.059	1.00	0.12	0.05	-0.18	0.20	-0.17	0.07	-0.03
Cx	116.133	0.039		1.00	0.01	0.01	-0.01	0.02	0.84	0.02
Cy	10.9806	0.034			1.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.03	0.79
K1	0.00297227	4.4e-05				1.00	-0.96	0.90	0.02	-0.00
K2	-0.00929903	0.00019					1.00	-0.98	-0.01	-0.00
K3	0.0154034	0.00024						1.00	0.03	0.00
P1	0.00967026	2.8e-06							1.00	0.02
P2	0.00111359	2.6e-06								1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Posiciones de cámaras



Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimadores de error.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY. Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Error en X (m)	Error en Y (m)	Error en Z (m)	Error en XY (m)	Error combinado (m)
16.1347	16.046	8.55506	22.7553	24.3103

Tabla 3. Errores medios de las posiciones de cámaras.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Puntos de control terrestre

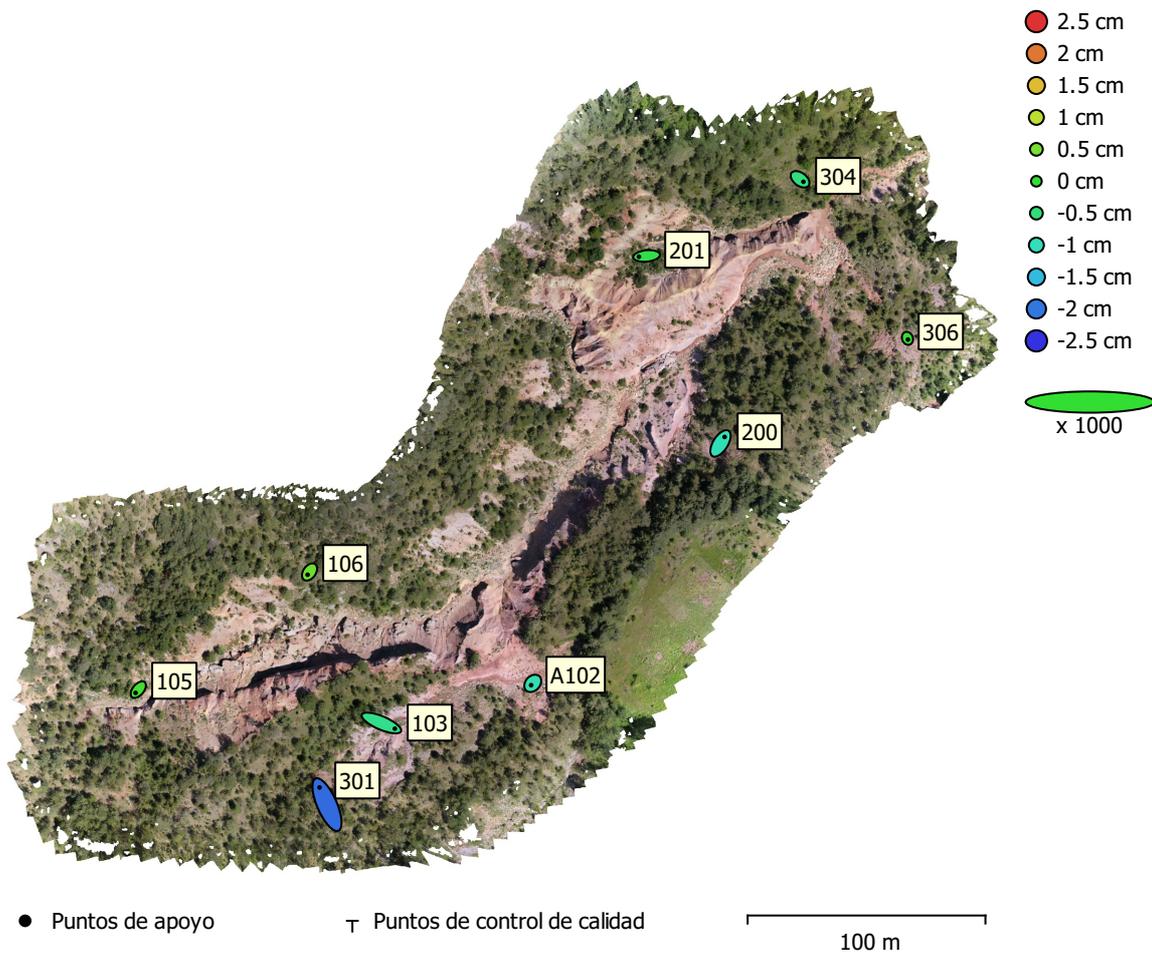


Fig. 4. Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.

Las posiciones estimadas de puntos de apoyo se marcan con puntos o cruces.

Número	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Error en XY (cm)	Total (cm)
9	0.514721	0.563913	0.886432	0.763503	1.16991

Tabla 4. ECM de puntos de apoyo.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Nombre	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
103	1.1286	-0.484808	-0.639841	1.38498	0.228 (58)
105	-0.23094	-0.274923	0.110903	0.375787	0.176 (78)
106	-0.16247	-0.233147	0.438203	0.52228	0.189 (55)
200	0.345891	0.548816	-0.957548	1.15661	0.231 (38)
201	-0.645237	-0.065727	-0.173381	0.67135	0.297 (35)
301	-0.629624	1.45355	-2.08904	2.6217	0.331 (18)
306	0.039231	-0.102006	0.0297739	0.113273	0.073 (22)
A102	-0.137328	-0.152819	-0.915583	0.938352	0.192 (76)
304	0.279605	-0.211975	-0.554908	0.656533	0.169 (50)
Total	0.514721	0.563913	0.886432	1.16991	0.209

Tabla 5. Puntos de apoyo.
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Modelo digital de elevaciones

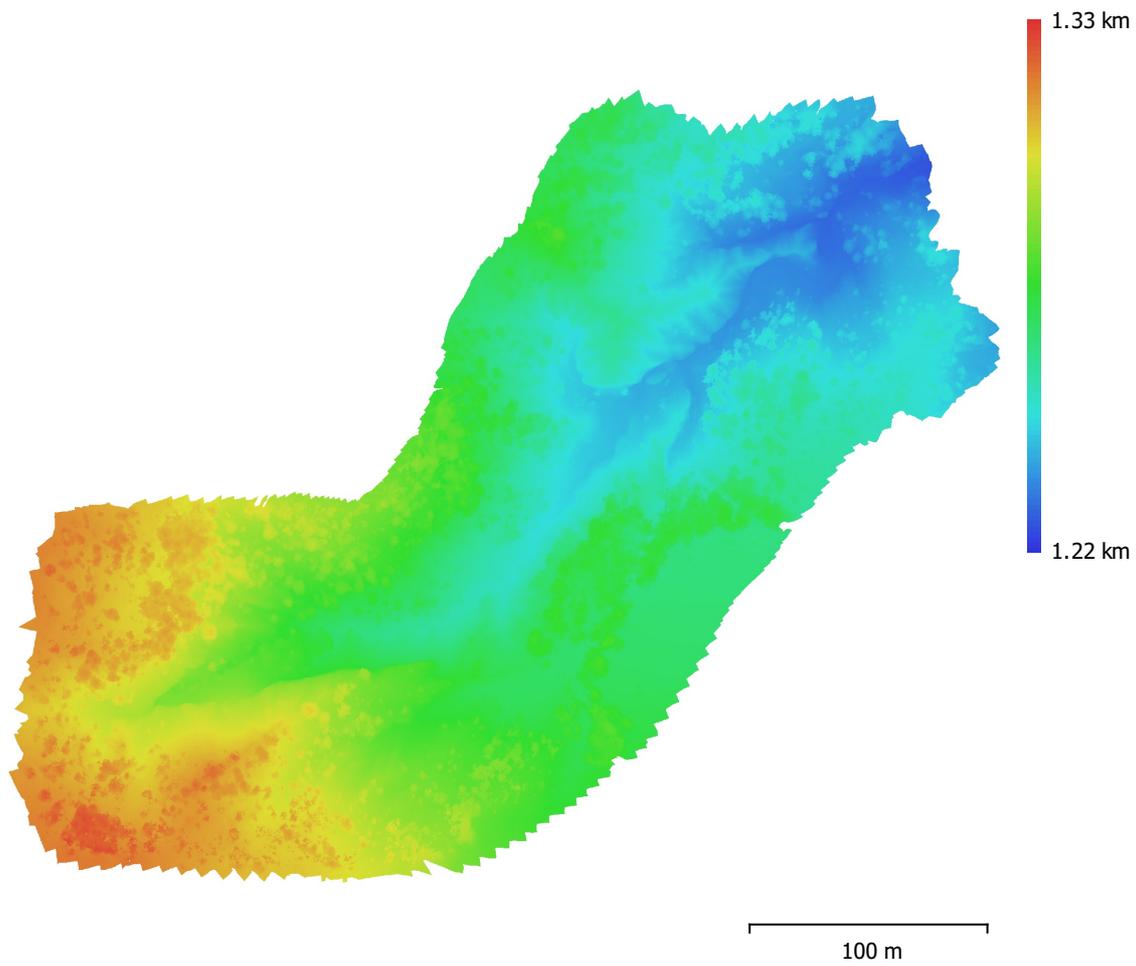


Fig. 5. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 3.8 cm/pix
Densidad de puntos: 692 puntos/m²

Parámetros de procesamiento

Generales

Cámaras	1605
Cámaras orientadas	1605
Marcadores	17
Sistema de coordenadas	ETRS89 / UTM zone 31N (EPSG::25831)
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo

Nube de puntos

Puntos	209,781 de 1,008,754
RMS error de reproyección	0.112473 (0.660189 pix)
Error de reproyección máximo	0.492105 (4.07703 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	5.6659 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos clave	3.43 GB
Multiplicidad media de puntos de paso	7.18415

Parámetros de orientación

Precisión	Media
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	Origen
Puntos clave por foto	40,000
Puntos de paso por foto	4,000
Excluir puntos de paso inmóviles	Sí
Emparejamiento guiado	Sí
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	No
Tiempo búsqueda de emparejamientos	2 horas 41 minutos
Uso de memoria durante el emparejamiento	1.35 GB
Tiempo de orientación	1 hora 16 minutos
Uso de memoria durante el alineamiento	2.18 GB

Parámetros de optimización

Parámetros	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	No
Tiempo de optimización	12 minutos 42 segundos
Versión del programa	1.7.3.12136
Tamaño de archivo	146.16 MB

Mapas de profundidad

Número	1604
--------	------

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Media
Nivel de filtrado	Leve
Tiempo de procesamiento	14 horas 51 minutos
Uso de memoria	2.61 GB
Versión del programa	1.7.3.12136
Tamaño de archivo	2.97 GB

Nube de puntos densa

Puntos	112,166,911
Colores de puntos	3 bandas, uint8

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Media
Nivel de filtrado	Leve
Tiempo de procesamiento	14 horas 51 minutos
Uso de memoria	2.61 GB

Parámetros de generación de la nube densa

Tiempo de procesamiento 10 horas 38 minutos
Uso de memoria 9.11 GB
Versión del programa 1.7.3.12136
Tamaño de archivo 1.57 GB

MDE

Tamaño 15,742 x 14,573
Sistema de coordenadas ETRS89 / UTM zone 31N (EPSG::25831)

Parámetros de reconstrucción

Origen de datos Nube de puntos densa
Interpolación Habilitada
Tiempo de procesamiento 4 minutos 6 segundos
Uso de memoria 475.61 MB
Versión del programa 1.7.3.12136
Tamaño de archivo 182.83 MB

Ortomosaico

Tamaño 43,908 x 35,356
Sistema de coordenadas ETRS89 / UTM zone 31N (EPSG::25831)
Colores 3 bandas, uint8

Parámetros de reconstrucción

Modo de mezcla Mosaico
Superficie MDE
Permitir el cierre de agujeros Sí
Habilitar el filtro de efecto fantasma No
Tiempo de procesamiento 5 horas 20 minutos
Uso de memoria 4.19 GB
Versión del programa 1.7.3.12136
Tamaño de archivo 39.55 GB

Sistema

Nombre del programa Agisoft Metashape Professional
Versión del programa 1.7.3 build 12136
OS Windows 64 bit
RAM 31.86 GB
CPU Intel(R) Core(TM) i7-7700HQ CPU @ 2.80GHz
GPU(s) Ninguno