



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
GEODÉSICA, CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

Aplicaciones de los Sistemas de Aeronaves no Tripuladas para el levantamiento cartográfico de la Ruta 6 y la Ruta 14, para proyectos de licitación pública internacional en Uruguay.

TRABAJO FIN DE MÁSTER EN GEOMÁTICA Y GEOINFORMACIÓN

Alumno: **Lluís Jornet Martínez**

Tutor: **Dr. Israel Quintanilla García.**

Valencia, Julio 2018

RESUMEN

El objeto del presente trabajo es la realización del levantamiento inicial por parte de la empresa “Grupo Nova Cartographia”, contratada por la empresa “Rover Alcisa” para la licitación de diseño construcción y mantenimiento durante 20 años de la Ruta 6 y la Ruta 14 en Uruguay. El levantamiento se ha realizado mediante tecnología Dron, partiendo de una red de bases calculadas en post-proceso a lo largo de toda la traza, para poder marcar los puntos de apoyo.

RESUM

L’objectiu d’aquest projecte és la realització de l’alçament inicial per part de l’empresa “Grupo Nova Cartographia”, contractada per la empresa “Rover Alcisa” per a la licitació del disseny, construcció y manteniment durant 20 anys de la Ruta 6 y la Ruta 14 a l’Uruguai. L’alçament s’ha realitzat amb tecnologia dron, partint de una red de bases calculades en post-procés al llarg de tota la traça, per a poder marcar els punts de control.

ABSTRACT

The purpose of this work is to carry out the initial survey by the company “Grupo Nova Cartography”, contracted by the company “Rover Alcisa” for the design construction and maintenance tender for 20 years of Ruta 6 and Ruta 14 in Uruguay. The survey has been carried out using the Drone technology, based on a network of bases calculated in post-processing along the entire trace, to mark the control points.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1 URUGUAY.....	9
1.2 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	10
1.2.1 Primera zona, Sarandí del Yi – Ruta 8.....	10
1.2.2 Segunda zona, Jose Pedro Varela – Velázquez.....	12
1.2.3 Segundo proyecto en Ruta 6.	13
2. EQUIPOS DE TRABAJO.....	15
2.1 RECURSOS UTILIZADOS.....	15
2.1.1 Material técnico.....	15
2.1.2 Humano.....	16
2.1.3 Material.....	17
2.1.4 Software.....	17
2.2 DIAGRAMA PERT.....	17
2.2.1 Primer proyecto.....	17
2.2.2 Segundo proyecto.....	18
3. ESTUDIO DE LA ZONA DE TRABAJO.....	19
3.1 COBERTURA DE INTERNET MÓVIL.....	19
3.2 RED DE ESTACIONES PERMANENTES.....	20
3.3 SISTEMA DE REFERENCIA.....	21
3.3.1 Urugeoide-2007.....	21
3.4 LEGISLACIÓN SOBRE DRONES.....	22
4. RED DE BASES.....	23
4.1 DISEÑO Y OBSERVACIÓN.....	23
4.1.1 Selección de puntos.....	23

4.1.2	Tiempos de observación.....	23
4.1.3	Organización	24
4.2	CÁLCULO Y AJUSTE.....	26
4.2.1	Resumen de resultados del ajuste	26
4.3	LISTADO DE BASES.	29
4.4	BASES DEL SEGUNO PROYECTO.	29
5.	PUNTOS DE APOYO.....	31
5.1	PLANIFICACIÓN.	31
5.1.1	Distribución.....	31
5.1.2	Tipo de materialización de los puntos.....	31
5.2	METODOLOGÍA DE LEVANTAMIENTO.	33
5.2.1	Equipos utilizados.....	33
5.2.2	Configuración de equipos.....	33
5.2.3	Rutina de trabajo de la primera zona.....	36
5.2.4	Rutina de trabajo de zona 2 y Ruta 6.	36
6.	VUELOS DRON.	39
6.1	EQUIPOS UTILIZADOS.	39
6.1.1	Dron DJI Phantom 4 PRO.....	39
6.1.2	Dron DJI INSPIRE 2	39
6.2	PLAN DE VUELO.	40
6.2.1	Planificación del trabajo.	40
6.2.2	Aplicación Map pilot for DJI.....	40
6.3	PROCEDIMIENTO DE TRABAJO.	42
6.4	PRODUCTIVIDAD.....	44
6.5	PROBLEMAS.	44

6.5.1	Problemas meteorológicos.....	44
6.5.2	Zonas boscosas	45
6.5.3	Puntos de apoyo.....	46
7.	PROCESADO PARA LA OBTENCION DEL PRODUCTO FINAL.....	49
7.1	ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN.	49
7.1.1	Protocolos de organización.	49
7.1.2	Script Python para renombrar las fotos.	50
7.2	FOTOGRAMETRIA.....	51
7.3	AGISOFT PHOTOSCAN PROFESIONAL.	52
7.3.1	Organización para los trabajos de gabinete.....	52
7.3.2	Filtrado de calidad en las imágenes.	54
7.3.3	Metodología para conseguir una buena unión entre las nubes de puntos de cada “chunk”.....	55
7.3.4	Preprocesado de las fotografías.....	56
7.4	ORIENTACIÓN DE LAS CÁMARAS.	59
7.4.1	Orientación automática de Photoscan.....	59
7.4.2	Orientación absoluta del modelo.....	63
7.4.3	Filtrado del modelo.	63
7.5	MARCADORES.....	64
7.5.1	Importación de la información	64
7.5.2	Colocación de los marcadores.....	66
7.6	NUBE DE PUNTOS DENSA.	68
7.7	MODELO DIGITAL DEL TERRENO CON SOFTWARE LIBRE.	70
7.7.1	Filtrado de puntos.	70
7.7.1	Generación del modelo digital del terreno.	74

7.7.1	Generación de las curvas de nivel.	75
7.8	MODELO DIGITAL DEL TERRENO CON SOFTWARE DE PAGO.	76
7.8.1	Generación del modelo digital del terreno.	77
7.8.2	Generación de las curvas de nivel.	77
7.9	OBTENCIÓN DE LA ORTOFOTO.	78
7.9.1	DEM.	78
7.9.2	Ortofoto.	79
8.	CONCLUSIÓN.	81
	ACRONIMOS.	83
	BIBLIOGRAFÍA.	84
	PAGINAS WEB.	84

Fig. 1: Situación de Uruguay. (Fuente: Wikipedia)	9
Fig. 2: Primera zona de actuación. (Fuente: Google Earth).....	10
Fig. 3: Ejemplo 1 del estado de la Ruta. (Fuente: Google Street View)	11
Fig. 4: Ejemplo 2 del estado de la Ruta. (Fuente: Google Street View)	11
Fig. 5: Ejemplo 3 del estado de la Ruta. (Fuente: Google Street View)	11
Fig. 6: Segunda zona de actuación. (Fuente: Google Earth).....	12
Fig. 7: Ejemplo del estado de la Ruta. (Fuente: Google Street View)	12
Fig. 8: Tercera zona de actuación. (Fuente: Google Earth)	13
Fig. 9: Ejemplo 1 del estado de la Ruta. (Fuente: Google Street View)	13
Fig. 10: Ejemplo 2 del estado de la Ruta. (Fuente: Google Street View)	14
Fig. 11 Ejemplo 3 del estado de la Ruta. (Fuente: Google Street View).....	14
Fig. 12: Mapa de cobertura de datos móviles de Uruguay. (Fuente: Antel.uy)	19
Fig. 13 Mapa de cobertura de la Ruta 14. (Fuente: Antel.uy)	19
Fig. 14: Mapa de cobertura de la Ruta 6. (Fuente: Antel.uy)	20
Fig. 15: Estaciones permanentes de la red REGNA-ROU. (Fuente: Servicio Geógrafo Militar de Uruguay)	20
Fig. 16: Ejemplo del software Urugeoide.	21
Fig. 17: Gráfico explicativo de las distintas alturas.	21
Fig. 18: Red de bases materializadas a lo largo de la Ruta 14.....	24
Fig. 19: Reseñas de las estaciones permanentes utilizadas. (Fuente: SGM).....	25
Fig. 20: Metodología para la observación de la red de bases.	25
Fig. 21 Grafico sobre la metodología de toma de puntos de apoyo.	31
Fig. 22 Ejemplos para la materialización de los puntos de apoyo. (Fuente: Google.es) 32	
Fig. 23 Ejemplo de marcación de puntos de apoyo.	32
Fig. 24: Interfaz de navegar móvil para la configuración del receptor R10.	33
Fig. 25: Creación del Caster desde el navegador web.....	34
Fig. 26: Configuración de la antena desde el navegador web.....	34
Fig. 27 Configuración de la estación de referencia.	35
Fig. 28 Conexión del Caster para la emisión de correcciones diferenciales.	35
Fig. 29: Cámara principal del dron DJI Phantom 4 Pro. (Fuente: dji.com)	39

Fig. 30: Cámaras principal y secundaria del dron DJI INSPIRE 2. (Fuente: dji.com)	40
Fig. 31 Icono de la aplicación.....	40
Fig. 32: Ejemplo de misión de vuelo lineal.	41
Fig. 33: Ejemplo de misión de vuelo de área.....	41
Fig. 34: Ejemplo del perfil de terreno calculado por la aplicación.	42
Fig. 35: Visualización de KML de la zona 1 de la Ruta 14.	42
Fig. 36: Ejemplo de misión lineal sobre KML.....	43
Fig. 37: Ejemplo de los parámetros de la cámara.	44
Fig. 38: Ejemplo de ortofoto afectada por cambios de luminosidad.....	45
Fig. 39: KML sobre zona boscosa.....	46
Fig. 40: Ejemplo de misión de vuelo para zonas boscosas.....	46
Fig. 41: Logotipo del software. (Fuente: Agisoft.com)	52
Fig. 42: Visualización de las nubes dispersas del tramo 1 de la Ruta 14 y puntos de apoyo.	53
Fig. 43: Visualización de las nubes dispersas del tramo 2 de la Ruta 14 y puntos de apoyo.	53
Fig. 44: Visualización de las nubes dispersas de la Ruta 6 y puntos de apoyo.....	54
Fig. 45 Opción para estimar la calidad de las imágenes.....	54
Fig. 46 Ejemplo de calidad de varias imágenes.	55
Fig. 47 Ejemplo de solape entre planes de vuelos.	55
Fig. 48: Ejemplos de solapes entre bloques.	55
Fig. 49: Carga de los scripts de Python al menú de Photoscan.	56
Fig. 50: Ejecutar el script para obtener la altitud relativa.	56
Fig. 51 Script para introducir la altitud de referencia.	58
Fig. 52: Gráfico de puntos homólogos.....	59
Fig. 53: Parámetros para la orientación de las fotografías.	60
Fig. 54: Ejemplo de nube de puntos dispersa.	61
Fig. 55: Orientación de las fotografías para cada bloque.....	62
Fig. 56: Procesado por lotes	62
Fig. 57: Cambio del sistema de coordenadas.	63

Fig. 58 Selección gradual de puntos por número de imágenes.	64
Fig. 59: Resultado después de eliminar la selección gradual.	64
Fig. 60: Ejemplo de archivo de texto con los puntos de apoyo.....	65
Fig. 61: Importar los puntos de apoyo a Photoscan.....	65
Fig. 62: Creación y visualización de marcadores.	66
Fig. 63: Filtrar fotos por marcador.	66
Fig. 64: Ejemplo de distancias entre marcador y punto de apoyo materializado sin ajustar.....	67
Fig. 65: Ejemplo de marcador después de haberlo colocado en 3 fotografías.	67
Fig. 66: Optimización de la posición de las cámaras.	68
Fig. 67: Errores de pixel y en centímetros de la posición de los marcadores.	68
Fig. 68: Parámetros para la creación de la nube de puntos densa.	69
Fig. 69: Ejemplo de nube de puntos densa.	69
Fig. 70: Ejemplo de procesado con Fusion en la consola del sistema.....	71
Fig. 71: Ejemplo de resultado al aplicar el primer filtrado.	72
Fig. 72: Ejemplo de resultado al aplicar el segundo filtrado.	72
Fig. 73: Ejemplo de resultado al aplicar el tercer filtrado.	73
Fig. 74: Ejemplo de resultado al aplicar el último filtrado.	73
Fig. 75: Eliminación de outliers.....	74
Fig. 76 Ejemplo de resultado final de MDT.	74
Fig. 77: Ejemplo de mapa raster de elevaciones.	75
Fig. 78: Ejemplo final de curvas de nivel a partir del MDT.....	75
Fig. 79: Ejemplo de selección automática de puntos del terreno.....	76
Fig. 80 Ejemplo de resultado final de puntos del terreno.....	77
Fig. 81 Ejemplo de resultado final de MDT.	77
Fig. 82: Ejemplo de resultado final de curvas de nivel a partir del MDT.....	78
Fig. 83: Parámetros para la creación del modelo digital de elevaciones.....	78
Fig. 84: Parámetros para la creación del ortomosaico.....	79
Fig. 85: Ejemplo final de ortofoto.....	79

1. INTRODUCCIÓN.

El presente proyecto lo he realizado durante mis prácticas en la empresa Grupo Nova Cartographia S.L. juntamente con la empresa Rover Alcisa S.A. La finalidad de este ha sido el levantamiento inicial mediante dron de la Ruta 14 y la Ruta 6 con el que se realizaran los diseños de nuevos proyectos de ejecución y mantenimiento para participar en la licitación internacional PPP (Participación Público-Privada) propuesta por el Gobierno de Uruguay.

1.1 URUGUAY.

Uruguay es un país de América del Sur, situado en la parte oriental del Cono sur americano. Limita al noreste con Brasil, al oeste con Argentina y al sur con el Río de la Plata. El territorio uruguayo tiene una extensión de 176.000 km² en el cual, ríos, arroyos y lagunas forman una densa red hidrográfica dividida por leves ondulaciones en las que el cerro más alto mide 513 metros.

La población de este país es de unos 3.3 millones de los cuales 2 millones viven en el área metropolitana de la capital, Montevideo.



Fig. 1: Situación de Uruguay. (Fuente: Wikipedia)

La red vial nacional cuenta con 8696 kilómetros de rutas de dos o más carriles de los cuales hay 3000 kilómetros de capa asfáltica, 4200 kilómetros de tratamiento bituminoso y 1500 kilómetros con firme de tosca o hormigón que dificulta mucho el tránsito.

1.2 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.

El primer proyecto se desarrolla entre los departamentos de Florida, Lavalleja y Rocha siguiendo la ruta 14 y un último tramo por la ruta 15. En el cual, podemos distinguir 2 zonas. La zona que va del distrito de Sarandí del Yi hasta empalmar con la Ruta 8 zona que discurre desde José Pedro Varela hasta Velázquez.

El segundo proyecto se desarrolla entre los departamentos de Montevideo, Canelones y Florida siguiendo la Ruta 6.

1.2.1 Primera zona, Sarandí del Yi – Ruta 8.

Esta primera zona consta de 110 kilómetros los cuales discurren desde Sarandí del Yi pasando por José Batlle y Ordoñez y por Zapicán hasta empalmar con la Ruta 8.

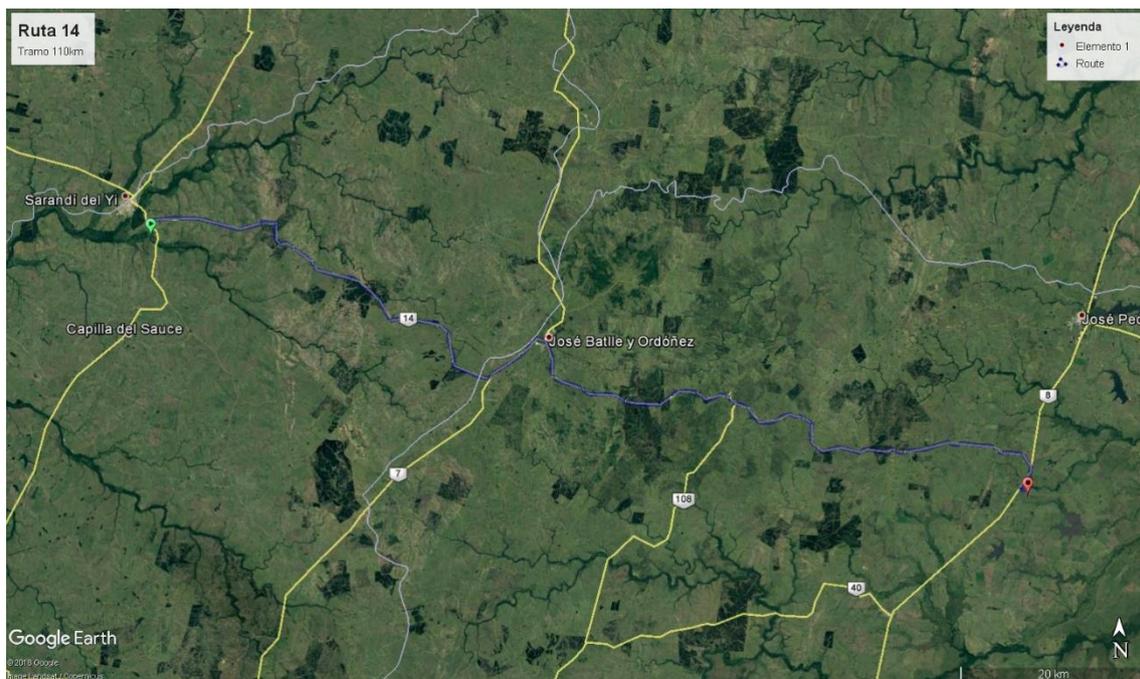


Fig. 2: Primera zona de actuación. (Fuente: Google Earth)

Este tramo es el que peor estado tiene para el tránsito de vehículos ya que tiene dos zonas grandes en las cuales el firme es de tosca y el pavimento es muy irregular. También hay otra zona en la cual el firme está compuesto de mezcla bituminosa que es mejor que la tosca, pero sigue estando en mal estado para el tránsito. Además este tramo cruza varias veces con una línea ferroviaria al mismo nivel.

- De Sarandí del Yí hasta José Batlle y Ordoñez.



Fig. 3: Ejemplo 1 del estado de la Ruta. (Fuente: Google Street View)

- De José Batlle y Ordoñez hasta Zapicán.



Fig. 4: Ejemplo 2 del estado de la Ruta. (Fuente: Google Street View)

- De Zapicán hasta el empalme con la Ruta 8.



Fig. 5: Ejemplo 3 del estado de la Ruta. (Fuente: Google Street View)

Los firmes de tosca, el Gobierno de Uruguay los repara mediante una máquina motoniveladora que va rascando el pavimento y así reparte el material rascado intentando minimizar las irregularidades del pavimento.

1.2.2 Segunda zona, Jose Pedro Varela – Velázquez.

Esta segunda zona consta de 77 kilómetros que discurren desde José Pedro Varela, pasando por Lascano, hasta el empalme con la Ruta 13 en la entrada a Velázquez.

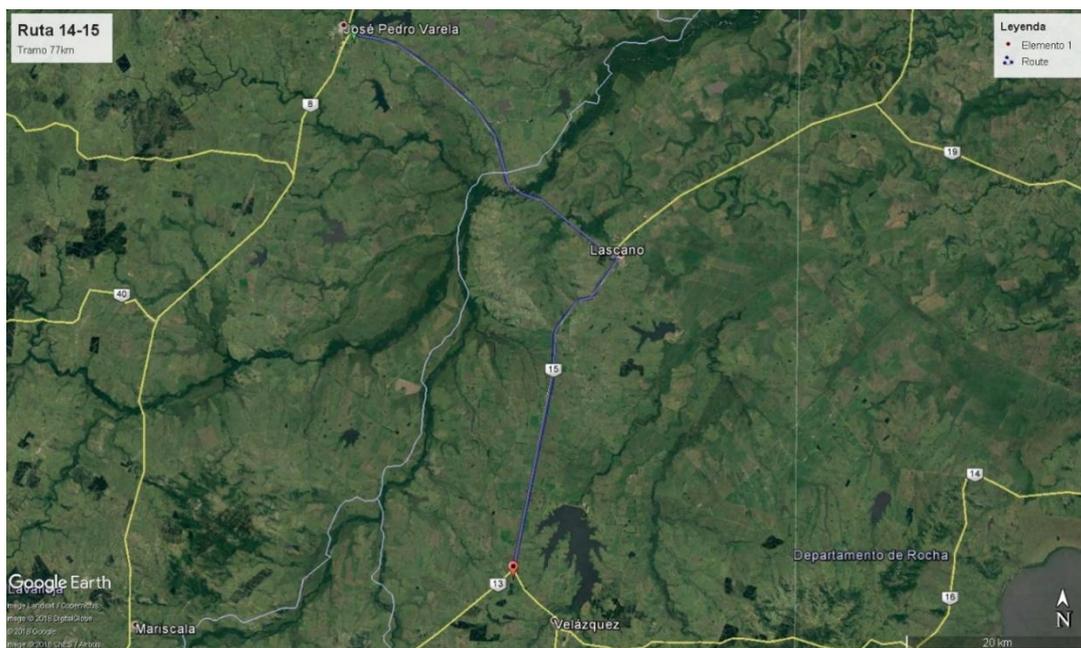


Fig. 6: Segunda zona de actuación. (Fuente: Google Earth)

Este tramo tiene unas mejores condiciones para el tránsito ya que el firme está hecho de capa asfáltica y en algunos tramos está pintada la línea central de división de carriles. Pero, también es demasiado estrecha, está llena de baches y mal señalizada.



Fig. 7: Ejemplo del estado de la Ruta. (Fuente: Google Street View)

1.2.3 Segundo proyecto en Ruta 6.

Este segundo proyecto consta de 80 kilómetros que discurren por Toledo, Sauce, Santa Rosa, San Bautista, Castellanos, San Ramón hasta el empalme con la Ruta 12.



Fig. 8: Tercera zona de actuación. (Fuente: Google Earth)

La Ruta 6 tiene un firme de capa asfáltica. De sur a norte va empeorando el estado de la ruta y hay varios puentes por los que no pueden pasar dos vehículos a la vez.



Fig. 9: Ejemplo 1 del estado de la Ruta. (Fuente: Google Street View)



Fig. 10: Ejemplo 2 del estado de la Ruta. (Fuente: Google Street View)



Fig. 11 Ejemplo 3 del estado de la Ruta. (Fuente: Google Street View)

2. EQUIPOS DE TRABAJO.

2.1 RECURSOS UTILIZADOS.

2.1.1 Material técnico.

Nombre	Fotografía de ejemplo
<p>GPS Leica GS16 Captivate.</p>	
<p>Receptor GPS Trimble R10</p>	
<p>Receptor GPS Rover Leica 1200</p>	

<p>Receptor GPS Base Leica 1200</p>	 A green and black Leica 1200 GPS Base Receiver mounted on a yellow tripod. The device has a small screen and several buttons on its front panel.
<p>Dron DJI Phantom 4 Pro</p>	 A white DJI Phantom 4 Pro drone with four propellers. The front two propellers have red lights, and the rear two have green lights. A camera is mounted underneath.
<p>Dron DJI INSPIRE 2.</p>	 A black DJI Inspire 2 drone with a large camera mounted underneath. It has four propellers and red lights on the front.
<p>2 iPhone 7 Plus.</p>	 A black iPhone 7 Plus smartphone shown vertically. The screen displays a red heart icon.

2.1.2 Humano.

- Tres Ingenieros en Geomática y Topografía.
- Un conductor

2.1.3 Material.

- Tres vehículos
- 2 ordenadores de altas prestaciones.

2.1.4 Software.

- Leica Infinity
- Leica Geoffice
- Map Pilot for DJI
- Agisoft Photoscan Pro
- CloudCompare
- FUSION
- 3DSurvey
- GlobalMapper

2.2 DIAGRAMA PERT.

2.2.1 Primer proyecto.

Como en todo trabajo topográfico, se requiere una buena planificación para optimizar los tiempos y los costes, garantizando las precisiones exigidas.

El primer proyecto se realizó en 17 días entre el 7 de noviembre de 2017 hasta el 23 de noviembre de 2017.

A partir de un diagrama PERT, se muestra la programación a priori de las tareas:

	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Visita a la zona	Red															
Visita a la zona	Verde															
Visita a la zona	Azul															
Estatico para Red de bases		Verde	Verde													
Estatico para Red de bases		Verde	Verde													
Estatico para Red de bases		Verde	Verde													
Cálculo y ajuste de red de bases				Verde												
Puntos de apoyo				Verde												
Puntos de apoyo				Verde												
Vuelos dron						Verde										
Vuelos dron						Verde										
Cálculo nube puntos						Verde										
Cálculo nube puntos						Verde										

2.2.2 Segundo proyecto.

El segundo proyecto se realizó en 4 días, entre el 12 de marzo y el 15 de marzo de 2018.

A partir de un diagrama PERT, se muestra la programación a priori de las tareas:

	10	11	12	13	14	15
Pintar puntos	■	■				
Puntos de apoyo			■	■		
Puntos de apoyo			■	■		
Vuelos dron			■	■	■	
Vuelos dron					■	
Levantamiento ODT						■
Levantamiento ODT						■
Revisión de vuelos						■

3. ESTUDIO DE LA ZONA DE TRABAJO.

Una vez pensado como se va a realizar el proyecto y su cronología, lo siguiente es estudiar la zona para saber si va a ser factible o no la metodología empleada o si se van a tener impedimentos en la realización de los diversos trabajos.

3.1 COBERTURA DE INTERNET MÓVIL.

La primera herramienta de trabajo que se necesita es la cobertura móvil de internet, ya sea 2G, 3G o 4G. Ya que necesitamos de ella para comunicarnos, compartir información y además para recibir correcciones GPS.

Para ello, se descargan los mapas de cobertura que ofrecen las compañías telefónicas, ANTEL en este caso:

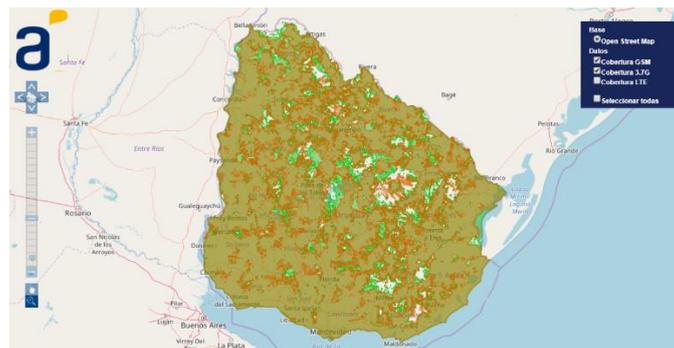


Fig. 12: Mapa de cobertura de datos móviles de Uruguay. (Fuente: Antel.uy)

Como se ve en la anterior imagen, prácticamente todo el país está cubierto por cobertura 2G y 3G y concretamente en nuestra zona podremos trabajar sin problemas.

- Primer proyecto:

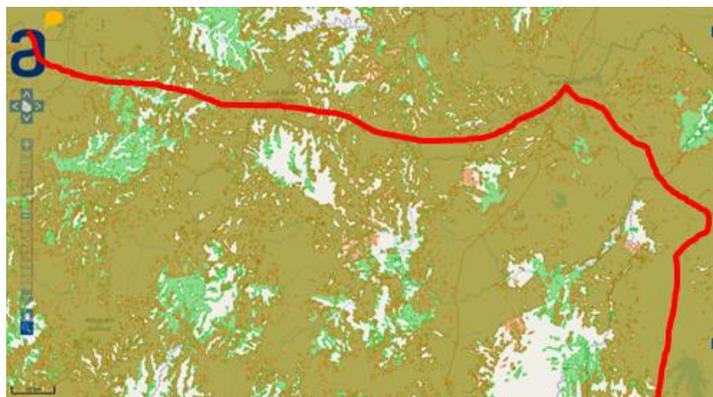


Fig. 13 Mapa de cobertura de la Ruta 14. (Fuente: Antel.uy)

- Segundo proyecto:

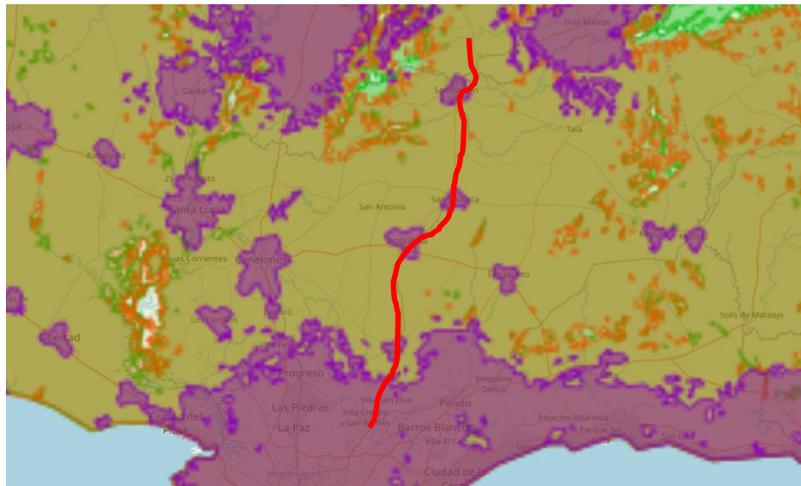


Fig. 14: Mapa de cobertura de la Ruta 6. (Fuente: Antel.uy)

3.2 RED DE ESTACIONES PERMANENTES.

En Uruguay existe una red de estaciones permanentes que está gestionada por el Servicio Geográfico Militar (SGM) y su servicio es libre y sin coste.

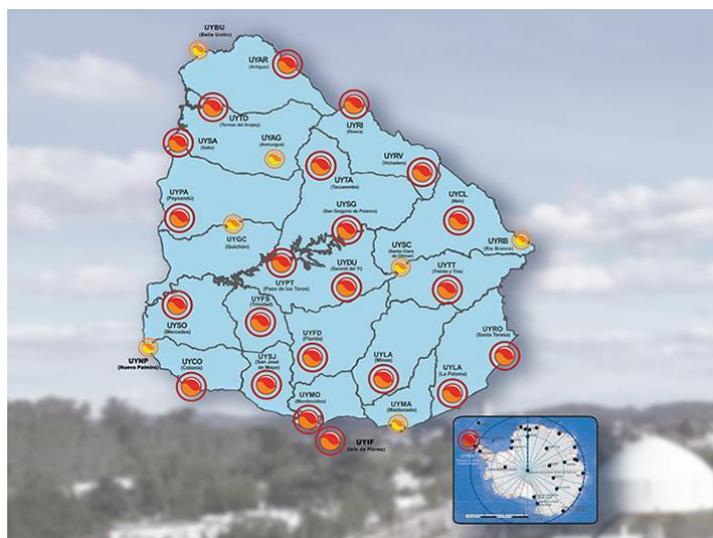


Fig. 15: Estaciones permanentes de la red REGNA-ROU. (Fuente: Servicio Geográfico Militar de Uruguay)

Esta red llamada REGNA-ROU, consta de 29 bases repartidas por todo el territorio nacional, con las que se obtiene un servicio de Corrección Diferencial en Tiempo Real (DGNSS/RTK) y Post Proceso (DGNSS/PP).

3.3 SISTEMA DE REFERENCIA.

El siguiente proyecto se ha realizado referido al Datum SIRGAS definido por el elipsoide GRS80 y se ha proyectado en UTM Huso 21 Sur. Para obtener las cotas ortométricas se ha utilizado la aplicación proporcionada por el SGM.

3.3.1 Urugeoide-2007



Fig. 16: Ejemplo del software Urugeoide.

Esta aplicación genera un modelo geoidal a partir de datos del terreno, batimetrías, gravimetrías, anomalías de aire-libre y Bouguer y un modelo geopotencial.

Para obtener las ondulaciones de los datos tomados en campo, se debe generar un fichero de coordenadas geocéntricas y la aplicación te generara la ondulación para cada punto. Después calculamos la cota ortométrica de cada uno de estos mediante la fórmula siguiente:

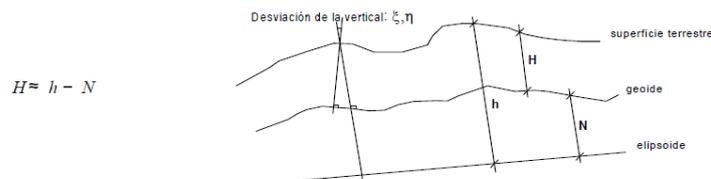


Fig. 17: Gráfico explicativo de las distintas alturas.

3.4 LEGISLACIÓN SOBRE DRONES.

La DINACIA (Dirección General de Aviación Civil e Infraestructura Aeronáutica) es la autoridad aeronáutica a que refiere el Código Aeronáutico y las demás normas aplicables en la materia en Uruguay.

El 4 de Setiembre de 2014 se publicó en el diario oficial del gobierno el ordenamiento básico de DRONES y UAV.

2. Para todos los dispositivos se prohíbe salvo autorización expresa de la Autoridad Aeronáutica:

c. el vuelo en áreas prohibidas o restringidas.

d. el vuelo sobre áreas pobladas o concentraciones de personas.

e. el vuelo en zonas de tráfico de aeropuertos y aeródromos

6. Dispositivos Aéreos Operados a Distancia Menores, Medianos y Sistema de Aeronaves Pilotada a Distancia (RPAS) utilizados en actividades remuneradas.

a. La utilización de Dispositivos Aéreos Operados a Distancia Menores, Medianos o de Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS), en actividades remuneradas de cualquier tipo se consideran incluidas en lo dispuesto en el Art. 122 “Trabajos Aéreos” del Código Aeronáutico Uruguayo, debiéndose dar cumplimiento a los Decretos Nros 39/977 de 31 de enero de 1977 y 314/994 de 5 de julio de 1994.

b. El interesado deberá contar con seguro de responsabilidad civil o seguro aeronáutico en el caso que se trate de aeronaves.

c. En este tipo de operación, incluso cuando la misma se realice únicamente con Dispositivos Aéreos Operados a Distancia - Menores, los operadores deberán contar con el “Permiso de Operador de Dispositivo Aéreo Operado a Distancia”; sin perjuicio de la correspondiente licencia aeronáutica para el caso de Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS).

d. Hasta tanto se establezca la reglamentación definitiva y los procesos de certificación correspondientes, la Dirección de Seguridad Operacional determinará para cada caso concreto, las condiciones específicas de operación que garanticen niveles aceptables de Seguridad Operacional, las que serán debidamente notificadas al interesado previo al efectivo inicio de las actividades.

4. RED DE BASES.

Una vez diseñado el nuevo trazado del tramo 1 de la Ruta 14, se diseña una red de bases que cubra toda la zona de actuación.

4.1 DISEÑO Y OBSERVACIÓN.

4.1.1 Selección de puntos

Para ello se sitúan los puntos en una cartografía a escala adecuada de proyecto intentando que cumplan las siguientes características:

- Buena visibilidad sobre el horizonte, al menos por encima de 15º
- Fácil acceso, a poder ser con vehículo
- Buena cobertura de internet móvil
- No existir interferencias electromagnéticas
- Si ha de ser revisado, preferiblemente en suelo público

4.1.2 Tiempos de observación

Teniendo en cuenta que el factor que más influye en los tiempos de observación es la longitud de las líneas a medir ya que a mayor longitud es necesario un mayor número de observables para fijar correctamente las ambigüedades.

Según el trazado diseñado se observarán y materializarán 20 bases ya que cada una de ellas debe cubrir una zona de radio igual a 5 kilómetros para tener suficiente señal en la medición de todos los puntos de apoyo.

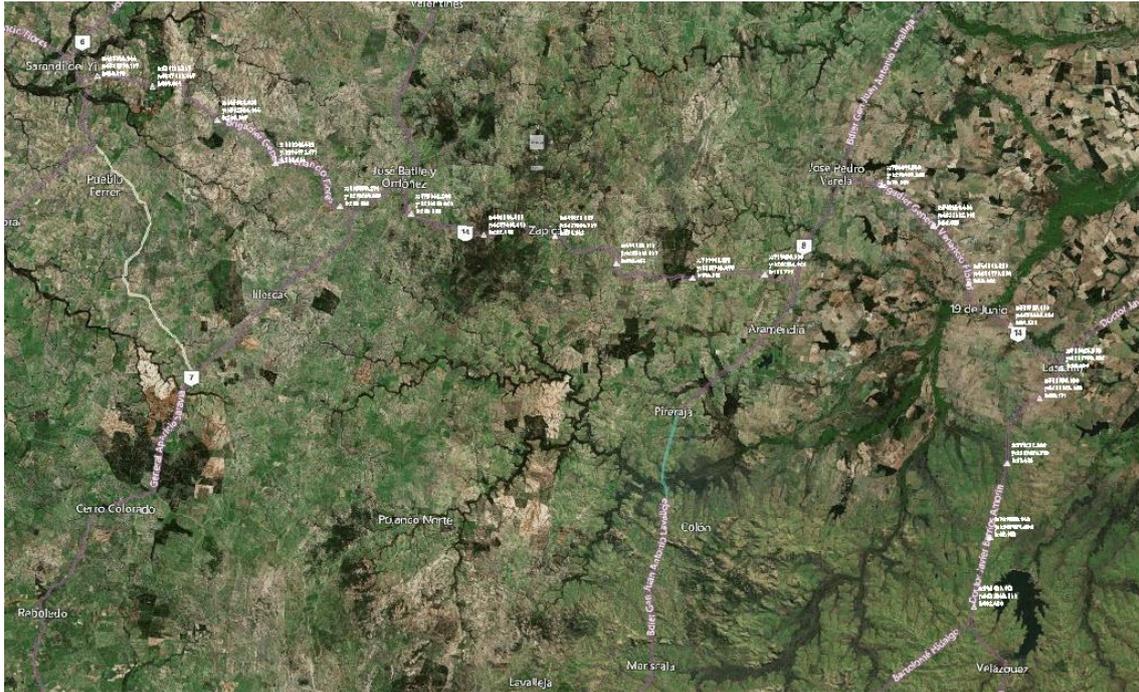


Fig. 18: Red de bases materializadas a lo largo de la Ruta 14.

4.1.3 Organización

Para realizar las observaciones, se utilizan 4 receptores GNSS bifrecuencia configurados con una máscara de elevación de 10° y tomando lecturas cada segundo.

Para el enlace a la geodesia local, se utilizan las bases permanentes activas de la Red Geodésica Nacional Activa de la República Oriental del Uruguay REGNA-ROU. Según la localización del proyecto las dos estaciones a utilizar serán UYDU y UYTT de las cuales se descargan sus Rinex para el posterior cálculo de la red.

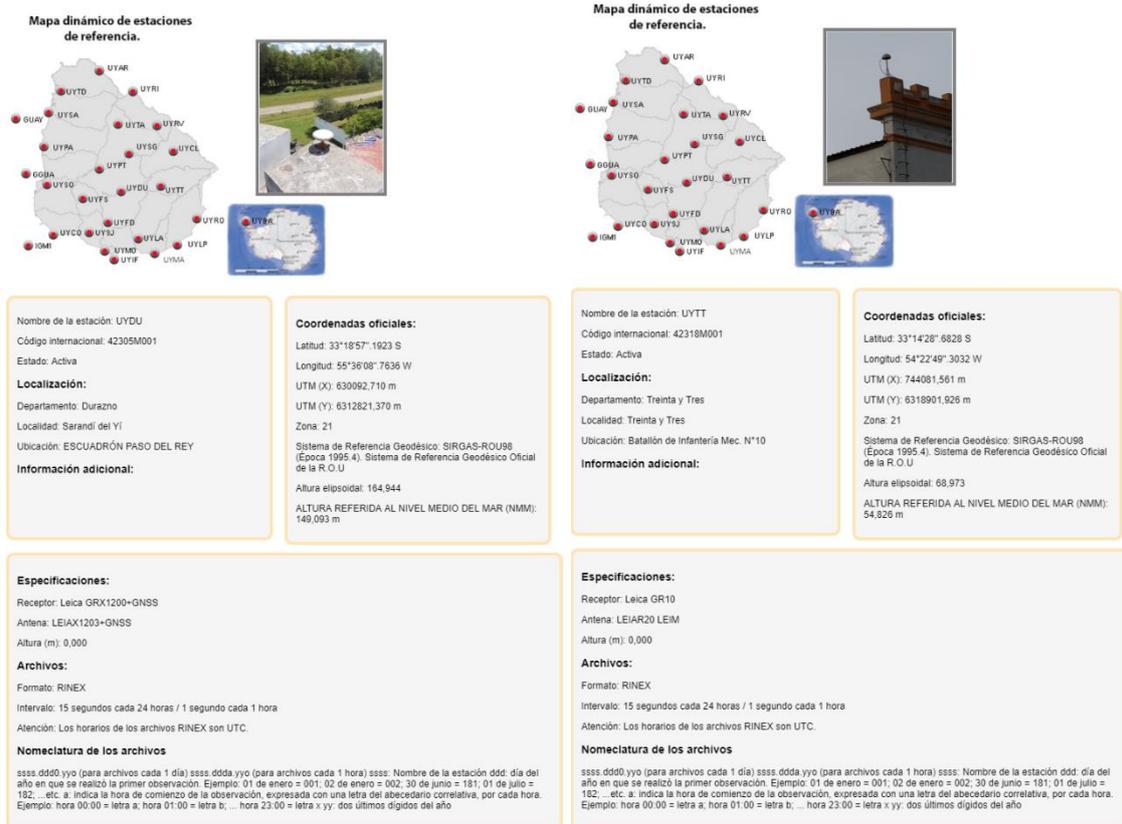


Fig. 19: Reseñas de las estaciones permanentes utilizadas. (Fuente: SGM)

Para la observación, se colocan los 4 receptores simultáneamente durante un mínimo de 40 minutos, transcurrido dicho periodo, desplazaremos los 3 receptores más retrasados en los próximos 3 hitos y volveremos a observar un mínimo de 40 minutos. Siempre hay que dejar un receptor como pivote para enlazar unas observaciones con las siguientes. Esta operación se repite hasta haber observado las 20 bases.

Veamos la metodología en un croquis:

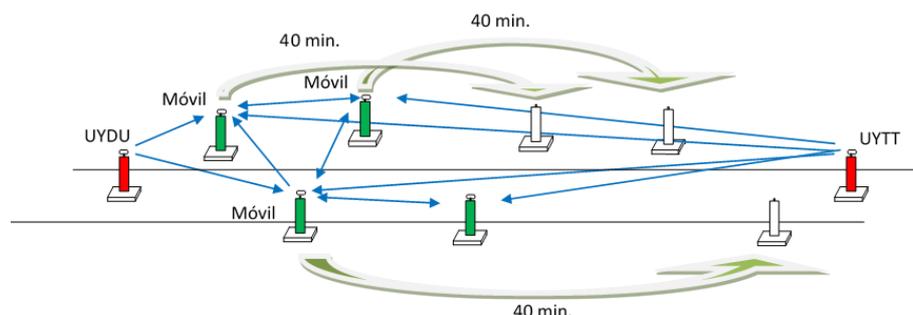


Fig. 20: Metodología para la observación de la red de bases.

4.2 CÁLCULO Y AJUSTE.

Para el cálculo de la red se utiliza el software de oficina Leica Infinity.

A partir de las observaciones efectuadas en campo, se aplica un ajuste por mínimos cuadrados, el cual se basa en los siguientes criterios: la suma de los cuadrados de los residuales de las observaciones debe ser minimizada. Después de efectuar un ajuste por mínimos cuadrados ya se tiene la certeza de contar con la mejor solución posible, basada en las observaciones disponibles.

El primer paso es obtener los distintos tipos de antena GPS con los que se ha trabajado ya que tenemos 3 instrumentos Leica y uno Trimble y cada uno tiene un offset distinto, además de los datos Rinex de las estaciones permanentes UYDU y UYTT. También descargaremos las efemérides precisas de órbita rápidas y ultrarrápidas.

Una vez tenemos todas las observaciones en el proyecto, generamos las líneas base viendo que han fijado ambigüedades, para ello configuramos la máscara de elevación en 15° y utilizamos las constelaciones GPS y Glonass. Una vez generadas todas las líneas base válidas, se realiza un ajuste mínimo cuadrático de la red en bloque dejando únicamente fijas las coordenadas de UYDU y UYTT.

Se utiliza el geoide URUGEOIDE basado en EGM08 para obtener las ondulaciones de geoide de la zona.

4.2.1 Resumen de resultados del ajuste

Ajuste

Tipo: Ajuste Constreñido (Fijos Absolutos)

Dimensión: 3D

Número de Iteraciones: 1

Corrección máx. de coordenadas en la última iteración: 0.0000 m

Estaciones

Número de estaciones (parcialmente) conocidas: 2

Número de estaciones desconocidas: 20

Total: 22

Observaciones

Diferencias de coordenadas GNSS: 171 (57 líneas base)

Coordenadas conocidas: 5
Total: 176

Incógnitas

Coordenadas: 66

Total: 66

Grados de Libertad: 110

Criterio de optimización v'Pv: 4,153.88684

Sigma a-posteriori: 6.145

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: 37.76

Prueba Chi Cuadrado (95.0%)

Límite inferior del valor crítico: 0.75

Límite superior del valor crítico: 1.28

Prueba Chi Cuadrado: 37.76

Se aplican las pruebas estadísticas para revisar el resultado obtenido, con el fin de eliminar los posibles errores y obtener los parámetros de precisión y fiabilidad que cuantifican la calidad del resultado.

La prueba F se emplea en pruebas multi dimensionales para revisar las hipótesis nulas H_0 . En este ajuste se rechaza la hipótesis nula, pero en redes muy grandes, con muchas observaciones y una redundancia considerable, resulta muy difícil para la prueba F detectar un solo valor que exceda los límites promedio. Ya que la prueba F es un modelo de prueba muy general, no es lo suficientemente sensible para tales fines. Como consecuencia del vínculo que existe entre la prueba F y la prueba W, en las cuales el valor del poder está forzado a 0.80, el nivel de significancia α de la prueba F se incrementará. Considerando lo anterior, es una práctica común llevar a cabo el análisis de datos, sin importar cuál sea el resultado de la prueba F.

La prueba W de 3 dimensiones en este caso, está asociada a la hipótesis convencional alternativa, que se basa en el supuesto de que existe un valor que excede los límites promedio en una sola observación y que el resto son correctas. Se procede a

aplicar el proceso de análisis de datos (datashooting) que consiste en probar cada observación de la red por la prueba W.

Por último, es necesario probar la línea base como un todo y no solo como variables separadas DX, DY y DZ como hacia la prueba W. Para ello, en observaciones de líneas base GPS se introduce la prueba T. Esta prueba, en 3 dimensiones, sobre la tripleta completa de coordenadas, puede encontrar más fácilmente la deformación, aunque no será capaz de ubicar la dirección exacta en la cual se ha desplazado la estación.

Si la prueba W se aceptada y la prueba T asociada de la observación se rechazó, no es una contradicción, ya que se trata únicamente de la prueba de diferentes hipótesis.

Tests de Observaciones

	Estación	Punto Visado	MDB	Red	BNR	Prueba W	Error Est	Prueba T
ΔX	UYTT	B1	0.0363 m	84	1.37	0.08	-	0.01
ΔY			0.0509 m	87	1.38	0.04	-	-
ΔZ			0.0416 m	79	1.33	-0.04	-	-
ΔX	UYDU	B1	0.0189 m	80	2.11	-0.11	-	0.48
ΔY			0.0277 m	63	2.22	-0.56	-	-
ΔZ			0.0210 m	53	2.14	1.08	-	-
ΔX	B1	B2	0.0279 m	91	1.21	0.13	-	0.50
ΔY			0.0411 m	85	1.24	-0.06	-	-
ΔZ			0.0302 m	79	1.26	0.92	-	-
ΔX	B2	B1	0.0209 m	57	2.05	0.40	-	0.64
ΔY			0.0334 m	75	1.83	1.29	-	-
ΔZ			0.0235 m	77	2.03	-1.07	-	-
ΔX	UYDU	B1	0.0194 m	60	1.91	-0.12	-	0.19
ΔY			0.0309 m	77	1.67	-0.56	-	-
ΔZ			0.0218 m	81	1.88	0.66	-	-
ΔX	B3	B1	0.0352 m	87	0.95	-0.47	-	0.10
ΔY			0.0579 m	94	0.86	-0.41	-	-
ΔZ			0.0398 m	92	0.95	0.10	-	-
ΔX	B1	B4	0.0331 m	84	1.12	-0.28	-	0.14
ΔY			0.0537 m	91	1.01	-0.25	-	-
ΔZ			0.0379 m	89	1.14	0.30	-	-
ΔX	B2	B3	0.0181 m	51	3.27	-0.33	-0.0023 m	4.66
ΔY			0.0262 m	35	3.66	-2.65	-0.0248 m	-
ΔZ			0.0209 m	38	3.32	3.35	0.0250 m	-
ΔX	UYDU	B2	0.0182 m	58	2.35	-0.06	-	1.78
ΔY			0.0274 m	61	2.23	-1.62	-	-
ΔZ			0.0209 m	53	2.40	2.10	0.0157 m	-
ΔX	B2	B4	0.0353 m	87	0.97	0.01	-	0.73
ΔY			0.0577 m	95	0.86	0.12	-	-
ΔZ			0.0407 m	91	0.99	0.65	-	-
ΔX	B3	B4	0.0177 m	30	3.81	2.15	0.0136 m	10.85
ΔY			0.0253 m	39	3.33	-2.44	-0.0221 m	-
ΔZ			0.0218 m	55	3.31	5.70	0.0444 m	-
ΔX	UYTT	B3	0.0248 m	31	4.04	1.09	-	0.75
ΔY			0.0323 m	27	4.11	1.22	-	-
ΔZ			0.0278 m	41	3.75	0.41	-	-
ΔX	UYDU	B3	0.0191 m	69	1.87	1.58	0.0108 m	2.35
ΔY			0.0276 m	65	1.86	-1.10	-0.0109 m	-
ΔZ			0.0230 m	71	1.81	2.06	0.0169 m	-
ΔX	B6	B7	0.0355 m	40	3.54	-2.11	-0.0268 m	2.13
ΔY			0.0416 m	38	3.77	-2.11	-0.0314 m	-
ΔZ			0.0340 m	35	3.88	0.68	0.0082 m	-
ΔX	UYTT	B6	0.0426 m	78	1.59	-1.26	-	1.22
ΔY			0.0486 m	74	1.73	-1.01	-	-
ΔZ			0.0388 m	71	1.81	-1.03	-	-

En la anterior imagen se ven algunas observaciones rechazadas por la prueba W o por la prueba T pero teniendo en cuenta que el error de estación en estos casos es una media de 3 centímetros, se acepta el ajuste completo de la red y las coordenadas finales.

4.3 LISTADO DE BASES.

Sistema de coordenadas UTM 21 Datum SIRGAS cota ortométrica.

	X (m)	Y (m)	Z (m)
B1	631846.264	6308390.107	142.359
B2	639129.367	6307059.047	174.059
B3	647630.085	6302556.044	192.917
B4	655261.452	6296978.071	242.454
B5	663733.296	6291209.517	269.961
B6	673062.240	6290193.420	280.150
B7	682594.658	6287401.690	237.733
B8	691929.057	6287316.769	255.038
B9	699983.616	6283651.667	230.698
B10	709965.171	6281705.477	179.746
B11	719438.659	6282160.920	95.155
B12	734891.353	6293987.463	59.446
B13	741559.496	6288682.001	37.663
B14	746209.528	6280976.284	39.573
B15	751753.085	6275448.261	25.065
B16	758425.383	6269774.532	33.949
B17	755538.038	6265826.088	99.751
B18	751282.440	6257272.713	47.306
B19	749008.964	6247479.232	53.123
B20	746930.913	6238343.569	88.610

4.4 BASES DEL SEGUNO PROYECTO.

Debido a las limitaciones de tiempo y al correcto funcionamiento de la red RTK-VRS que proporcionan las 29 bases de la red REGNA-ROU, se opta por trabajar con 3 bases a lo largo de toda la ruta, que se materializan con estacas y clavo y que se toman utilizando un tripodillo que garantiza la perpendicularidad del equipo durante la observación y se toman 3 observaciones con 20 lecturas cada una para obtener un promedio de coordenadas de cada base.

	X(m)	Y(m)	Z(m)
B1	587215.617	6169704.942	35.801
B2	591660.332	6186293.444	72.470
B3	598736.692	6208294.562	59.978

5. PUNTOS DE APOYO.

5.1 PLANIFICACIÓN.

La colocación de puntos de apoyo es la tarea que más tiempo requiere y por tanto debe estar bien optimizada y planificada.

5.1.1 Distribución.

Teniendo en cuenta la finalidad de este levantamiento con dron e intentando optimizar al máximo el trabajo se decide que se va a cubrir un ancho de traza de 50 metros y se va a colocar un punto de apoyo cada 150 metros a tresbolillo para cubrir los casi 300 kilómetros. Además, cada 5 kilómetros se pondrán puntos a ambos lados de la traza para poder ajustar y corregir los levantamientos.

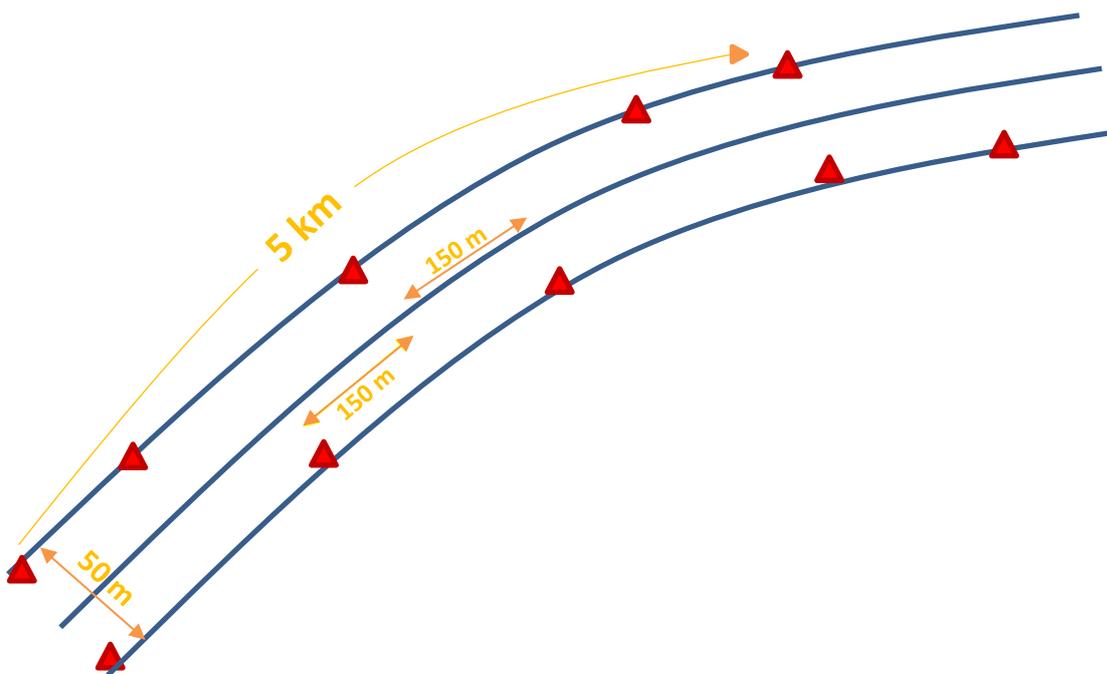


Fig. 21 Grafico sobre la metodología de toma de puntos de apoyo.

5.1.2 Tipo de materialización de los puntos.

Los vuelos de dron se van a realizar a alturas de 80 metros, obteniendo así tamaños de pixel entorno a los 2 centímetros. Por ello se necesitan puntos de apoyo con un tamaño mínimo de 15 a 20 centímetros para que se puedan ver bien en las fotos y

no se produzcan confusiones o errores groseros al marcar un punto de apoyo sobre la foto en un sitio que no le corresponde.

La elección del tipo de punto de apoyo se hace teniendo en cuenta el terreno donde se va a colocar y la cantidad que se van a marcar. A lo largo de los 300 kilómetros, se van a marcar unos 2100 puntos de los cuales el 40% va a estar en prados con hierba baja y el otro 60% en asfalto o rocas. Por ello se utilizan dos tipos de marcas:

- Para los prados los puntos de apoyo se marcan con platos de plástico rojos o blancos de un diámetro mínimo de 20 centímetros y se clava mediante una maza y un clavo largo, en el centro del plato, el cual se toma con GPS.



Fig. 22 Ejemplos para la materialización de los puntos de apoyo. (Fuente: Google.es)

- En asfalto o piedras, los puntos se marcan mediante aerosol de color blanco, rojo o naranja. Se pinta una circunferencia de 20 cm de diámetro y se tomó el centro con el GPS.



Fig. 23 Ejemplo de marcación de puntos de apoyo.

5.2 METODOLOGÍA DE LEVANTAMIENTO.

5.2.1 Equipos utilizados.

Se utilizan dos equipos humanos de topografía para realizar la toma de puntos de apoyo. Un equipo llevara un rover Leica 1200 y el otro equipo trabajara con un rover Leica GS15 multiconstelación.

Como base para el envío de correcciones diferenciales se utilizará un receptor Trimble R10 que será vigilado por una tercera persona que también hará la función de conductor.

5.2.2 Configuración de equipos.

5.2.2.1 Trimble R10.

Se configura el receptor GNSS Trimble R10 a través de la tecnología Caster Settop IST Connect, que permite administrar y controlar el equipo a través de internet sin tener una IP estática. Para ello, el receptor tiene una SIM que permite generar un punto de acceso inalámbrico WIFI.

En el navegador de un smartphone se introduce la URL “192.168.142.1” y se accede a la configuración del equipo.

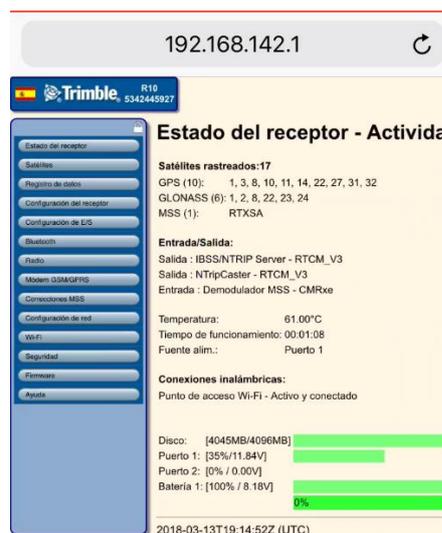


Fig. 24: Interfaz de navegador móvil para la configuración del receptor R10.

Ahora se crea un Carter o servidor IBS/NTRIP en el cual se introducen los datos de dirección IP, puerto, nombre del punto de montaje y el usuario y contraseña.

El formato de transmisión de datos será el RTCM v3

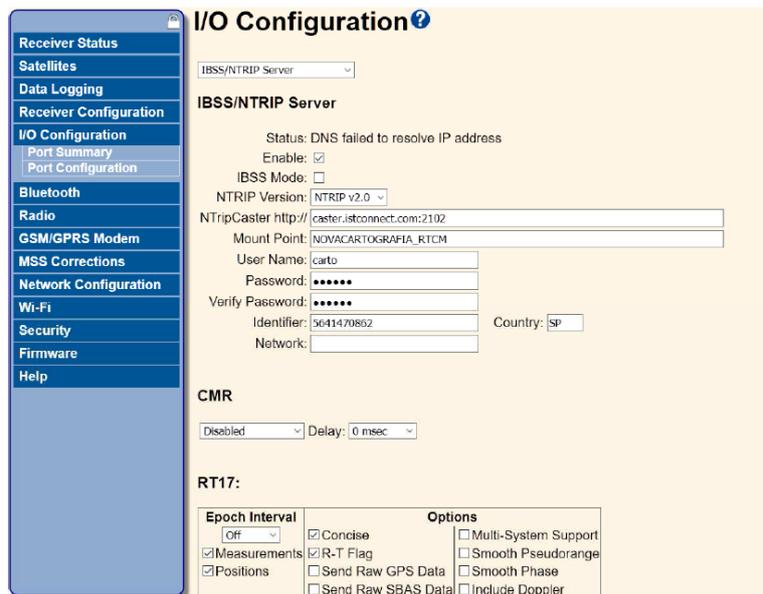


Fig. 25: Creación del Caster desde el navegador web.

Una vez creado el Caster lo siguiente es añadir los parámetros de estacionamiento:

- La altura de antena, teniendo en cuenta el tipo de offset correcto:

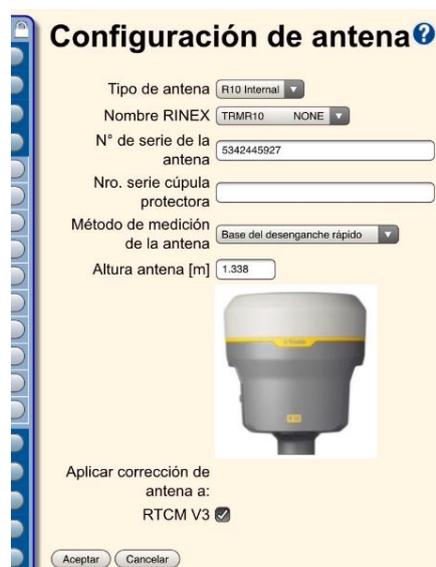


Fig. 26: Configuración de la antena desde el navegador web.

- Las coordenadas geodésicas de la base donde se estaciona el receptor.

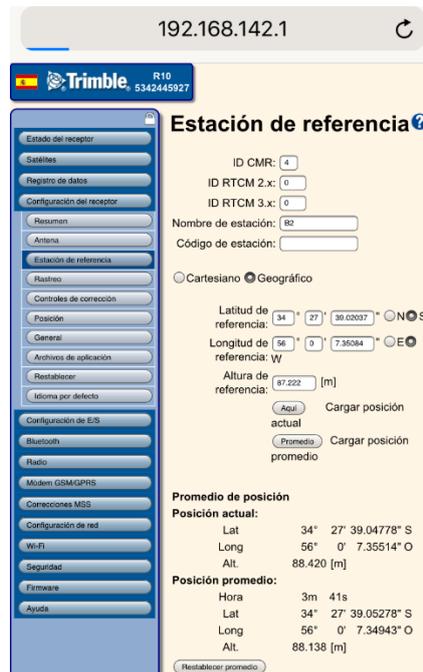


Fig. 27 Configuración de la estación de referencia.

El último paso sería añadir el nombre del punto de montaje de la compañía telefónica para poder comunicarse y conectar el servicio PPP.

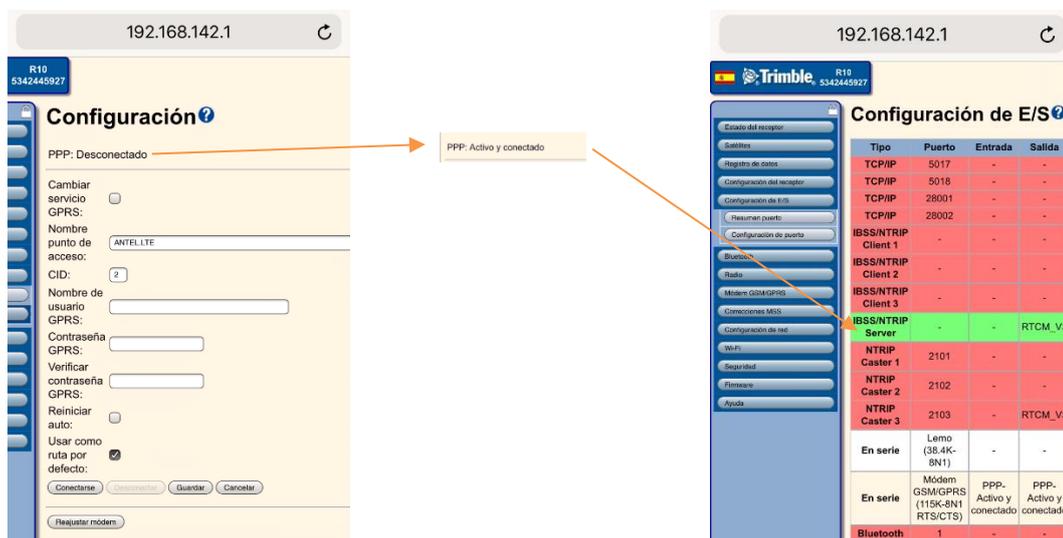


Fig. 28 Conexión del Caster para la emisión de correcciones diferenciales.

5.2.2.2 Leica 1200 y GS16

Para comunicarse con la base Trimble se crea un nuevo tipo de levantamiento RTK en el que los parámetros de conexión a internet son ANTEL.LTE, el formato de

recepción de la información es RTCM v3, la puerta IP es `caster.istconnect.com` y por último se elige el punto de montaje NOVACARTOGRAFIA.

5.2.3 Rutina de trabajo de la primera zona

En esta primera zona de 110 kilómetros que discurren entre prados, bosques y valles la técnica utilizada para la toma de puntos de apoyo es la observación GPS en tiempo real en la que se va estacionando el receptor Trimble R10 en la base más cercana a la zona en la zona de trabajo.

Una vez estacionado se conectan los dos receptores móviles a la base y toman un mismo punto de control para comprobar que las coordenadas son iguales. Después, uno de los dos Rover avanza 10 kilómetros hasta la siguiente base para comprobar que coinciden las coordenadas y no hay errores de estacionamiento.

Para la toma y marcación de puntos de apoyo los equipos van separados. Un equipo va en la dirección desde la estación hasta la siguiente base y el otro equipo va desde la estación hacia la base anterior recorriendo 5 kilómetros. Una vez el equipo el equipo que se dirige hacia atrás, empalma con los puntos ya marcados anteriormente vuelve a ir a la base estacionada y desmonta el equipo para volver a estacionar en la siguiente base y realizar el mismo procedimiento.

Debido a que la metodología del envío de correcciones por internet funciona muy bien entre base y móvil, se modifica la metodología anterior para solo estacionar la base una vez cada día, trabajando con líneas base de hasta 10 kilómetros y ganar tiempo para la toma de puntos de apoyo.

5.2.4 Rutina de trabajo de zona 2 y Ruta 6.

En esta segunda zona de trabajo se utilizará la misma técnica de levantamiento anterior, pero cambia la rutina de trabajo.

La principal diferencia respecto a la primera zona a levantar es que en la primera zona la traza era un nuevo diseño para el proyecto y discurría por prados y valles, pero en esta segunda zona, la traza discurre por la ruta, ya que se trata de una mejora y

ampliación de esta. Aprovechando esta ventaja, se decide cambiar la metodología de trabajo para aumentar la productividad.

Después de haber tomado y marcado 110 kilómetros de puntos de apoyo andando, se decide aprovechar el asfalto de este segundo tramo para realizar los trabajos desde el coche.

5.2.4.1 Marcado de los puntos.

Se pintan primero con aerosol todos los puntos de apoyo en el asfalto cada 150 metros a tresbolillo y dos puntos cada 5 kilómetros. Los puntos de apoyo son un círculo de unos 20 centímetros de diámetros y se pintan desde el coche, siguiendo la dirección de la Ruta, en los laterales o arcenes de esta.

5.2.4.2 Toma de los puntos.

Los puntos se toman con la misma metodología GPS anterior, pero ahora para aumentar la producción, se trabaja con líneas base de 20 kilómetros ya que la cobertura de internet lo permitía.

Primero se estaciona el Trimble R10 y se realizan el mismo proceso de control que anteriormente se ha dicho y después, desde el cajón de una camioneta Pick-up, se van tomando todos los puntos de apoyo, sin bajar de la camioneta, en el sentido de la ruta hasta cubrir 40 kilómetros. Después se vuelve a cambiar de base a los siguientes 40 kilómetros y se realiza el mismo procedimiento.

6. VUELOS DRON.

6.1 EQUIPOS UTILIZADOS.

6.1.1 Dron DJI Phantom 4 PRO.

Este dron tiene un diseño que está hecho tanto para principiantes como para profesionales ya cuenta con el sistema FlightAutonomy. Dicho sistema consiste en una serie de sensores de visión estéreo y sensores infrarrojos, que se encargan de la detección de obstáculos. De esta manera, determina automáticamente la velocidad y distancia para que el usuario pueda manejar al dron de forma segura.

Su peso es inferior a 2 kilogramos, vuela hasta 72km/h y cuenta con una autonomía real de 20 minutos por batería.

La cámara que integra es un gran angular con una apertura máxima de F2.8 (equivalente a un lente de 24mm) y tiene un sensor de 20 megapíxeles. Cuenta con un obturador mecánico que elimina la distorsión o estela de los objetos en movimientos rápidos. Además, está suspendida en un cardán en la parte de abajo del avión no tripulado y tiene un estabilizador de tres ejes. De esta manera, se asegura la estabilidad de la imagen.



Fig. 29: Cámara principal del dron DJI Phantom 4 Pro. (Fuente: dji.com)

6.1.2 Dron DJI INSPIRE 2

Este dron es de mayor tamaño ya que pesa 3.5 kilogramos y puede volar a una velocidad de 94 km/h teniendo una duración de batería entorno a los 27 minutos.

Cuenta con dos cámaras, una en la parte frontal de la aeronave, que ofrece una visión delantera o un plano cenital de la escena y la segunda es una Zenmuse X5S suspendida en un cardán, que ofrece contiene un sensor Micro Cuatro Tercios de 20.8 Megapíxeles



Fig. 30: Cámaras principal y secundaria del dron DJI INSPIRE 2. (Fuente: dji.com)

6.2 PLAN DE VUELO.

6.2.1 Planificación del trabajo.

Se decide realizar vuelos de 1 kilómetro de la traza despegando el dron desde la mitad de cada kilómetro para poder tenerlo a la vista hasta un máximo de 500 metros.

A demás, debido a la cantidad de kilómetros que hay que volar, se realizan 3 pasadas por vuelo, a una altura de 80 metros y con un solape entre fotografías del 75% transversal y horizontal.

6.2.2 Aplicación Map pilot for DJI.

Todas las misiones del proyecto se han realizado con esta aplicación.



Fig. 31 Icono de la aplicación

Esta aplicación permite diseñar misiones de forma muy sencilla e intuitiva. Para ello tiene como cartografía base la imagen satélite de Apple Maps sobre la cual se carga el archivo .KML que nos indica la zona del proyecto a levantar y ayuda a diseñar las misiones.

Los tipos de misiones:

- Misiones lineales

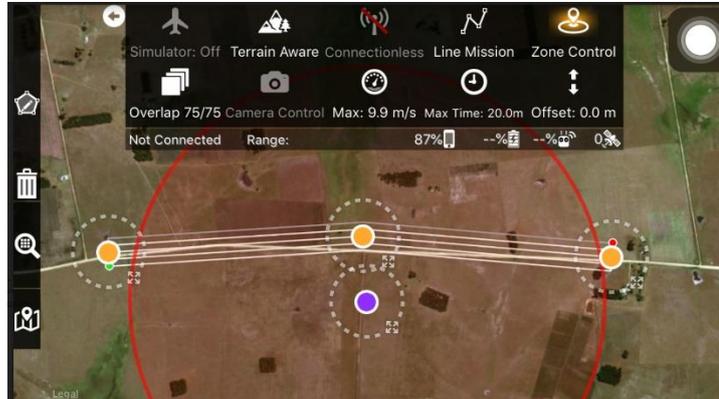


Fig. 32: Ejemplo de misión de vuelo lineal.

- Misión de área.

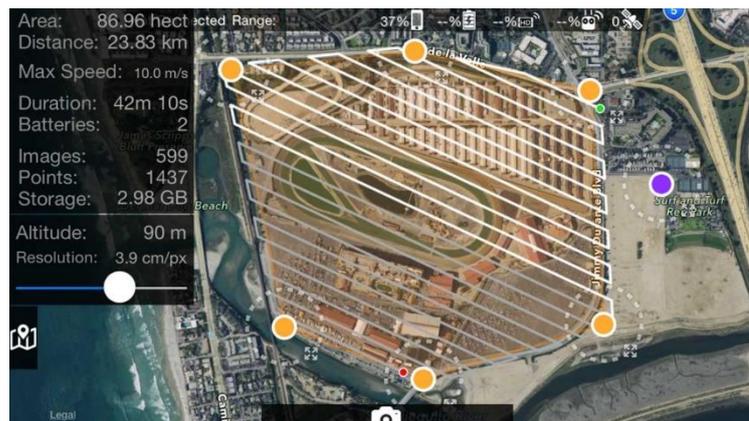


Fig. 33: Ejemplo de misión de vuelo de área.

Todas las misiones diseñadas se pueden guardar para posteriores usos y también todas las trayectorias de vuelo realizadas se graban en el archivo flights.plist.

También se elige manualmente el solape transversal y longitudinal con el que se desea trabajar y se asigna una altura de vuelo. La aplicación te va informando sobre el tamaño de pixel que se va a obtener, la duración del vuelo y la cantidad de fotografías. En cuanto a la cámara, permite cambiar parámetros como la exposición, la ISO, el formato de las fotografías y el balance de blancos.

Pero la opción más interesante de esta aplicación es el cálculo del terreno que realiza a partir de imágenes satélite de la Nasa y nos da la opción de que el dron se adapte a la geometría del terreno. Para ello nos muestra un perfil del terreno y un perfil de la trayectoria que seguirá el dron si se adapta al terreno.

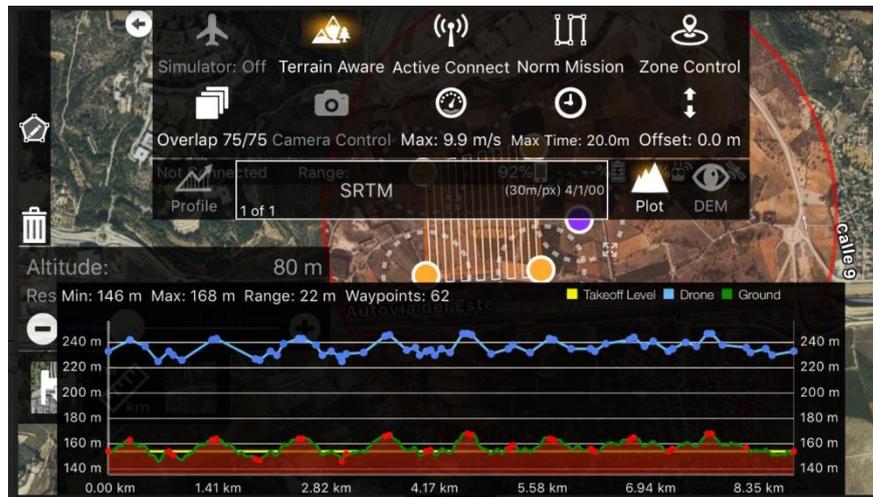


Fig. 34: Ejemplo del perfil de terreno calculado por la aplicación.

6.3 PROCEDIMIENTO DE TRABAJO.

1. Se introduce el archivo .KML de la traza para poder diseñar las misiones desde la aplicación.

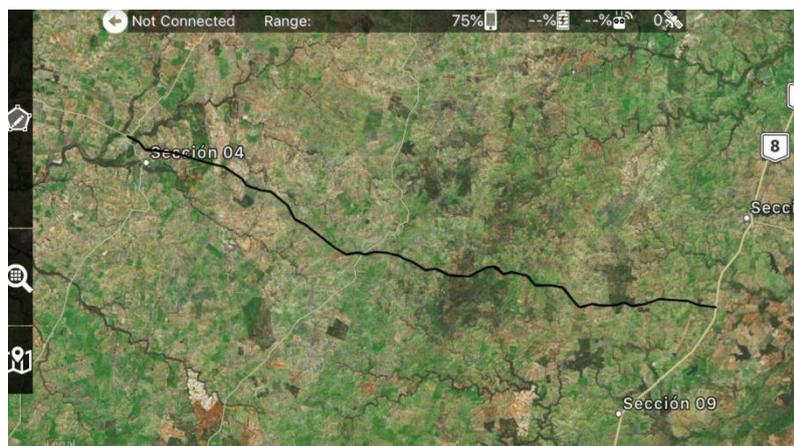


Fig. 35: Visualización de KML de la zona 1 de la Ruta 14.

2. Se diseñan misiones lineales de 1 kilómetro de longitud y solapándose entre ellas unos 50 metros para el posterior procesado de nube de puntos.

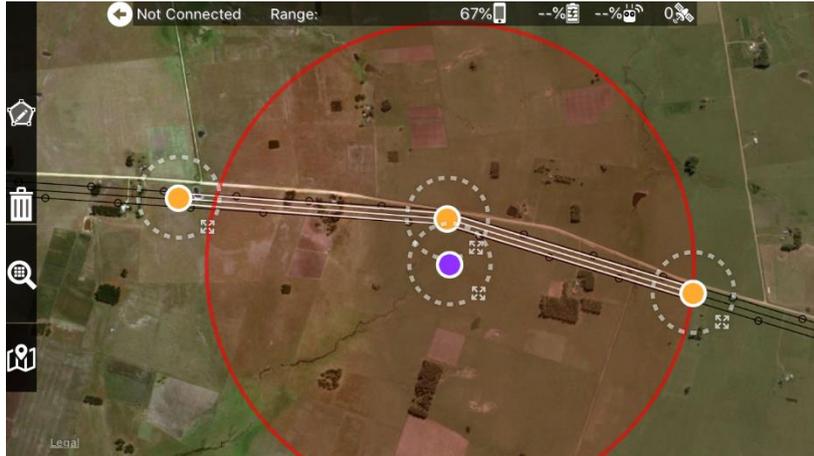


Fig. 36: Ejemplo de misión lineal sobre KML.

3. Se utilizan solapes del 75% longitudinal y transversal y una altura de vuelo de 80 metros para obtener un tamaño de pixel entorno a los 2 centímetros.
4. Se realiza un estudio del perfil del terreno para que el dron se adapte a las elevaciones del suelo sin riesgo de colisión.
5. Siempre se intenta situarse en el punto más alto de la zona a volar para poder tener el dron a la vista y para que la conexión de radio entre el dron y el mando de control se pierda.
6. Se enciende el dron y se conecta el iPhone al mando radiocontrol del dron para que lo reconozca. Se selecciona la misión deseada y se activa la función de adaptar al terreno la altura de vuelo y se desactiva la función de subir el dron 40 al volver al punto de despegue.
7. Se abre la imagen de la cámara en tiempo real y según las condiciones meteorológicas se escoge la exposición y el balance de blancos. En cuanto al formato de las fotografías, siempre las guardamos en .JPG. Durante los vuelos, también se puede ajustar los parámetros de la cámara por si las condiciones de luz cambiasen.
 - a. Si el día está completamente soleado la exposición se deja en 1/2000 o 1/2500 y el balance de blancos en Sunny.
 - b. Si el día es medio nublado con ventanas de sol la exposición se deja en 1/1600 y mientras se está volando se puede ajustar los parámetros de la cámara.

- c. Si las condiciones de luz son muy bajas, la exposición se deja en 1/1000

A partir de estos parámetros lo que se busca es una buena calidad de imagen según las condiciones de luz y también obtener el menor valor de corrimiento de pixel o motion blur.

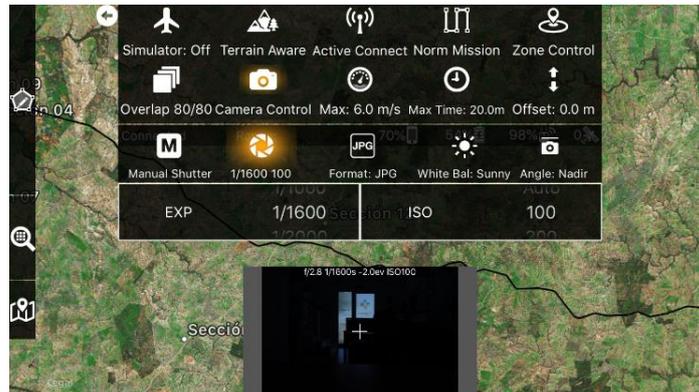


Fig. 37: Ejemplo de los parámetros de la cámara.

6.4 PRODUCTIVIDAD.

La productividad de los drones está limitada a la duración de sus baterías y la cantidad de estas que se utilicen.

Para el Phantom 4 PRO se utilizaron 6 baterías que cada una de ellas tiene una duración de 20 minutos, por tanto, se podían hacer 2 vuelos de 1 kilómetros por cada batería obteniendo una productividad diaria de 12 kilómetros de traza, ya que solía ser complicado cargar las baterías por la zona.

Para el DJI INSPIRE 2 se utilizaron 3 baterías dobles que cada par de estas tiene una autonomía de 27 minutos, por tanto, se podían hacer 3 vuelos de 1 kilómetros por cada batería obteniendo una productividad de 9 kilómetros de traza.

6.5 PROBLEMAS.

6.5.1 Problemas meteorológicos.

Uruguay es un país en el no hay grandes relieves y lo vientos son muy fuertes, sobre todo las rachas de viento. Por ello, hay que estar constantemente revisando la

información meteorológica y buscando las horas concretas en las que hará menos viento.

Las rachas de viento son el peor enemigo del dron ya que este recibe una fuerza instantánea que su procesador tiene que responder rápido para conseguir el equilibrio y muchas veces se gira la cámara, perdiendo las fotos que debería haber hecho al terreno.

Se ha comprobado que el dron DJI Phantom 4 PRO puede volar con vientos constantes en contra de unos 20-30 km/h pero las duraciones de las misiones aumentan considerablemente y disminuye la productividad.

Por otra parte, el dron DJI INDPRE 2 puede soportar vientos constantes en contra de 30-40km/h y también aumenta mucho la duración de la misión.

Las nubes también son un problema ya que cambia la luminosidad de las fotografías y esto afecte al proceso de orientación de las cámaras.



Fig. 38: Ejemplo de ortofoto afectada por cambios de luminosidad.

Los días con lluvia no se puede volar, pero también hay que estar revisando la información meteorológica por si hay una ventana que permita volar.

6.5.2 Zonas boscosas

La mayoría del terreno levantado son prados uniformes, pero ahora en Uruguay ha crecido el negocio de las plantaciones de eucaliptus para las fábricas de papel y a lo largo de la traza hay varios bosques que han causado problemas al orientar las cámaras,

ya que al solo realizar 2 pasadas sobre estos y, además, los árboles están en constante movimiento por el viento, el software no consigue encontrar puntos homólogos y no puede orientar las cámaras.



Fig. 39: KML sobre zona boscosa.

La solución a estas zonas boscosas es aumentar el número de pasadas de 3 a 4 y elevar el dron a los 120 metros para que cada fotografía abarque una mayor zona de solape y se consiga detectar puntos homólogos. Además, aumentaremos el solape transversal y longitudinal al 80%.

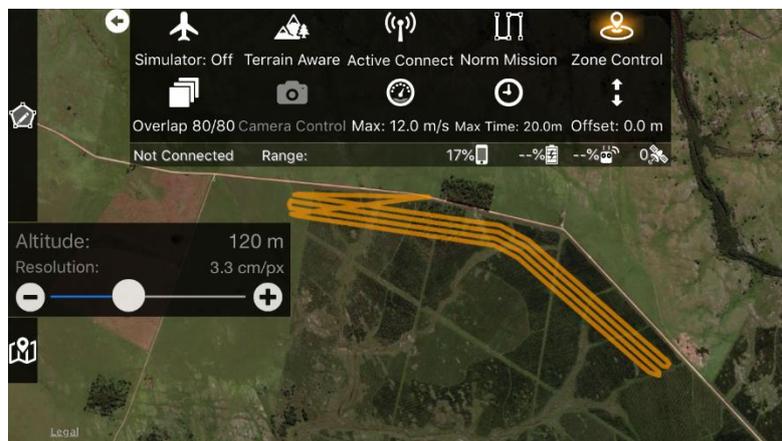


Fig. 40: Ejemplo de misión de vuelo para zonas boscosas.

6.5.3 Puntos de apoyo.

Se ha perdido un 10% de los puntos de apoyos puestos debido a que los animales pisan o muerden el plato y desaparece de su sitio. Algunos pocos puntos pintados con

espray no se ven claramente porque el aerosol rojo, en roca o caminos, no se diferencia claramente en las fotografías.

7. PROCESADO PARA LA OBTENCION DEL PRODUCTO FINAL.

A continuación, se va a describir el proceso de tratamiento de las fotografías tomadas por los drones y los puntos de apoyo con la finalidad de conseguir un modelo digital de terreno, una ortofoto y un curvado, para poder realizar el diseño de la nueva Ruta.

7.1 ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

Para un proyecto de esta gran magnitud, es primordial una buena organización de toda la información. Para ello se establecen unos protocolos a priori para la coordinación entre equipos.

7.1.1 Protocolos de organización.

1. Se crea una carpeta en el disco duro del proyecto para cada día con la fecha como nombre.
2. Dentro de estas carpetas se crean subcarpetas para los datos crudos y fotografías de los drones.
3. Los dos equipos de toma de puntos de apoyo crean un trabajo nuevo cada día en el equipo, con la fecha más el nombre del topógrafo, para realizar la toma de datos.
4. Un equipo de topografía empezara nombrando los puntos por 0001 y el otro equipo empezara nombrando los puntos con cierto desfase.
5. Al finalizar cada día se descargan los datos crudos del trabajo y se guardan en la carpeta de datos crudos.
 - a. Si se han detectado errores groseros de estacionamiento se corregirán en ese mismo momento con el software Leica Geoffice.
6. Los equipos encargados de volar el dron deben de guardar todas las fotografías en la carpeta correspondiente y renombrarlas todas para evitar problemas posteriores.

7. Se clasifican las fotografías, según al vuelo que pertenezcan, en subcarpetas con el nombre del vuelo.
8. Debido a la gran cantidad de baterías que cargas es imprescindible poner a cargar todas las baterías posibles al llegar al hotel tanto las de los equipos de topografía como la de los drones.

7.1.2 Script Python para renombrar las fotos.

Para poder realizar la tarea de organizar y renombrar los miles de fotos se ha escrito un script utilizando el lenguaje Python.

#HAY QUE COPIAR EL ARCHIVO.PY EN LA CARPETA QUE SE DESEA RENOMBRAR LAS FOTOS.

```
import os
```

```
Prefijo = 'dia1' #escribir el nombre del prefijo de cada foto entre las comillas.
```

```
#-----
```

```
nombres = [] #creamos una variable listado vacía para guardar los nombres.
```

```
numero = [] #creamos una variable listado, vacía para guardar el número de las fotos.
```

```
cont = 0
```

```
for item in os.listdir("."): #index es el número de registro y i es el número
```

```
    if item [-4:] == ".JPG": #del rango
```

```
        nombres.append(item)
```

```
        numero.append(item[4:8])
```

```
        cont=cont+1
```

```
print "Nombre Original",nombres[0:] #guardamos el número de destino
```

```
numerodestino = [] #guardamos el nombre de destino
```

```
cambio = [] #guardamos en un array todos los números de destino
```

```
for index,i in enumerate(range(0,cont)): #index es el número de registro y i es el número
```

```
    numerodestino.append(i) #del rango
```

```
    if nombres[index][-4:] == ".JPG":
```

```
        cambio.append(Prefijo + "_" + str(numerodestino[index]) + ".JPG")
```

```
os.rename(nombres[index], cambio[index]) #aquí ponemos los nombres originales y  
los de destino  
print 'Se ha terminado el proceso'
```

Este archivo de Python se debe copiar en la carpeta donde estén las fotos a renombrar y ejecutar mediante alguna herramienta Python como IDLE o pyscripter.

La primera tarea que hace es seleccionar y contar, todos los archivos de la carpeta en la que se encuentra con la extensión .JPG y guarda cada fotografía con el número que asigna la camera por defecto, entre 0001 y 9999.

Después se crea una lista con la nueva numeración de cada fotografía y a partir de esta, se crea otra lista en la cual se completa el nombre definitivo de cada archivo con el prefijo asignado al principio del script y su nueva numeración.

Por último, se utiliza la función del sistema para renombrar fotos donde se introduce el nombre original de la fotografía y el nuevo nombre que va a adoptar.

7.2 FOTOGRAMETRIA.

Etimológicamente, la palabra fotogrametría proviene de tres palabras griegas (LUZ – ESCRIBIR – MEDIDA) que podemos traducir como “medida de la luz escrita”. Tiene como objetivo la obtención de coordenadas tridimensionales precisas tomando como partida medidas realizadas sobre fotogramas.

Diversos autores han definido fotogrametría como:

- FOTOGRAMETRÍA según Bonneval es la técnica que tiene como objetivo estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto.

- FOTOGRAMETRÍA según Chueca Pazos es la ciencia que a partir de fotografías del terreno deduce su planta y alzado formando un plano topográfico del mismo.
- FOTOGRAMETRÍA según SAF (asociación americana de fotogrametría) es el conjunto de ciencia, arte, y tecnología que obtiene informaciones fiables a cerca de objetos físicos y su entorno mediante procesos de registro, medida e interpretación de imágenes fotográficas y datos obtenidos a partir de energía electromagnética radiante o de fenómenos magnéticos.

7.3 AGISOFT PHOTOSCAN PROFESIONAL.

A continuación, se muestra el procedimiento realizado en gabinete para el procesado de toda la información. Para ello, se utiliza el software de Agisoft, Photoscan Pro.



Fig. 41: Logotipo del software. (Fuente: Agisoft.com)

7.3.1 Organización para los trabajos de gabinete.

El trabajo se divide en 3 zonas:

- Primeros 110 kilómetros, en los cuales se separa la información en 20 grupos que cada uno de ellos pertenece a un día o a alguna variación del proyecto.

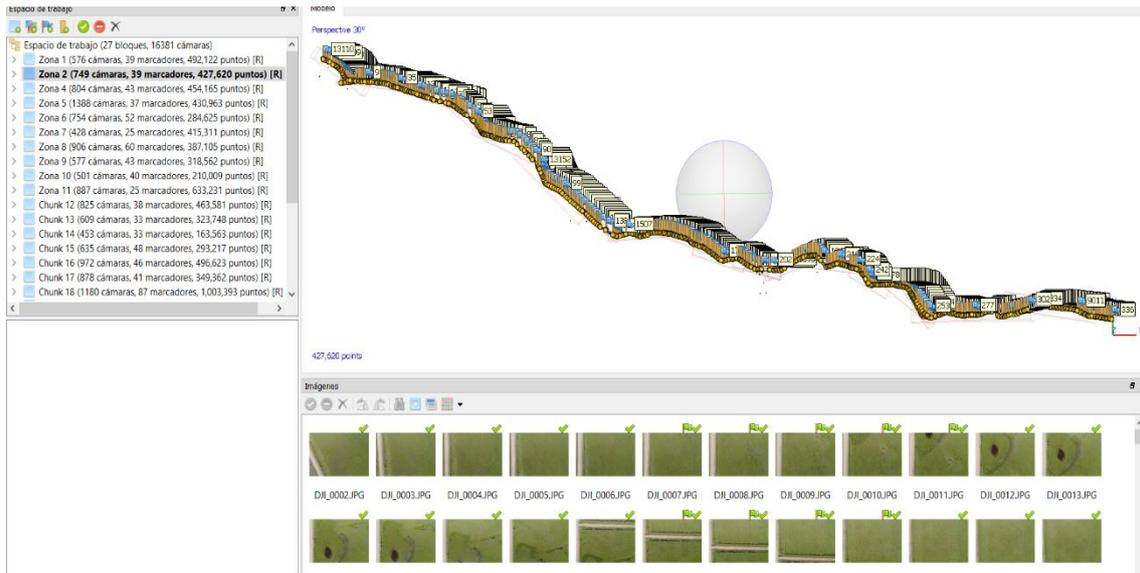


Fig. 42: Visualización de las nubes dispersas del tramo 1 de la Ruta 14 y puntos de apoyo.

- Segunda zona de 80 kilómetros, la cual se separa la información en 5 grupos que pertenecen a la mañana y tarde del primer día, a la mañana y tarde del segundo día y por último a la mañana del tercer día.

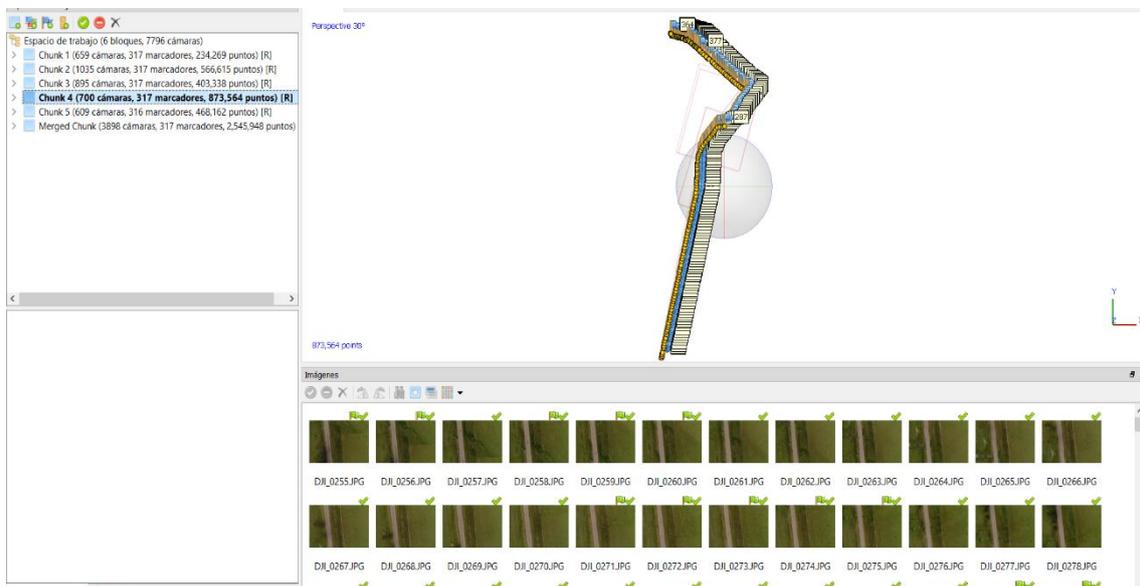


Fig. 43: Visualización de las nubes dispersas del tramo 2 de la Ruta 14 y puntos de apoyo.

- Ruta 6 de 80 kilómetros. En este caso se crea un proyecto por cada tramo de Ruta ya que están claramente diferenciadas por colores. Dentro de cada trabajo,

las fotografías se separan por vuelos en grupos para que a la hora de procesar no sean un problema las condiciones de luz entre unos vuelos y otros.

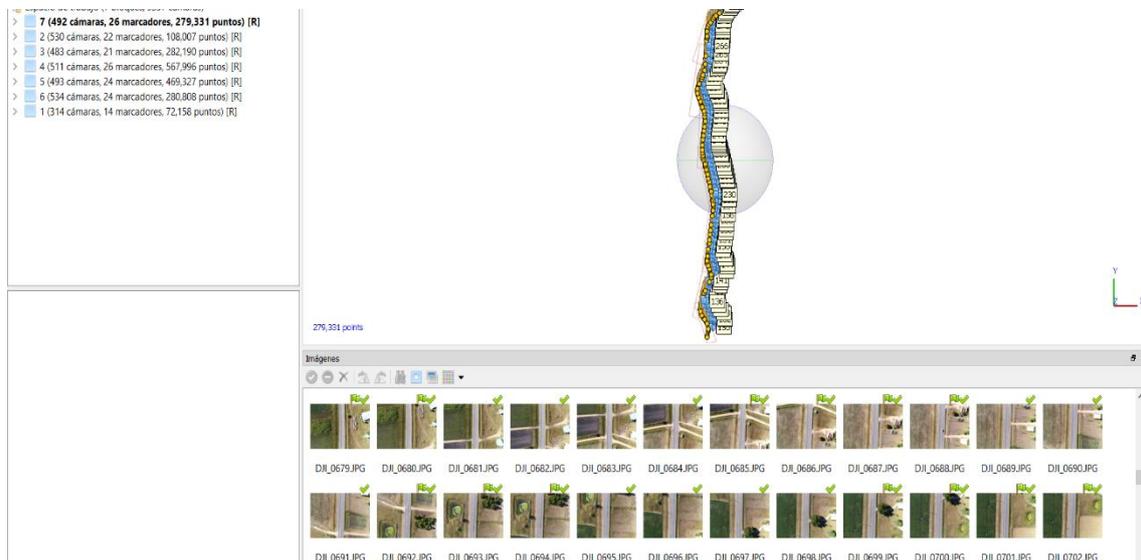


Fig. 44: Visualización de las nubes dispersas de la Ruta 6 y puntos de apoyo.

7.3.2 Filtrado de calidad en las imágenes.

Después de tener organizadas las fotografías en grupos, se debe de estimar la calidad de todas estas por cada grupo. Para ello se utiliza la opción de estimar calidad de las imágenes que se encuentra al clicar el botón derecho en la ventana de imágenes.

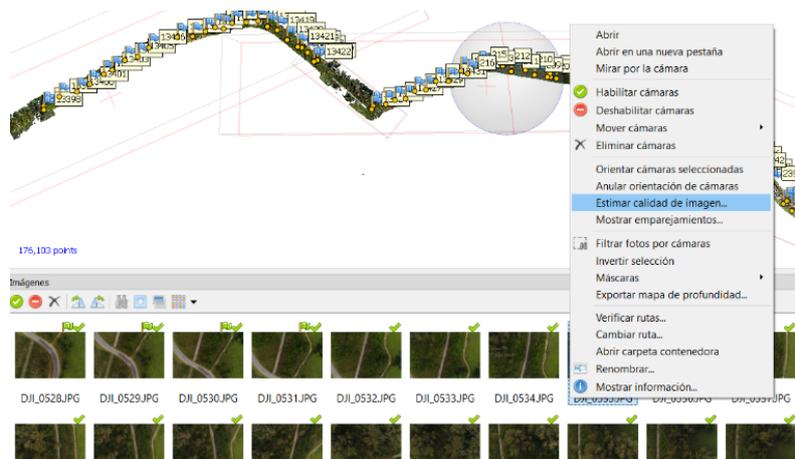


Fig. 45 Opción para estimar la calidad de las imágenes.

Cuando termine el proceso se cambia la vista de las fotografías a detalle y se ordenan las fotografías de menor a mayor calidad. Se deshabilitan las fotografías con calidad inferior al 0.7 ya que estas podrían causar errores en el proceso de orientación.

Etiqueta	Tamaño		Calidad	Fecha y hora	Fabricante	Modelo	Distancia focal	F-stop
DJI_0710.JPG	5472x3648	Cromos grandes	0.79613	2017:11:21 17:4...	DJI	FC6310	8.8	F/2.8
DJI_0712.JPG	5472x3648	Cromos medianos	0.803711	2017:11:21 17:4...	DJI	FC6310	8.8	F/2.8
DJI_0714.JPG	5472x3648	Cromos pequeños	0.80672	2017:11:21 17:4...	DJI	FC6310	8.8	F/2.8
DJI_0713.JPG	5472x3648	Detalles	0.80732	2017:11:21 17:4...	DJI	FC6310	8.8	F/2.8
DJI_0715.JPG	5472x3648		0.81089	2017:11:21 17:4...	DJI	FC6310	8.8	F/2.8
DJI_0716.JPG	5472x3648		0.818843	2017:11:21 17:4...	DJI	FC6310	8.8	F/2.8
DJI_0529.JPG	5472x3648		0.818898	2017:11:16 16:0...	DJI	FC6310	8.8	F/2.8
DJI_0657.JPG	5472x3648		0.819265	2017:11:21 17:4...	DJI	FC6310	8.8	F/2.8
DJI_0691.JPG	5472x3648		0.821495	2017:11:16 16:2...	DJI	FC6310	8.8	F/2.8
DJI_0658.JPG	5472x3648		0.822208	2017:11:21 17:4...	DJI	FC6310	8.8	F/2.8
DJI_0711.JPG	5472x3648		0.822331	2017:11:21 17:4...	DJI	FC6310	8.8	F/2.8

Fig. 46 Ejemplo de calidad de varias imágenes.

7.3.3 Metodología para conseguir una buena unión entre las nubes de puntos de cada "chunk".

Al diseñar los planes de vuelo, se alargan como mínimo 50 metros para generar un solape de fotografías entre los dos vuelos.



Fig. 47 Ejemplo de solape entre planes de vuelos.

Para la orientación de las cámaras se añaden en el grupo de cada vuelo fotografías de los vuelos colindantes para realizar una mejor orientación y que los modelos digitales del terreno coincidan entre los distintos vuelos.

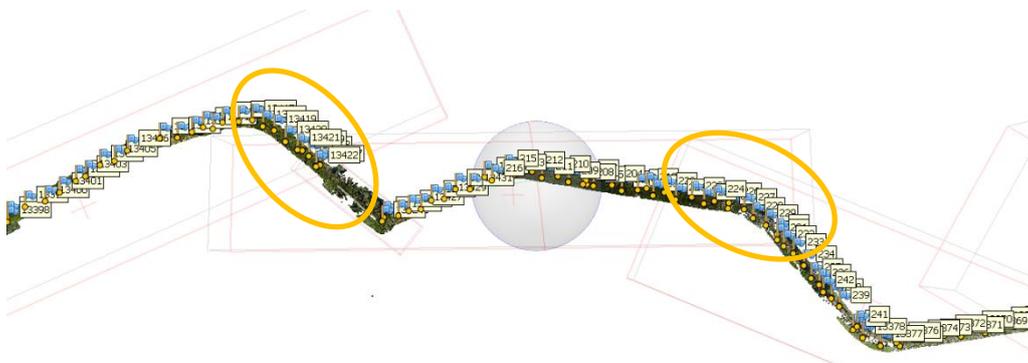


Fig. 48: Ejemplos de solapes entre bloques.

7.3.4 Preprocesado de las fotografías.

Antes de realizar la orientación de las cámaras, se ha propuesto una metodología de preprocesado de las imágenes para agilizar la posterior puesta de marcadores en cada fotografía.

Aprovechando los módulos de Python para Photoscan Pro, se consigue obtener una cota optométrica casi real de las alturas de las cámaras mediante dos scripts de Python.

Para ello:

1. En el apartado de herramientas se selecciona la opción de ejecutar secuencia de comandos.
2. Se pega la ruta de cada script de Python para generar un menú customizado en el cual ejecutarlos.

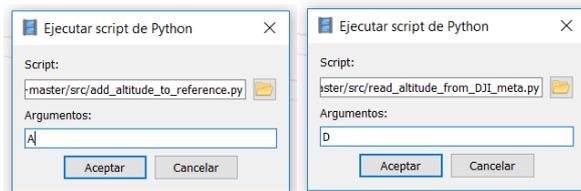


Fig. 49: Carga de los scripts de Python al menú de Photoscan.

3. Ahora desde el nuevo desplegable “Custom menú” seleccionamos el script “read_altitude_from_DJI_meta” para que las cámaras tengan la altitud respecto al punto de partida desde donde despegó el dron, siendo este la cota 0 y las alturas de las cámaras entorno a la altura de vuelo seleccionado.

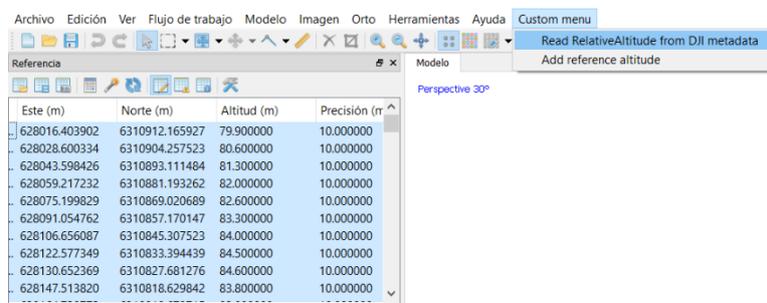


Fig. 50: Ejecutar el script para obtener la altitud relativa.

Este es el script:

```

Import PhotoScan
def read_DJI_relative_altitude():
    "Reads DJI/RelativeAltitude information from the image meta-date and writes it to the
    Reference pane"
    doc = PhotoScan.app.document
    if not len(doc.chunks):
        raise Exception("No chunks!")
    print("Script started...")
    chunk = doc.chunk
    for camera in chunk.cameras:
        if not camera.reference.location:
            continue
        if ("DJI/RelativeAltitude" in camera.photo.meta.keys() and
camera.reference.location:
            z = float(camera.photo.meta["DJI/RelativeAltitude"])
            camera.reference.location = (camera.reference.location.x,
camera.reference.location.y, z)
            print("Script finished!")
    label = 'Custom menu/Read RelativeAltitude from DJI metadata'
    PhotoScan.app.addMenuItem(label, read_DJI_relative_altitude)
    print("To execute this script press {}".format(label))

```

- Una vez están todas las cámaras referidas al punto de despegue del dron, se ejecuta el segundo script en el cual permite determinar la cota del dron en el momento de despegue. Para obtener la cota desde donde despegamos el dron, se intenta siempre despegar desde un punto de apoyo.

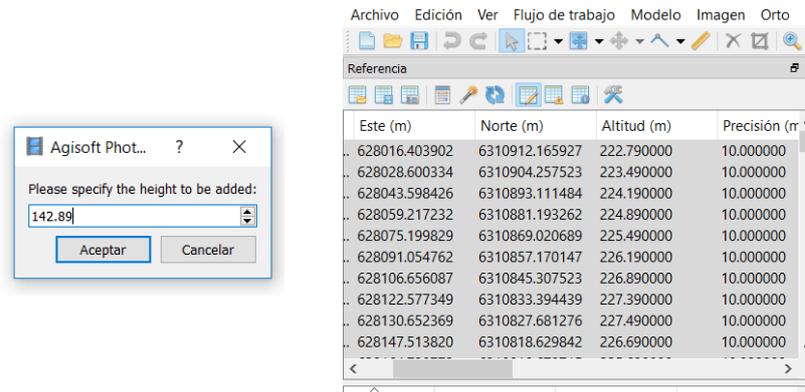


Fig. 51 Script para introducir la altitud de referencia.

Este es el script:

```
import PhotoScan
def add_altitude():
    """Adds user-defined altitude for camera instances in the Reference pane """
    doc = PhotoScan.app.document
    if not len(doc.chunks):
        raise Exception("No chunks!")
    alt = PhotoScan.app.getFloat("Please specify the height to be added:", 100)
    print("Script started...")
    chunk = doc.chunk
    for camera in chunk.cameras:
        if camera.reference.location:
            coord = camera.reference.location
            camera.reference.location=PhotoScan.Vector([coord.x,coord.y,coord.z+alt])
    print("Script finished!")
label = "Custom menu/Add reference altitude"
PhotoScan.app.addMenuItem(label, add_altitude)
print("To execute this script press {}".format(label))
```

7.4 ORIENTACIÓN DE LAS CÁMARAS.

El proceso automatizado de PhotoScan se basa en una orientación absoluta, donde el problema que se trata de resolver es el de establecer una relación entre el espacio de la imagen y el espacio objeto. Para este problema lo que se trata de establecer una relación entre los dos tipos de coordenadas, que se consigue con puntos de apoyo.

Existen dos tipos de orientaciones, una es la directa, pero debido a que los drones utilizados no cuentan con un sistema de GPS y de medidas inerciales no podremos realizar este tipo de orientación por ello se realiza una orientación indirecta.

Así, la orientación externa de la cámara se obtiene indirectamente a través de una intersección inversa espacial donde los rayos homólogos de los haces espaciales de ambos fotogramas se corten dos a dos.

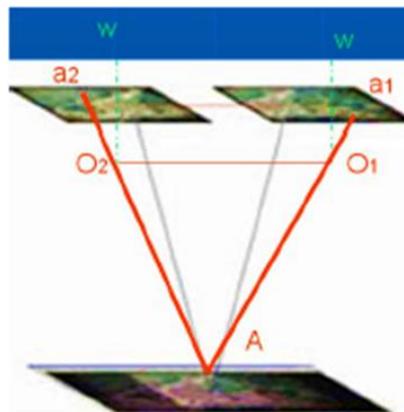


Fig. 52: Gráfico de puntos homólogos.

Para obtener la orientación en coordenadas absolutas del modelo, se tiene un parámetro factor de escala y seis parámetros definidos por tres traslaciones y tres rotaciones. Estos parámetros se obtienen a partir de las coordenadas planimétricas y altimétricas de los puntos de apoyo y de la orientación interna errónea de la cámara.

7.4.1 Orientación automática de Photoscan.

En photoscan, la orientación de cámaras es automatizada y el usuario solo puede decidir las siguientes opciones:

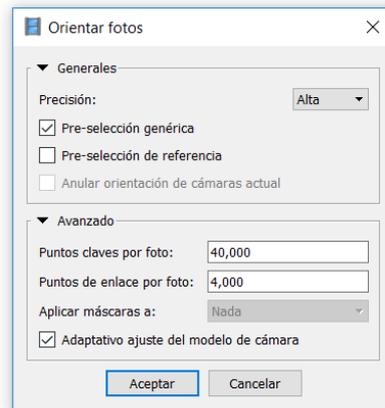


Fig. 53: Parámetros para la orientación de las fotografías.

Los ajustes de mayor precisión ayudan a obtener estimaciones de las posiciones de la cámara más precisas. Debido a que el tiempo de procesamiento se duplica por cada nivel de calidad que aumentamos, se utilizara la calidad Alta ya que los resultados obtenidos son buenos.

La opción de Pre-selección genérica se activa ya que permite que los pares de fotos superpuestos se seleccionen haciendo coincidir las fotos con un ajuste de precisión más bajo primero obteniendo una mejor orientación sin aumentar el tiempo de procesado excesivamente.

La opción de Pre-selección de referencia no se activa ya que los pares de fotos superpuestos se seleccionan según las ubicaciones de cámara medidas y provoca que el tiempo de procesado aumente exponencialmente y no mejore notablemente el resultado.

En el apartado de opciones avanzadas no se modifican las opciones por defecto ya que el límite de puntos claves en cada imagen a tener en cuenta durante la etapa de procesamiento actual es apropiado y el límite de puntos de enlace de coincidencia para cada imagen también es apropiado para este proyecto, ya que permite optimizar el rendimiento para la tarea y generalmente no afecta la calidad del modelo. El valor recomendado por el software es 4000. Porque un valor límite demasiado alto o demasiado bajo para el punto de unión puede ocasionar la pérdida de algunas partes del modelo de nube de puntos densos. La razón es que PhotoScan genera mapas de

profundidad solo para pares de fotos cuyo número de puntos coincidentes está por encima de cierto límite. Este límite equivale a 100 puntos coincidentes, a menos que se mueva hacia arriba por la figura "10% del número máximo de puntos coincidentes entre la foto en cuestión y otras fotos, solo los puntos coincidentes correspondientes al área dentro del cuadro delimitador que se está considerando". Después se reducirá la cantidad de puntos de unión del proceso de alineación y como resultado, la nube de puntos dispersos se adelgazará, pero la alineación se mantendrá sin cambios.

El ajuste adaptación del modelo de cámara se deja activado, ya que permite incluir la selección automática de los parámetros de la cámara en el ajuste en función de sus estimaciones de fiabilidad. Para los conjuntos de datos con una geometría débil de la cámara, como un conjunto de datos aéreos típicos, ayuda a evitar la divergencia de algunos parámetros. Cuando la opción está desmarcada, PhotoScan refinará solo el conjunto fijo de parámetros: distancia focal, posición del punto principal, tres coeficientes de distorsión radial (K1, K2, K3) y dos coeficientes de distorsión tangencial (P1, P2).

El resultado final que nos ofrece PhotoScan, es una nube de puntos dispersos y un conjunto de posiciones de cámara.



Fig. 54: Ejemplo de nube de puntos dispersa.

Debido a que se debe hacer una orientación de las cámaras por cada grupo de fotografías y que cada día se tienen varios grupos, este proceso se automatiza mediante la función de procesado por lotes de PhotoScan.

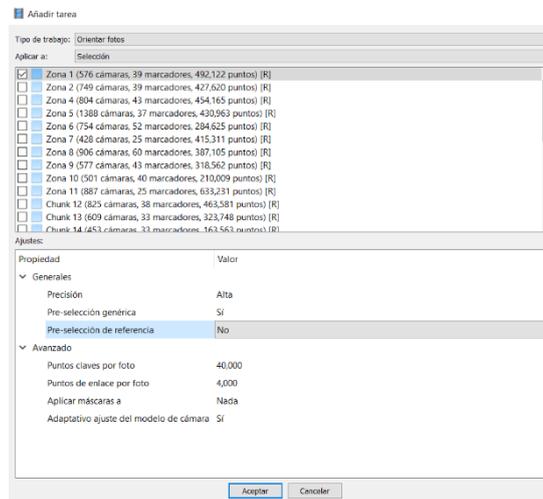


Fig. 55: Orientación de las fotografías para cada bloque.

Se genera una tarea por cada bloque con las opciones explicadas anteriormente.

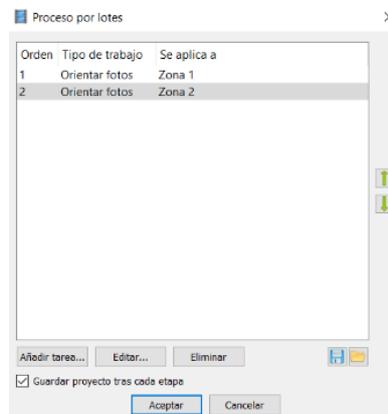


Fig. 56: Procesado por lotes

Por último, se marca la opción de guardar proyecto después de cada tarea y empieza el proceso.

7.4.2 Orientación absoluta del modelo.

El primer paso es convertir las coordenadas de las cámaras al sistema de referencia que se ha utilizado para los puntos de apoyo. Para ello se carga el sistema de referencia SIRGAS-ROU98 / UTM zona 21S y se convierten las coordenadas de los centros de las cámaras.

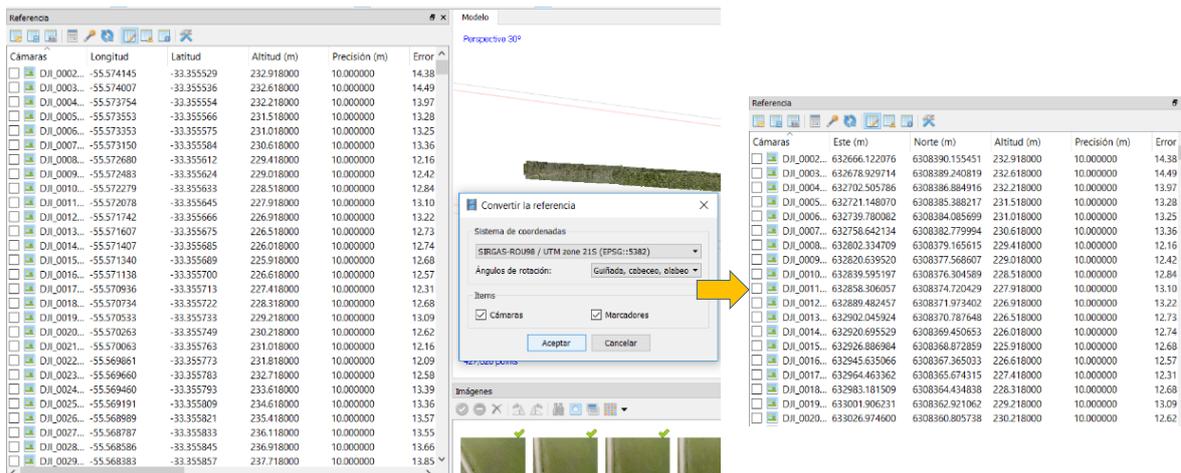


Fig. 57: Cambio del sistema de coordenadas.

7.4.3 Filtrado del modelo.

Para obtener un modelo más fiable, se realiza un filtrado de los puntos de la nube dispersa para eliminar todos los que tienen un error de reproyección de 0.3.

En el desplegable de modelo se utiliza la opción de selección gradual, en la cual se elige hacer la selección por error de reproyección. Así, se seleccionan todos los puntos y en la parte inferior de la ventana se muestra el número de puntos que se van a eliminar.

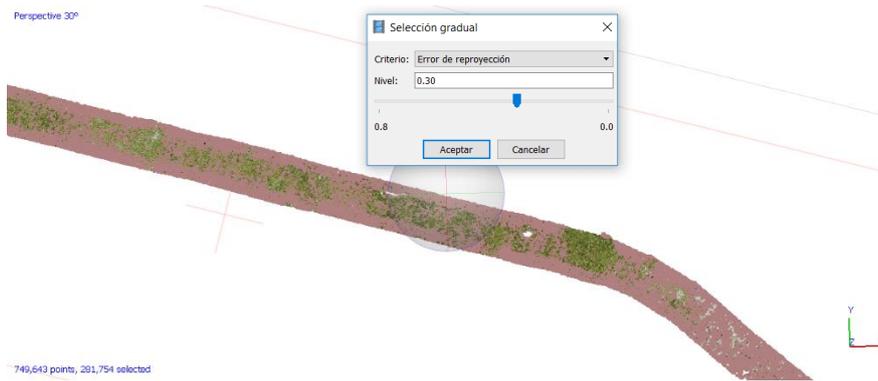


Fig. 58 Selección gradual de puntos por número de imágenes.

Es aconsejable eliminar un 30% pero hay que tener en cuenta siempre el número de puntos de la nube dispersa y los puntos que se van a eliminar.

Por último, una vez seleccionados hay que utilizar la opción borrar selección y este es el resultado, aparentemente inapreciable pero que mejorará las precisiones del modelo.

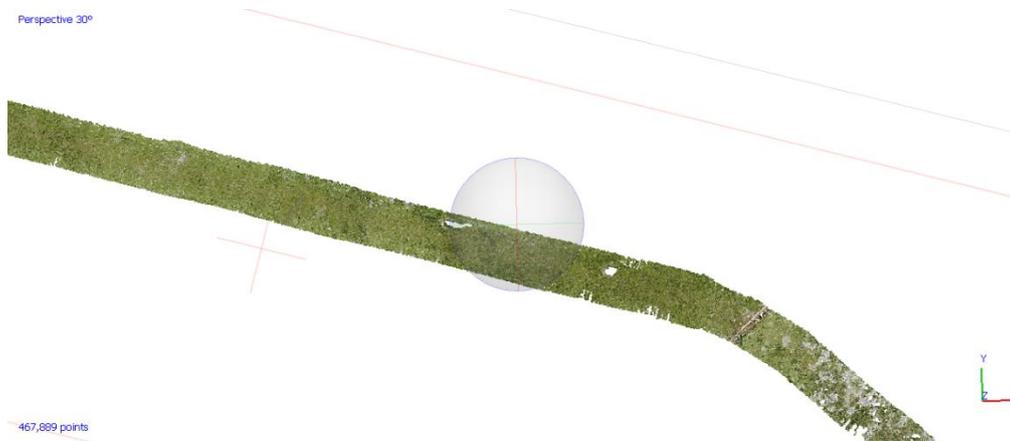


Fig. 59: Resultado después de eliminar la selección gradual.

7.5 MARCADORES.

7.5.1 Importación de la información

Una vez está el modelo orientado y en coordenadas absolutas, se procede a la creación y ajuste de marcadores. Para ello, se preparan los puntos de apoyo tomados en campo en un archivo de texto con las cuatro columnas, una para el identificador de marcador y las otras tres para las coordenadas X, Y y Z del punto.

1	632179.130	6308461.270	142.890
2	632024.603	6308413.093	138.718
3	632304.375	6308402.003	146.117
4	632496.590	6308430.791	145.478
5	632610.147	6308375.919	143.842
6	632788.472	6308411.434	137.346
7	632851.435	6308358.000	136.432
8	633042.988	6308393.554	138.723
9	633168.821	6308333.357	143.930
10	633357.744	6308362.140	145.137

Fig. 60: Ejemplo de archivo de texto con los puntos de apoyo.

En Photoscan, cambiamos la visualización de Espacio de trabajo a Referencia y aparecen varias ventanas, una de ella con la lista de cámaras y sus coordenadas y otra ventana para los marcadores. En la parte superior, se utiliza la opción de importar.

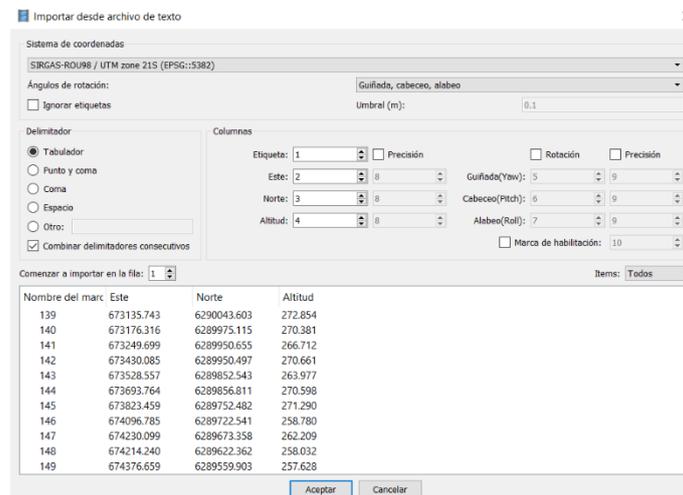


Fig. 61: Importar los puntos de apoyo a Photoscan.

Se elige es sistema de referencia del trabajo y se crea un marcador por cada punto de apoyo con el nombre de la primera columna.

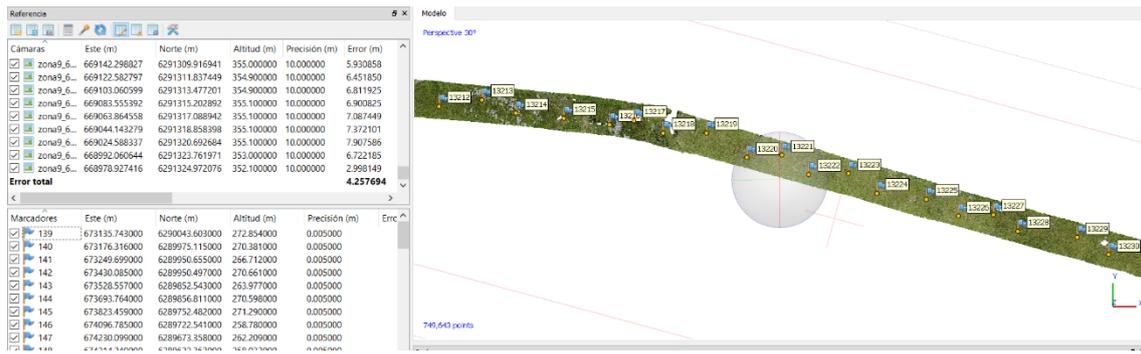


Fig. 62: Creación y visualización de marcadores.

7.5.2 Colocación de los marcadores.

El siguiente proceso es el que más tiempo de gabinete se dedica ya que consiste en colocar cada marcador en todas las fotografías en las que aparece y así reajustar los modelos.

Para ello primero se selecciona el primer marcador y se hace un filtrado para que aparezcan solo las fotografías en las que el software cree que se debe colocar el marcador.

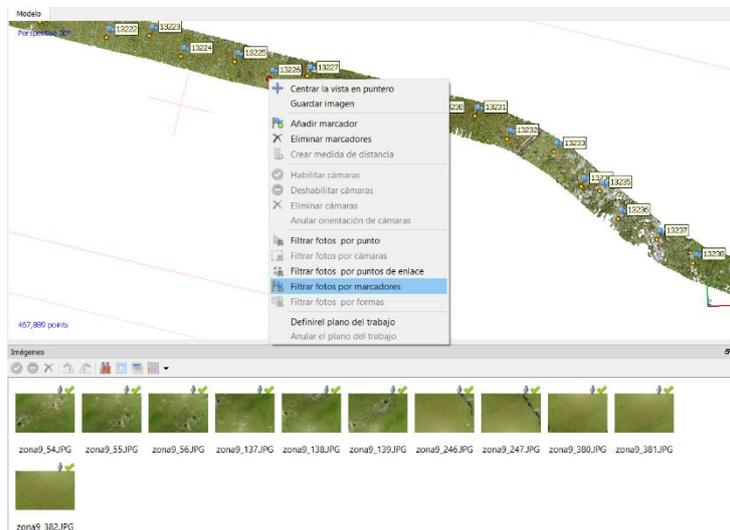


Fig. 63: Filtrar fotos por marcador.

Al modificar las alturas de las cámaras y realizar una orientación más real, la mayoría de los marcadores se colocan a unos metros de su marca y por tanto se agiliza mucho el proceso de colocación de marcadores.

Estos son una muestra de lo cerca que quedan los marcadores automáticos del punto de apoyo real.



Fig. 64: Ejemplo de distancias entre marcador y punto de apoyo materializado sin ajustar.

Lo siguiente que se hace para cada marcador del modelo, es desplazar el marcador automático a su correspondiente punto de apoyo en todas las fotos y después se vuelve a filtrar fotografías por marcador, porque al reajustar podría aparecer este marcador en más fotografías.

Al colocar el primer marcador en su punto de apoyo, en las siguientes fotografías ya solo hay que desplazarlos menos de 50 centímetros y cuando el mismo marcador se coloca en 3 fotografías, los desplazamientos se reducen a un par de centímetros para ajustar bien el centro del punto de apoyo.

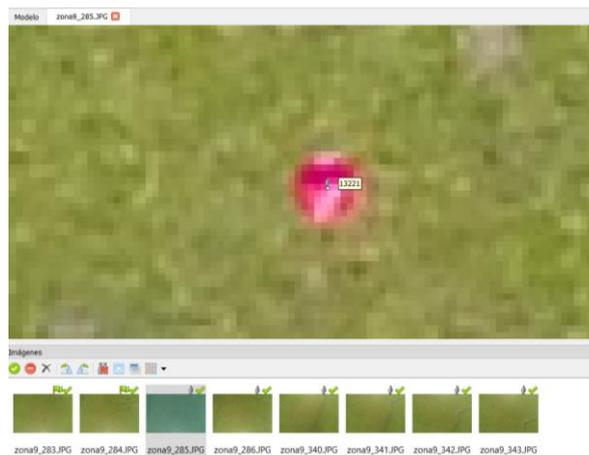


Fig. 65: Ejemplo de marcador después de haberlo colocado en 3 fotografías.

Una vez se han puesto todos los marcadores, las precisiones alcanzadas son iguales a las de las fotografías, con una media de 10 metros, ya que aún no se ha optimizado la posición de las cámaras.

Marcadores	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)	Error (m)	
<input checked="" type="checkbox"/>	13228	671642.623000	6290748.114000	277.789000	9.640590
<input checked="" type="checkbox"/>	13229	671879.186000	6290723.395000	280.111000	9.155429
<input checked="" type="checkbox"/>	13230	672004.101000	6290655.000000	284.202000	8.437380
<input checked="" type="checkbox"/>	13231	672160.263000	6290649.111000	286.468000	8.144558
<input checked="" type="checkbox"/>	13232	672274.991000	6290560.006000	290.965000	7.366522
<input checked="" type="checkbox"/>	13233	672448.351000	6290509.082000	287.221000	6.772464
<input checked="" type="checkbox"/>	13234	672546.666000	6290376.374000	283.238000	5.952584
<input checked="" type="checkbox"/>	13235	672614.433000	6290358.233000	284.905000	5.853025
<input checked="" type="checkbox"/>	13236	672680.900000	6290253.074000	281.307000	5.301374
<input checked="" type="checkbox"/>	13237	672820.040000	6290173.087000	283.862000	5.023089
<input checked="" type="checkbox"/>	13238	672953.856000	6290081.390000	282.243000	4.779504
Error total					
Puntos de ap...					9.863171
Puntos de co...					

Optimizar orientación de cámaras

Generales

Ajustar f Ajustar b1

Ajustar cx, cy Ajustar b2

Ajustar k1 Ajustar p1

Ajustar k2 Ajustar p2

Ajustar k3 Ajustar p3

Ajustar k4 Ajustar p4

Avanzado

Adaptativo ajuste del modelo de cámara

Aceptar Cancelar

Fig. 66: Optimización de la posición de las cámaras.

La optimización de la orientación de las cámaras se realiza con la opción activada de “adaptativo ajuste del modelo de cámara” ya que el software conoce los parámetros de la cámara de DJI y realizara una optimización mejor para obtener así una precisión media del entorno a los 3 centímetros y un error de pixel de 0,3.

Marcadores	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)	Precisión (m)	Error (m)	Proyecciones	Error (pix)	
<input checked="" type="checkbox"/>	13227	671544.864000	6290814.819000	274.885000	0.050000	0.006690	8	0.312
<input checked="" type="checkbox"/>	13228	671642.623000	6290748.114000	277.789000	0.050000	0.035581	8	0.338
<input checked="" type="checkbox"/>	13229	671879.186000	6290723.395000	280.111000	0.050000	0.040434	8	0.249
<input checked="" type="checkbox"/>	13230	672004.101000	6290655.000000	284.202000	0.050000	0.032552	5	0.319
<input checked="" type="checkbox"/>	13231	672160.263000	6290649.111000	286.468000	0.050000	0.023702	10	0.470
<input checked="" type="checkbox"/>	13232	672274.991000	6290560.006000	290.965000	0.050000	0.038181	5	0.172
<input checked="" type="checkbox"/>	13233	672448.351000	6290509.082000	287.221000	0.050000	0.036964	7	0.179
<input checked="" type="checkbox"/>	13234	672546.666000	6290376.374000	283.238000	0.050000	0.034220	8	0.129
<input checked="" type="checkbox"/>	13235	672614.433000	6290358.233000	284.905000	0.050000	0.013875	8	0.188
<input checked="" type="checkbox"/>	13236	672680.900000	6290253.074000	281.307000	0.050000	0.012220	7	0.139
<input checked="" type="checkbox"/>	13237	672820.040000	6290173.087000	283.862000	0.050000	0.025315	5	0.196
<input checked="" type="checkbox"/>	13238	672953.856000	6290081.390000	282.243000	0.050000	0.019950	5	0.154
Error total								
Puntos de ap...						0.032522		0.277

Fig. 67: Errores de pixel y en centímetros de la posición de los marcadores.

Una vez se obtiene la precisión adecuada para el modelo, se vuela a realizar una orientación de las cámaras para asegurar que la posición de estas es la correcta a partir de los marcadores puestos.

7.6 NUBE DE PUNTOS DENSA.

Modos de filtrado de profundidad. En la etapa de reconstrucción de generación de nubes de puntos densas, PhotoScan calcula mapas de profundidad para cada imagen.

Debido a algunos factores, como imágenes ruidosas o mal enfocadas, puede haber algunos valores atípicos entre los puntos. Para resolver los valores atípicos PhotoScan tiene varios algoritmos de filtrado incorporados que responden a los problemas de diferentes proyectos.

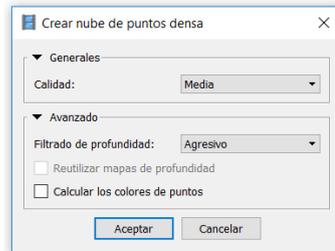


Fig. 68: Parámetros para la creación de la nube de puntos densa.

Si en el modelo hay pequeños detalles importantes que se distinguen espacialmente en la escena que se va a reconstruir o contiene techos con poca textura, se utiliza el modo de filtrado de profundidad leve, para que las características importantes no se clasifiquen como valores atípicos.

Si el área que se va a reconstruir no contiene pequeños detalles significativos, entonces es razonable elegir el modo de filtrado de profundidad agresivo para clasificar la mayoría de los valores atípicos. Este valor del parámetro es el que se ha utilizado mayoritariamente para el procesamiento de los datos.

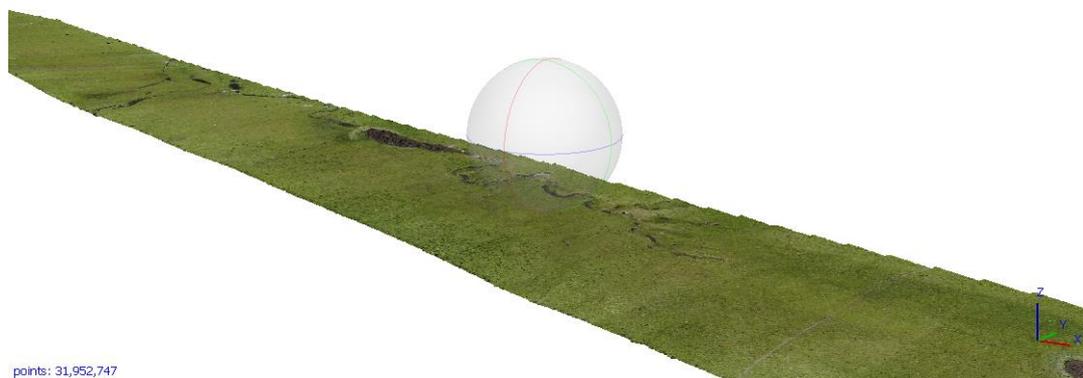


Fig. 69: Ejemplo de nube de puntos densa.

Una vez obtenida la nube de puntos densa del modelo, se exporta en formato .XYZ. y se convierte a formato LAZ.

7.7 MODELO DIGITAL DEL TERRENO CON SOFTWARE LIBRE.

7.7.1 Filtrado de puntos.

A partir de la nube de puntos anterior se puede obtener un modelo digital de elevaciones, pero para la finalidad de este proyecto se necesita obtener un modelo digital del terreno. Para ello se trabajará con el software libre FUSION de tratamiento de nubes de puntos.

FUSION es un programa enfocado a tratar con datos LiDAR, pero que en este caso se van a filtrar nubes de puntos sin el valor de intensidad. Los comandos u opciones del programa se ejecutan desde la consola del sistema utilizando los ejemplos de cada una de las funciones que aparecen en el manual.

Para obtener un buen modelo digital del terreno se utiliza la función GroundFilter. Para obtener un proceso automático y que sirva para todo tipo de nube de puntos se han realizado varias pruebas a base de iteraciones y cambio de parámetros.

Finalmente se ha obtenido los comandos necesarios para, de forma iterativa, ir eliminando primero los elementos edificados de mayor dimensión y después yendo a ventanas más pequeñas y aplicando umbrales de w y g francamente bajos para eliminar también los árboles. Los valores que de w y g son los pesos que se aplicaran al ejecutar el algoritmo de filtrado (adaptado de Kraus y Pfeifer, 1998), que se basa en la predicción lineal (Kraus y Mikhail, 1972) con una precisión individual para cada medición. Se implementa como un proceso iterativo. En el primer paso, una superficie se calcula con pesos iguales para todos los puntos LIDAR. Esto da como resultado una superficie que se encuentra entre el suelo verdadero y las otras superficies, siendo más probable que los puntos del terreno estén debajo de la superficie y los puntos de vegetación sobre la superficie. La distancia y la dirección a la superficie se utilizan para calcular los pesos de cada punto LIDAR utilizando la siguiente función de ponderación:

$$P_i = \begin{cases} 1 & v_i \leq g \\ \frac{1}{1 + (a(v_i - g)^b)} & g < v_i \leq g + w \\ 0 & g + w < v_i \end{cases}$$

Los parámetros a y b determinan la pendiente de la función de ponderación. Para la mayoría de las aplicaciones, los valores de 1.0 y 4.0 para a y b, respectivamente, han producido resultados adecuados. El valor de desplazamiento, g, determina qué puntos tienen asignado un peso de 1.0 (el valor de peso máximo). Los puntos debajo de la superficie mayores de g, se les asigna un peso de 1.0. El parámetro de compensación de tierra anterior, w, se usa para establecer un límite superior para que los puntos tengan influencia sobre la superficie intermedia. Los puntos por encima del nivel definido por (g + w) tienen asignado un peso de 0.0. En la implementación actual, los valores de g y w se fijan a lo largo de la ejecución de filtrado. Kraus y Pfeifer, 1998 utilizaron un proceso adaptativo para modificar el parámetro g para cada iteración. Después de la iteración final, los puntos de tierra desnuda se seleccionan usando la superficie intermedia final. Todos los puntos con elevaciones que satisfacen las dos primeras condiciones de la función de peso se consideran puntos de tierra desnuda.

Para ejecutar el programa se debe de guardar el archivo original en una ruta que no tenga espacios ni caracteres especiales en ella y cambiar los distintos comandos para ejecutar bien el proceso en la consola del sistema. En cada paso que se ejecuta, se guarda una nueva nube de puntos filtrada que posteriormente será la entrada del siguiente comando y así sucesivamente hasta obtener la nube de puntos final.

```

C:\>C:\Users\WVACARTOGRAPHIA\Desktop\zona9ruta14\pruebas2.las 65 C:\Users\WVACARTOGRAPHIA\Desktop\zona9ruta14\pruebas.las
GroundFilter v1.77 (FUSION v3.70) (Built on Jan 12 2018 12:14:08) DEBUG
--Robert J. McGaughey--USDA Forest Service--Pacific Northwest Research Station
Command line: c:\fusion\GroundFilter /gparam:1.5 /wparam:3.5 /iterations:8 C:\Users\WVACARTOGRAPHIA\Desktop\zona9ruta14\pruebas2.las 65 C:\Users\WVACARTOGRAPHIA\Desktop\zona9ruta14\pruebas.las
Run started: Sat Jun 23 11:19:38 2018
Data files:
  C:\Users\WVACARTOGRAPHIA\Desktop\zona9ruta14\pruebas.las: 11197139 points
Ground point file produced:
  C:\Users\WVACARTOGRAPHIA\Desktop\zona9ruta14\pruebas2.las   Jun 23, 2018 @ 11:20 AM
  10991846 ground points
Run finished: Sat Jun 23 11:20:17 2018 (elapsed time: 39 seconds)
Done
C:\>

```

Fig. 70: Ejemplo de procesado con Fusion en la consola del sistema.

1. Se aplica el comando GroundFilter, con valor de gparam de 1.5, valor de wparam de 3.5 y una ventana de 65 metros.



Fig. 71: Ejemplo de resultado al aplicar el primer filtrado.

2. Se aplica el comando GroundFilter, con valor de gparam de 0.1, valor de wparam de 0.75 y una ventana de 32 metros.



Fig. 72: Ejemplo de resultado al aplicar el segundo filtrado.

3. Se aplica el comando GroundFilter, con valor de gparam de 0, valor de wparam de 0.5 y una ventana de 7 metros.



Fig. 73: Ejemplo de resultado al aplicar el tercer filtrado.

4. Se aplica el comando GroundFilter, con valor de gparam de 0, valor de wparam de 0.2 y una ventana de 4 metros.



Fig. 74: Ejemplo de resultado al aplicar el último filtrado.

Por último, se le aplica un filtrado con CloudCompare a este último archivo creado en fusión para eliminar los últimos outliers restantes.

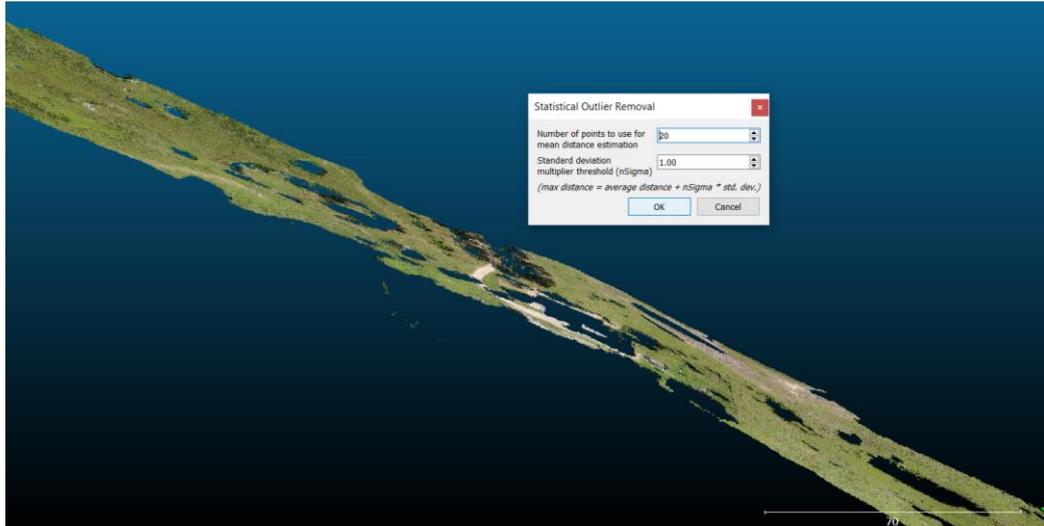


Fig. 75: Eliminación de outliers.

Este es el resultado de eliminar los últimos outliers.



Fig. 76 Ejemplo de resultado final de MDT.

7.7.1 Generación del modelo digital del terreno.

A partir de la nube de puntos del terreno se procede a rasterizar y generar el modelo digital del terreno en este mismo software. Para ello se crea una rejilla de elevaciones

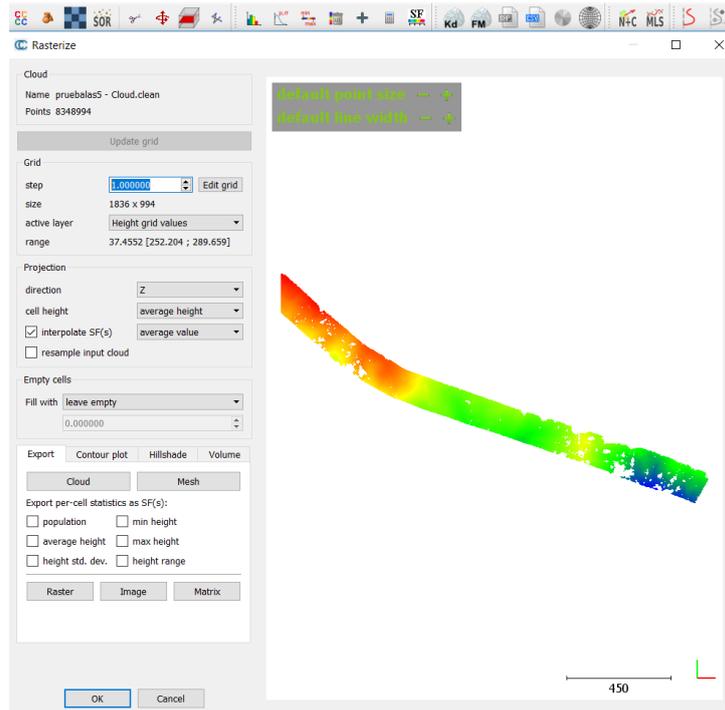


Fig. 77: Ejemplo de mapa raster de elevaciones.

7.7.1 Generación de las curvas de nivel.

Por último, a partir de esta rejilla, se generan las curvas de nivel cada 0.1 metros y se exportan en formato .DXF con el identificador que le corresponde.

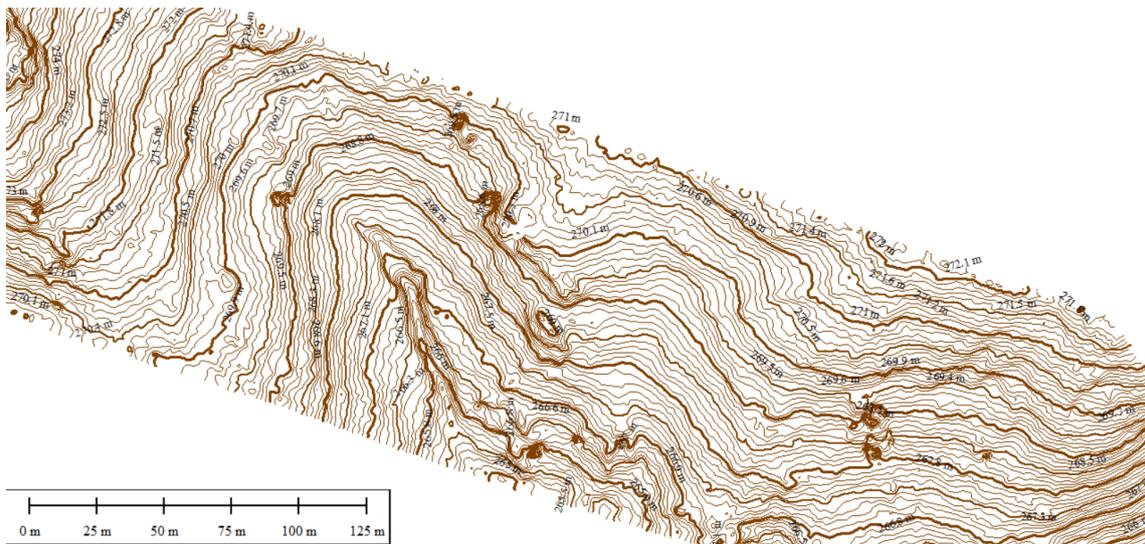


Fig. 78: Ejemplo final de curvas de nivel a partir del MDT.

7.8 MODELO DIGITAL DEL TERRENO CON SOFTWARE DE PAGO.

El proceso de obtención del modelo digital del terreno se realiza mediante el software 3DSurvey. Este software es muy potente en cuanto al tratamiento nubes de puntos y tiene un algoritmo de detección de puntos del terreno muy preciso, además de una sencilla interfaz y opciones rápidas para corregir los procesos automatizados.

Para trabajar en él, se importa la nube de puntos en formato .LAZ y directamente se realiza una clasificación de puntos del terreno con los siguientes parámetros.



Fig. 79: Ejemplo de selección automática de puntos del terreno.

Como se ve en la anterior imagen el proceso automatizado es muy preciso y selecciona correctamente los puntos que pertenecen al terreno, además, en esta misma ventana si el usuario considera que hay puntos mal clasificados podría seleccionarlos manualmente para así obtener un buen modelo digital del terreno.

Después se eliminan las zonas no seleccionadas de la nube y obtenemos el terreno final.



Fig. 80 Ejemplo de resultado final de puntos del terreno.

7.8.1 Generación del modelo digital del terreno.

Ahora generamos el modelo digital del terreno.



Fig. 81 Ejemplo de resultado final de MDT.

7.8.2 Generación de las curvas de nivel.

A partir del modelo digital del terreno se calculan las curvas de nivel cada 0.1 metros y se exportan en .DXF con el identificador que le corresponde.

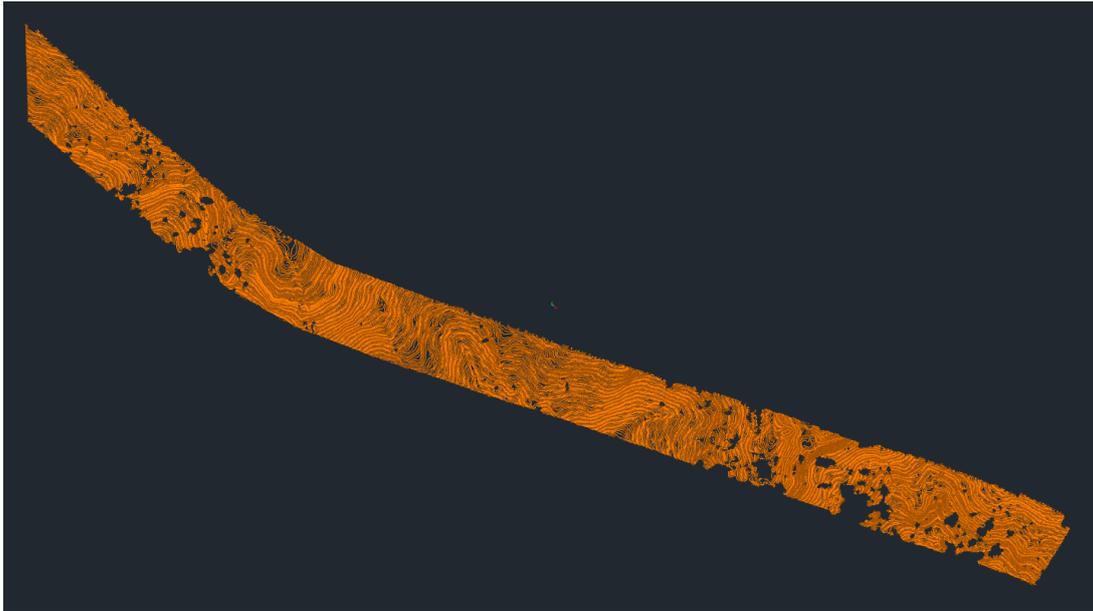


Fig. 82: Ejemplo de resultado final de curvas de nivel a partir del MDT.

7.9 OBTENCIÓN DE LA ORTOFOTO.

7.9.1 DEM.

El último producto final que pide el cliente es una ortofoto de cada modelo. Desde el proyecto de PhotoScan, se genera el modelo digital de elevaciones a partir de la nube de puntos densa, dejando habilitada la interpolación porque el software calculará el DEM para todas las áreas de la escena que son visibles en al menos una imagen.

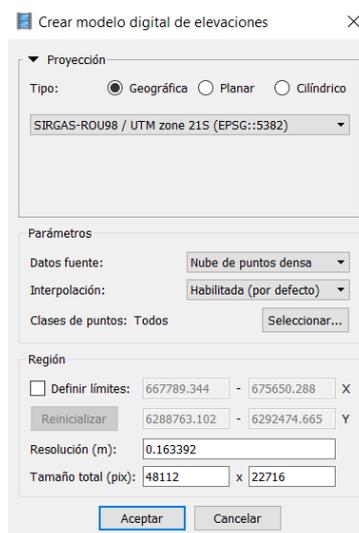


Fig. 83: Parámetros para la creación del modelo digital de elevaciones.

7.9.2 Ortofoto.

A partir del modelo digital de elevaciones generado, se crea el ortomosaico utilizando el modo de mezcla mosaico, ya que el software implementa el enfoque con división de datos en varios dominios de frecuencia que se combinan de forma independiente. El componente de frecuencia más alta se mezcla solo a lo largo de la línea de costura, cada paso más alejado de la línea de unión, lo que da como resultado un menor número de dominios sujetos a mezcla.

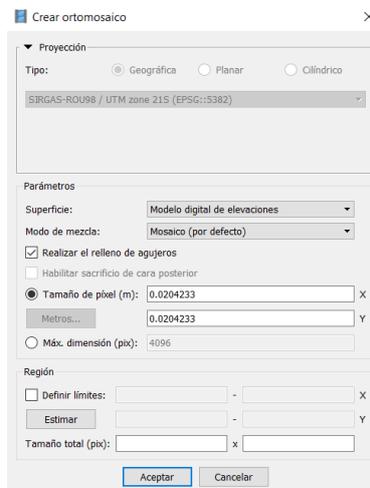


Fig. 84: Parámetros para la creación del ortomosaico.

Una vez generada la ortofoto, se exporta en formato .TIFF y se importa en el software Global Mapper para recortarla y convertirla al formato EWC, con fondo negro, y disminuir el volumen de memoria del proyecto.



Fig. 85: Ejemplo final de ortofoto.

8. CONCLUSIÓN.

Este proyecto se ha realizado por la empresa Grupo Nova Cartographia S.L. a petición de la empresa Rover Alcisa S.A. para presentarse al concurso de licitación internacional para la remodelación y mantenimiento de la Ruta 14 y la Ruta 6.

Teniendo en cuenta el escaso tiempo del que se disponía para la entrega, además de ser un trabajo que se realiza a 10.000 kilómetros de distancia de España, se decidió utilizar la metodología ya contada anteriormente para poder cumplir con todos los objetivos y obtener un producto final que cumpla las especificaciones pedidas por el cliente.

El producto final obtenido, tanto ortofotos, MDT y curvas de nivel, cuentan con una precisión homogénea en toda la cartografía que es similar a la de un GPS, es decir, cualquier punto del terreno tiene una precisión en torno a 2 o 3 centímetros. La metodología en campo utilizada ha permitido realizar el trabajo de campo conforme a al programa previsto, consiguiendo cartografiar, en el primer viaje, 190 kilómetros en 20 días y en el segundo viaje, se cartografiaron 80 kilómetros en 6 días. Se han tenido problemas a causa del tipo de marcación de puntos de apoyo, ya que un 10% de estos desaparecían por el viento o los animales.

En cuanto a la metodología de gabinete, se ha tenido que dedicar más tiempo de lo esperado para procesar toda la información y conseguir unos modelos uniformes y sin errores debido a la magnitud del proyecto.

Se ha utilizado tanto software libre como software de pago y se ha llegado a la conclusión de que, en este caso, el mejor software para el procesado de las fotos, la orientación de las cámaras y la creación de la nube densa de puntos es Photoscan Pro, software de pago. Pero, para la obtención de un buen modelo digital del terreno y sus curvas de nivel, el resultado ha sido muy parecido en ambos tipos de software.

En 3DSurvey, software de pago, se realizan los trabajos con una interfaz más intuitiva y de forma más rápida que en el software libre además de que permite realizar todos los procesos en un mismo software.

En cuanto al software libre, se ha utilizado Fusión para el filtrado de la nube de puntos y CloudCompare para la generación del modelo digital del terreno y las curvas de nivel.

Para finalizar, se ha demostrado la gran ventaja de los drones sobre los métodos topográficos clásicos ya que:

- Los trabajos de campo, cada vez más caros, son sustituidos en gran parte, por los de gabinete.
- Se obtiene mayor precisión y homogeneidad además de tener la posibilidad del trazado de líneas continuas en 3 dimensiones sin interpolación.
- Hace posible el levantamiento de terrenos difíciles o inaccesibles (montañas, desiertos, zonas bélicas).
- Si la superficie es grande, se obtiene mayor rendimiento a un menor coste.

ACRÓNIMOS.

- PPP - Partición Público-Privada
- GPS - 'Global Positioning System'
- PERT - Técnicas de Revisión y Evaluación de Proyectos
- SGM - Servicio Geográfico Militar
- REGNA-ROU - Red Geodésica Nacional Activa de Uruguay
- DGNSS - Sistema diferencial 'Global Navigation Satellite System'
- RTK - Corrección Diferencial en Tiempo Real
- PP - Corrección Diferencial en Post Proceso
- SIRGAS - Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas
- GRS80 - 'Geodetic Reference System 1980'
- DINACIA - Dirección General de Aviación Civil e Infraestructura Aeronáutica
- UAV - Vehículo aéreo no tripulado
- RPAS - Sistema aéreo tripulado de forma remota
- EGM08 - 'Earth Gravitational Model 2008'
- UTM - 'Universal Transverse Mercator'
- URL - 'Uniform Resource Locator'
- IBS - 'Internet Base Station'
- NTRIP - 'Networked Transport of RTCM via Internet Protocol'
- RTCM - 'Radio Technical Commission for Maritime Services'
- KML - 'Keyhole Markup Language'
- JPG - 'Joint Photographic Experts Group'
- SAF - Asociación Americana de Fotogrametría
- MDT - Modelo digital del terreno
- DEM - Modelo digital de elevaciones
- LiDAR - 'Light Detection and Ranging'
- DXF - 'Drawing Exchange Format'
- TIFF - 'Tagged Image File Format'
- ECW - 'Enhanced Compression Wavelet'

BIBLIOGRAFÍA.

- Planificación y programación de proyectos geomáticos – Tema 7 Teoría del Método PERT. (Autor: Jesús Olivares Belinchón.)
- GPS: Fundamentos y aplicaciones en Geodesia y Topografía. (Autores: José Luis Berné Valero, Ana Belén Anquela Julián y Natalia Garrido Villén.)
- Introducción a la fotogrametría. (Autor: José Antonio Sánchez Sobrino.)
- Diseño y Producción Cartográficos. (Autor: Jesús Irigoyen.)
- Generación de Modelos Digitales de Superficie y de Elevaciones a partir de LIDAR aerotransportado. (Autor: Josep E. Pardo Pascual.)
- Manual de ayuda de Leica Infinity.
- Manual de ayuda de Photoscan Pro.
- Manual de ayuda de 3DSurvey.
- Manual de ayuda de FUSION.
- Manual de ayuda de CloudCompare.

PAGINAS WEB.

- <http://www.sgm.gub.uy/> - Servicio Geográfico Militar.
- www.dinacia.gub.uy – Dirección Nacional de Aviación Civil e Infraestructura Aeronáutica.