

Trabajo Fin de Grado
Ingeniería Aeroespacial

INSTALACIÓN DE GPS-RTK EN RPA
PARA MDT

Autor: Rafael Salmoral Lorenzo -Arroyo

Tutor: José Manuel Galán Fernández

Dept. de INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
Y PROYECTOS DE INGENIERÍA
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017



Departamento de
Ingeniería de la Construcción
y Proyectos de Ingeniería

Trabajo Fin de Grado
GIA

INSTALACIÓN DE GPS-RTK EN RPA PARA MDT

Autor:
Rafael Salmoral Lorenzo- Arroyo

Tutor:
José Manuel Galán Fernández
Profesor titular

Dept. de Ingeniería De La Construcción y Proyectos de Ingeniería
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017

Proyecto Fin de Carrera: Instalación de GPS RTK en RPA para MDT

Autor: Rafael Salmoral Lorenzo- Arroyo

Tutor: José Manuel Galán Fernández

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2017

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

A mi familia

A mis maestros

Resumen

En el desarrollo de este trabajo se abordará la instalación de un sistema GPS diferencial de bajo costo en un RPA de ala fija, a fin de comprobar la mejora de precisión obtenida en aplicaciones fotogramétricas. Para tal efecto, se plantearán las ventajas y desventajas del PPK respecto al RTK y se realizará un estudio comparativo de los resultados obtenidos en geotiquetado entre el GPS de navegación y el GPS diferencial.

Prefacio

Dada la necesidad de ahorrar tiempo y costes a la hora de realizar estudios fotogramétricos, y especialmente MDT, el uso de GPS diferencial para el geoetiquetado de las fotografías que posteriormente se emplearán en la creación de mapas y modelos tridimensionales del terreno se convierte en un factor clave en materia de precisión.

Gracias al abaratamiento de los componentes, y el ahorro que supone emplear un RPA en lugar de un avión convencional para realizar los estudios, se considera la implementación de este tipo de tecnología en la línea de empresa de PROSKYTEC.

Se espera aumentar la precisión de georreferenciado de los resultados, desde los más de 1.5 metros actuales sin corrección por puntos de control en tierra, a escasos centímetros, pudiendo obtener datos más precisos, en menos tiempo, y con un menor coste asociado.

Lista de ilustraciones y tablas

<i>Ilustración 1: aeronave civil para fotogrametría</i>	21
<i>Ilustración 2: sistema de disparo CANON para Pixhawk</i>	23
<i>Ilustración 3: registros CAM/TRIG ordenados por hora GPS</i>	24
<i>Ilustración 4: Canon Ixus 132</i>	25
<i>Ilustración 5: conectores DF13 Reach</i>	25
<i>Ilustración 6: representación puntos RTK ilustración 7 [2]</i>	27
<i>Ilustración 7: llave inglesa de 25cm [2]</i>	27
<i>Ilustración 8: comprobación del funcionamiento del logging</i>	32
<i>Ilustración 9: planificación de la misión con el software Mission Planner</i>	34
<i>Ilustración 10: diana que usaremos como GCP</i>	34
<i>Ilustración 11: ajustes RTKPOST</i>	36
<i>Ilustración 12: vuelo realizado por el RPA con posiciones del Rover corregidas</i>	37
<i>Ilustración 13: Pix4D postprocesando las imágenes del vuelo</i>	39

Agradecimientos	vi
Resumen	ix
Prefacio	xi
Lista de ilustraciones y tablas	xiii
Índice	xv
1 Objetivos y motivación del proyecto	19
2 Introducción	20
2.1 <i>Fotogrametría</i>	20
2.1.1 Conceptos básicos sobre fotogrametría	20
2.1.2 Proceso	21
2.2 <i>Uso de RPA para fotogrametría</i>	21
3 Descripción general del sistema	22
3.1 <i>Descripción de la aeronave</i>	22
3.1.1 Descripción física	22
3.1.2 Descripción sistemas de vuelo	22
3.1.3 Equipamiento adicional	22
3.2 <i>Descripción del autopiloto</i>	22
3.3 <i>Descripción del sistema de disparo</i>	23
3.4 <i>Descripción del Sistema de verificación de obturación</i>	24
3.4.1 Entendiendo los registros CAM y TRIG en el registro de vuelo	24
3.5 <i>Descripción del equipo de captura de imagen</i>	25
3.6 <i>Sistema de geoposicionado alternativo</i>	25
4 Sistemas RTK y PPK	26
4.1 <i>EMLID</i>	26
4.1.1 GNSS soportados	26
4.1.2 Interfaces	26
4.1.3 Especificaciones	26
4.2 <i>RTK</i>	28
4.2.1 ¿Qué es RTK?	28
4.3 <i>PPK</i>	28
4.3.1 ¿Qué es PPK?	28
4.4 <i>PPK VS RTK</i>	28
5 Workflow modo PPK	29
5.1 <i>Materiales empleados</i>	29
5.2 <i>Conexión con el módulo REACH</i>	29
5.3 <i>Actualizando los módulos</i>	31
5.4 <i>Configuración PPK</i>	31
5.5 <i>Testeo de funcionamiento</i>	32
5.6 <i>Recolección de datos de la estación base</i>	32
5.7 <i>Recolección de datos desde el Rover</i>	33
6 planificación de misión y vuelo	33
7 Postprocesado de datos	35
7.1 <i>Extracción Log controladora de vuelo</i>	35
7.2 <i>Extracción de Logs unidades GNSS externas</i>	35
7.2.1 Extracción del archivo .UBX	35

7.2.2	Conversión a RINEX	35
7.3	<i>Corrección de las posiciones del rover</i>	36
7.4	<i>Corrección de los registros CAM</i>	38
7.4.1	Archivo “Registro CAM”	38
7.4.2	Archivo “PPK”	38
7.4.3	Corrección con Matlab	38
8	Estudios fotogramétricos	39
8.1	<i>Software de postprocesado</i>	39
8.2	<i>Error RMS</i>	39
8.3	<i>Vuelo geoetiquetado con GPS de navegación</i>	40
8.4	<i>Vuelo geoetiquetado con GPS PPK</i>	40
9	Futuros trabajos y conclusiones del proyecto	41
	Bibliografía	43
	Anexo A	45
	Anexo B	47

1 OBJETIVOS Y MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto es un ensayo práctico sobre las ventajas que ofrece a la hora de realizar trabajos de mapeado, la instalación de un sistema RTK-PPK a bordo de un RPA ala fija. El principal objetivo es demostrar el aumento de fiabilidad de los datos obtenidos mediante un sistema GNSS dedicado exclusivamente a PPK, respecto a aquellos usados tanto para navegación como geoetiquetado.

Actualmente los sistemas comerciales para mapeado con RTK-PPK (Parrot, Novadrome, Topcon, DJI...) se caracterizan por tener un elevado coste, al ser soluciones basadas en software y hardware propietario. Con este proyecto se pretende acercar al consumidor un producto de alta fiabilidad y bajo coste, introduciendo a PROSKYTEC en un nuevo nicho de mercado todavía no exporado por la mayoría de operadores de RPA nacionales, que han de depender del alquiler o adquisición de equipamiento topográfico profesional para realizar sus proyectos.

Sin lugar a dudas, obtener una mayor precisión en el mapeado, ayuda a obtener cálculos volumétricos de mayor precisión, gracias al incremento de precisión de la nube de puntos realizada por el software fotogramétrico, lo que se convierte en una mayor rapidez a la hora de calcular volúmenes, por ejemplo en una cantera, uno de los puntos de aplicación donde el uso de RPA para mapeado es cada vez más demandado.

2 INTRODUCCIÓN

Nuestro sistema proporcionará los datos necesarios para geologizar imágenes basándose en las marcas temporales impresas en la fotografía, cotejándolas con la marca temporal de disparo de la controladora de vuelo, la del tiempo GPS del receptor y la del momento de obturación del objetivo de la cámara. Posteriormente, estos datos podrán ser procesados mediante un software de fotogrametría, que generará modelos digitales del terreno de precisión.

2.1 Fotogrametría

La fotogrametría tiene por objeto obtener un plano planimétrico y altimétrico basándose en fotografías del terreno que se trata de levantar, ahorrando trabajo de campo. [1]

Una fotografía es una proyección cónica del objeto fotografiado, mientras que el plano es una proyección ortogonal, de este modo la fotogrametría viene a ser la operación inversa de la perspectiva, deduciendo la planta y alzado por medidas u observaciones realizadas en las fotografías.

Las operaciones necesarias para llevar a cabo esta transformación del sistema proyectivo, de cónico en acotado, reciben el nombre de restitución.

La fotogrametría se puede clasificar según los métodos utilizados

- Fotogrametría analógica
- Fotogrametría analítica
- Fotogrametría digital

O según la medición utilizada

- Fotogrametría espacial
- Fotogrametría aérea
- Fotogrametría terrestre
- Fotogrametría de objeto cercano

Gracias a los avances de las técnicas informáticas, la fotogrametría digital es la más utilizada por el momento. Permite realizar todos los procesos fotogramétricos con ordenador, lo cual simplifica todo el proceso.

2.1.1 Conceptos básicos sobre fotogrametría

Punto de apoyo: Un punto de apoyo (PA) es un punto de coordenadas XYZ, XY o Z conocidas que se utiliza para hacer una orientación externa. Los (PA) antiguamente se obtenían con teodolitos por medio de un proceso llamado poligonales, hoy son obtenidos con GPS. Los puntos de apoyo suelen ser 6 o más.

Punto de control: El punto de control (PC o GCP) es un punto con coordenadas XYZ, XY o Z conocidas que se utiliza para hacer un control de error del modelo estereoscópico generado.

Orientación interna: La orientación interna consiste en reconstrucción de los haces de rayos de características homólogas a las imperantes en la cámara fotográfica que originó esas imágenes. En otras palabras, mediante la orientación interna se trata de reconstruir los haces de rayos.

Orientación externa: La orientación externa dirige los rayos formados en el instrumento fotogramétrico, genera el modelo estereoscópico y a sus puntos les aporta idénticas características geométricas y de ubicación que a las correspondientes del terreno.

Se efectúa mediante dos procesos, mutuamente dependientes en algunos casos. Por ello en la práctica son reiterativos. Constituyen dos subtipos de orientaciones:

- Relativa: procedimiento mediante el cual se trata de obtener la intersección de los pares de rayos homólogos. Así se forma el modelo plástico tridimensional (en el espacio).
- Absoluta: mediante la cual se trata de aportar al modelo una escala adecuada, ubicarlo planimétricamente en la posición que le corresponde y nivelarlo, para determinar su ubicación

altimétrica con respecto a un plano de referencia. Es decir, el proceso de nivelar, dar escala y ubicación planimétrica al modelo.

2.1.2 Proceso

En este proceso se cuenta con auxilios de tres tipos, incluidos datos: fotografías, puntos de apoyo (PA) y puntos de control (PC).

Las fotografías se someten a un proceso de normalización y orientación interna. A continuación, mediante los PA se realiza la orientación externa, una generación automática de modelos digitales de elevaciones (MDE) y un mosaico de MDE.

Finalmente se realiza el control de error. Por medio de este proceso se obtienen el resultado final, la estadística de error y la confiabilidad.

2.2 Uso de RPA para fotogrametría

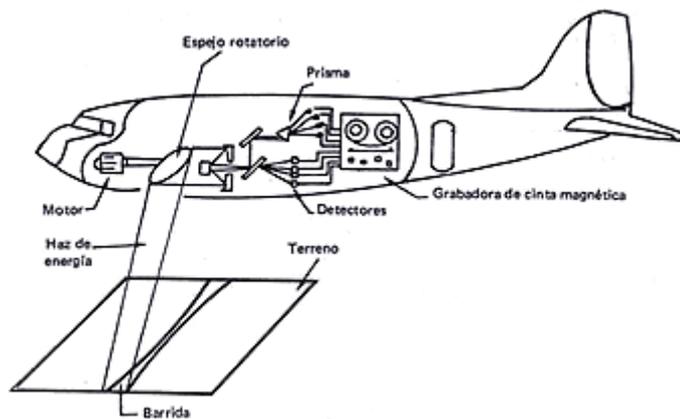


Ilustración 1: aeronave civil para fotogrametría

Hasta hace unos años se han usado aeronaves civiles para los levantamientos del terreno usando técnicas de fotogrametría [2]. Este tipo de técnicas implicaba un coste si bien menor a la contratación de técnicos para levantar grandes superficies u obras lineales muy elevado comparado con el uso de aeronaves autónomas para la realización de estas tareas tanto por coste de mantenimiento, como operativo de la aeronave en sí.

Los RPA o comúnmente conocidos drones, permiten realizar vuelos a menor cota, aumentando la resolución a obtener en el modelo final, así como reducir los costes operativos debido a su casi nulo mantenimiento y relativamente bajo coste.

El escollo que hemos encontrado hasta el momento ha sido la necesidad de depender de un equipo en tierra para poder marcar los puntos de control con ayuda de una estación total.

Es por ello que en este TFG se plantea el uso de un sistema GPS RTK para aumentar la precisión de los equipos convencionales hasta los escasos centímetros que se pueden obtener con un GPS RTK.

3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

En este capítulo vamos a describir las partes de las que consta nuestro sistema, entendiendo por nuestro sistema el equipo que se empleará en las misiones de mapeado. Comentare las partes esenciales tanto del hardware como del software y detallaré las ventajas de las elecciones de los elementos que lo constituyen

3.1 Descripción de la aeronave

El RPA empleado para realizar la adaptación del sistema RTK será el T-1 de la empresa PROSKYTEC.

Se trata de un sistema RPA de ala fija, cuyos principales datos, acordes a la hoja de caracterización de la aeronave son los siguientes:

3.1.1 Descripción física

- Envergadura: 1880mm
- Longitud: 1270mm
- Altura: 230mm
- MTOW: 3500g
- Velocidad de crucero: 16m/s
- Alcance lineal: 90km

3.1.2 Descripción sistemas de vuelo

- Controladora: Pixhawk 2.4.6 32bits
- GPS navegación: Ublox M8N
- Control: Taranis X9D 2.4GHz
- Telemetría: Mavlink 443MHz

3.1.3 Equipamiento adicional

- Estabilizador giroscópico de balanceo para cámara

3.2 Descripción del autopiloto

Para ejecutar las misiones de mapeado de forma remota, se empleará una controladora de vuelo Pixhawk con firmware Arduplane 3.8.

Los PID y ajustes de la controladora están ajustados para la aeronave que se va a emplear en la misión de mapeado.

La controladora de vuelo cuenta con un GPS NEO M8N usado tanto para navegación como para geoetiquetado convencional de imágenes mediante los registros de vuelo (dataflash log), las características de este gps se describen a continuación:

- Recepción concurrente de hasta 3 GNSS (GPS, Galileo, Glonass, BeiDou)
- Sensibilidad de navegación de -167 dBm
- Rango térmico de funcionamiento: -40 +85C
- ISO 16750

3.3 Descripción del sistema de disparo

Los drones basados en Pixhawk pueden tomar automáticamente fotografías usando distancias GPS, para hacerlo es necesario instalar el firmware CHDK (Canon Hack Development Kit) en una cámara Canon compatible, combinado con el script Kap UAV Exposure Control v3.8 [3], el cual nos permite definir manualmente todos los parámetros de la cámara, activar el LED de ojos rojos cuando se acciona el obturador y disparar la cámara mediante la entrada de un pulso USB

Lo primero que se necesita para comenzar a disparar la cámara remotamente a través de la controladora de vuelo es un cable capaz de convertir los 3.3V de las salidas auxiliares de la controladora de vuelo en 5V para accionar el disparo automático en la cámara.

El cable consiste en un MiniUSB por un extremo, que se conectará a la entrada USB de la cámara un cable de servo por el otro extremo, que será el que recoja el pulso de disparo a través de la salida auxiliar de la controladora de vuelo.

El circuito encargado de convertir la señal de 3.3V en 5V es el adjunto, que ha sido fabricado mediante el método de la insolación y recubierto de plástico termoretráctil para prevenir su desgaste.

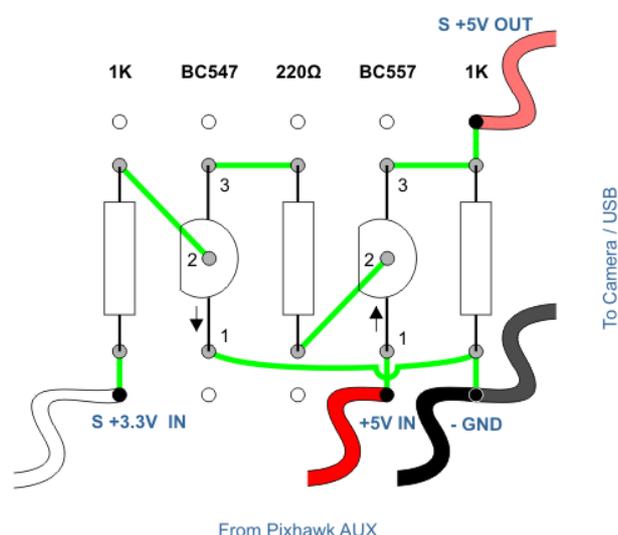


Ilustración 2: sistema de disparo CANON para Pixhawk

Una vez se dispone del cable disparador, se ha de configurar la controladora de vuelo de modo que pueda interactuar con el mismo, los parámetros que se deben ajustar en la misma, a través de una interface como mission planner son los siguientes:

- CAM_DURATION 1
- CAM_SERVO_OFF 8000
- CAM_SERVO_ON 3000
- CAM_TRIG_TYPE 0
- RC10_FUNCTION 10
- RC10_TRIM 8000
- RC_10_MAX 32767

Finalmente, conectamos el RC14 de la controladora de vuelo a la cámara mediante el cable descrito en la Ilustración 2

3.4 Descripción del Sistema de verificación de obturación

Al existir un cierto retraso desde que la controladora de vuelo envía la orden de disparo hasta que la cámara la hace realidad mediante la obturación, las fotografías pueden no quedar perfectamente geoetiquetadas una vez se realiza el postproceso de la misión.

Existen varias formas de saber cuándo una fotografía ha sido tomada, la más precisa es conocer el momento exacto en el que se ha producido la obturación, y asociar directamente ese momento a una marca horaria asociada a unas coordenadas GPS.

Para conocer el momento de la obturación, se programará en el script de la cámara una función mediante la cuál, al cerrarse el obturador, la cámara automáticamente encienda el led de ojos rojos.

Aprovecharemos esta señal lumínica, para mediante un fototransistor, almacenar el momento en el que la obturación ha ocurrido realmente, respecto a cuando la controladora ha dado la orden de disparo.

INSERTAR IMAGEN DE FOTOTRANSISTOR

Procedimiento para activar la sincronización del LED de ojos rojos:

- Asignar “Shot Interval” a “Fast”
- Asignar “USB Control” a “None”
- Asignar “Shot Sync LED” a “0”
- Ejecutar el script y comprobar el funcionamiento de la sincronización, en caso de que no funcionara, cambiar el valor de “Shot Sync LED” en orden numérico ascendente hasta que funcione.
- Volver a asignar “Pixhawk” a “USB Shot Control”

Para que la señal de disparo sea almacenada por la controladora de vuelo se deben realizar los siguientes ajustes en la misma:

- Insetar el cable con el fototransistor en cualquier puerto auxiliar de la misma, usaremos el correspondiente al pin 55 o AUX 6
- Asignar los siguientes parámetros en la controladora de vuelo
 - CAM_FEEDBACK_POL 0
 - CAM_FEEDBACK_PIN 55

Una vez tenemos estos ajustes listos, cuando geoetiquetemos las fotografías de una misión, nos tendremos que basar en los mensajes CAM para el geoetiquetado de las imágenes

3.4.1 Entendiendo los registros CAM y TRIG en el registro de vuelo

Cada vez que la cámara dispara, la controladora de vuelo almacena un evento CAM en el log de vuelo.

Si el parámetro CAM_FEEDBACK_PIN estuviera en -1 (desactivado), cada vez que la controladora de vuelo disparase la cámara, un evento CAM sería almacenado, en cambio, al estar acivado y asignado al pin 55, la controladora de vuelo almacenará un evento TRIG cada vez que envía una señal de disparo, y un evento CAM cuando la señal del fototransistor es recibida.

CAM	334663739	43782200	1965	378,407,366	-47,041,708	350.45	91.02	350.26	-27.36	8.64	272.74
TRIG	335104536	43782600	1965	378,407,401	-47,042,696	351.53	92.10	351.10	-23.30	7.75	267.64
TRIG	337904259	43785400	1965	378,406,706	-4,704,821	359.16	99.73	359.26	-8.57	-2.41	247.48
CAM	338521348	43786000	1965	378,406,468	-47,049,281	358.89	99.46	359.42	-10.08	-2.53	244.64
TRIG	341304178	43788800	1965	378,405,203	-47,053,611	360.70	101.27	362.31	-0.36	-7.07	243.03
CAM	342382301	43789800	1965	378,404,692	-47,055,252	360.56	101.13	362.57	-0.23	-8.65	243.85
TRIG	344704402	43792200	1965	378,403,515	-47,058,864	358.34	98.91	360.46	3.79	-6.63	241.77
TRIG	348104406	43795600	1965	378,402,495	-4,706,459	358.46	99.03	360.62	11.96	-10.81	254.45

Ilustración 3: registros CAM/TRIG ordenados por hora GPS

3.5 Descripción del equipo de captura de imagen

Como equipo óptico se empleará una cámara IXUS 132, si bien para trabajos de fotogrametría es fundamental contar con cámaras que ofrezcan una buena lente u objetivo para distorsionar la imagen lo mínimo posible, usaremos este modelo low cost por ajustar el presupuesto en la mayor medida de lo posible

La elección del modelo de cámara está sujeto a la aplicabilidad del script y sistema de disparo anteriormente citado, lo ideal sería usar una NEX-5 ya que permite la posibilidad de activar el sistema de disparo directamente por la zapata del flash, siendo un sistema más rápido y fiable, permitiendo además una mayor tasa de fotografías por unidad de tiempo.

La cámara Canon que se va a emplear, cuenta con un procesador de imagen DIGIC IV, el cual permite compatibilidad con CHDK y por tanto podremos ejecutar el script previamente citado



Ilustración 4: Canon Ixus 132

3.6 Sistema de geoposicionado alternativo

De forma alternativa a los sistemas anteriormente descritos, nos podemos aprovechar de la funcionalidad del sistema GPS auxiliar embarcado para almacenar las posiciones GPS ya corregidas de las confirmaciones de obturación.

Para ello, nos aprovecharemos del pin Time Mark asignado en el conector DF13, de modo que al cortocircuitar GND con el citado pin, el módulo GPS almacene un evento asociado a coordenadas, dicho evento, será una fotografía, debiendo haber el mismo número de eventos que fotografías tomadas.

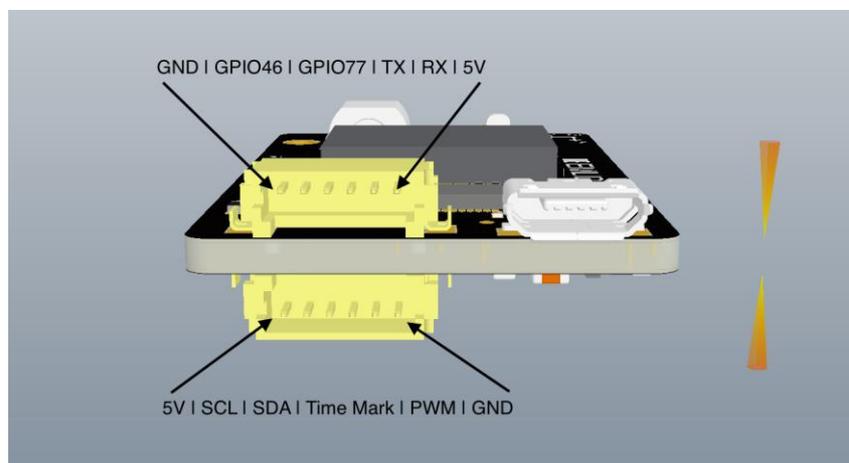


Ilustración 5: conectores DF13 Reach

4 SISTEMAS RTK Y PPK

En este capítulo vamos a describir los sistemas de posicionado sobre los que podemos apoyar nuestro estudio, explicando las bases de cada uno, comparándolos y finalmente eligiendo el que mejor se adapte a las necesidades de la misión de mapeado con un sistema ala fija.

4.1 EMLID

Para realizar los vuelos, emplearemos REACH, de la compañía EMLID

Reach es un receptor multi-GNSS con una IMU integrada basado en Intel Edison. Puede proporcionar coordenadas a nivel centimétrico en modo RTK, para lo cual se emplean dos dispositivos, uno fijo, conocido como BASE, encargado de proveer las correcciones y uno móvil conocido como Rover que aplica las correcciones enviadas mediante un link de datos.

Reach funciona con “RTKLIB”, librerías open source desarrolladas por Tomoji Takasu [4].

Las principales características del sistema, que lo convierten en una herramienta ideal dada su funcionalidad y bajo coste son las siguientes:

4.1.1 GNSS soportados

- GPS/QZSS L1 C/A
- GLONASS L10F
- BeiDou B1
- SBAS L1 C/A
- Galileo-ready E1B/C

4.1.2 Interfaces

- WiFi, BT
- USB-OTG
- Serial (UART)
- I2C
- Pins para almacenar eventos y disparar equipos

4.1.3 Especificaciones

- Raw data receiver: u-blox NEO-M8T
- Processing unit: Intel Edison dual-core
- Antenna connector: MCX
- Size: 26×45 mm
- Weight: 12gr

Una prueba de la precisión del dispositivo, la podemos ver mediante las siguientes imágenes, donde se ha seguido el contorno de una llave mostrando los resultados obtenidos con RTKLIB/REACHVIEW



Ilustración 6: representación puntos RTK ilustración 7 [5]



Ilustración 7: llave inglesa de 25cm [5]

4.2 RTK

4.2.1 ¿Qué es RTK?

RTK (real-time kinematics) es una técnica usada para mejorar la precisión del sistema GPS. Los GPS tradicionales como los que se encuentran en los smartphones o la mayoría de plataformas robóticas solo pueden determinar su posición con una precisión de 2 a 4 metros. Con el uso de RTK podemos aumentar esa precisión hasta niveles centimétricos.

El sistema GPS se basa en medir cuánto tarda una señal en viajar del satélite al receptor. Los satélites orbitan a 20200 Km sobre la superficie de la Tierra. Las señales transmitidas han de viajar a través de la ionosfera y la atmósfera, siendo ralentizadas y perturbadas en su viaje al receptor. Por ejemplo, el viaje de dichas señales varía de un día nublado a un día despejado.

Hay otros sistemas (DGPS) como el SBAS o el WAAS que miden las perturbaciones de la señal en múltiples estaciones terrestres por todo el mundo, creando un modelo de propagación de error y retransmitiendo las correcciones a través de sistemas satelitales o radio. Hay muchos receptores comerciales que usan esas señales para una mejor precisión submétrica, pero para la fotogrametría nos interesa precisión centimétrica.

Con la tecnología RTK se usan dos receptores, uno de ellos estacionario llamado “base” y otro de ellos móvil, llamado “rover”. La estación base mide los errores y haciendo uso de su posición estacionaria, transmite las correcciones al rover.

4.3 PPK

4.3.1 ¿Qué es PPK?

PPK (post processed kinematics) es un proceso de localización en el cual las señales GPS recibidas desde el rover son almacenadas en su memoria interna y ajustadas usando correcciones provenientes de una estación base de referencia tras la recolección

4.4 PPK VS RTK

Discutiremos el uso del sistema RTK comparado con el PPK a fin de establecer las principales diferencias entre ambos.

En principio, el sistema RTK promete precisiones en el rango de 1-3cm según los documentos promocionales de los fabricantes para el sector del mapeado desde plataformas aéreas. El principal propósito de embarcar este tipo de soluciones es eliminar, o en la medida de lo posible reducir al máximo la necesidad de los puntos de control en el terreno, reduciendo de esta manera el coste final de la operación de mapeado.

La principal ventaja del RTK radica en poder controlar al rover, es decir al RPA con una precisión centimétrica, permitiendo al operador conocer la posición de la aeronave con la misma precisión y poder realizar secuencias de aterrizaje basadas en posicionamiento centimétrico.

En lo que a mapeo se refiere, el posicionamiento RTK tiene numerosos cuellos de botella, tales como retardos en la emisión y recepción de señal, así como bloqueos de la señal GNSS. Debido a las grandes distancias relativas a la base con las que se prevé realizar misiones con un RPA ala fija, podemos encontrarnos con situaciones en las que el posicionamiento RTK se pierda en vuelo, y por tanto un descenso de la precisión obtenida en el geotiquetado de las fotografías.

Las principales desventajas que se destacan del sistema RTK son:

- Se requiere una estación base GNSS equipada con un emisor con un sistema fiable que cubra la operación de una plataforma móvil rápida.
- El rover requiere de un servidor dedicado para realizar las correcciones RTK

El sistema PPK, procesa la información tras el vuelo, no durante el mismo. Los datos son almacenados en la memoria interna disponible para dicho fin y postprocesada una vez el vuelo ha finalizado.

Este sistema se traduce en cero riesgos de pérdida de datos sujeta a la transmisión de los mismos, obteniendo unos resultados finales más precisos comparados con el sistema RTK a grandes distancias de la base, traduciéndose en una mayor flexibilidad a la hora de trabajar con el mismo.

5 WORKFLOW MODO PPK

5.1 Materiales empleados

- Ordenador con derechos de administrador, acceso a internet y tarjeta Wifi
- Red Wifi con contraseña y su correspondiente protocolo de encriptación (WEP/WPA...)
- Puerto USB libre en el ordenador
- Conexión a red eléctrica
- Transformador 5V/2A
- Cinta de enmascarar y rotulador o marcador.

5.2 Conexión con el módulo REACH

1. Alimentamos el módulo REACH con un cable micro USB y esperamos a que el indicador led del mismo se muestre verde, lo cual indicará que ha comenzado a transmitir su propia red wifi
2. La red Wifi creada se llamará REACH, debemos conectarnos a ella con el ordenador, introduciendo la contraseña “emlidreach” preestablecida
3. En el navegador de internet, introducimos la ip 192.168.42.1:5000 para tener acceso a la configuración del dispositivo desde la página de Intel Edison.
4. A continuación, nombramos a los dispositivos según el uso que planeemos darle. Necesitaremos una unidad rover y una unidad base, comenzaremos por el rover nombrándolo “Rover_Reach” rellenando el campo New Device Name
5. Bajo el menú “Conectar a una red Wifi”, es necesario teclear el nombre de la red wifi a la que se tiene acceso, exactamente tal y como aparece bajo las opciones de conectividad, su ISSD, además de rellenar todos los datos relativos a la seguridad de la misma tales como el protocolo de encriptación y la contraseña.
6. Una vez que hemos introducido los datos de la conexión wifi, guardamos la información y esperamos a que se refresque la página

Con estos pasos habríamos conseguido asignar la red wifi a la que se conecta el módulo Reach así como renombrar el módulo Reach y asignarle la ID única http://Rover_Reach.local guardando la dirección para su uso futuro.

Cerca del final de la barra de progreso que ha aparecido hasta ahora, ésta se tornará roja, y bajo ella el mensaje “Sorry, could not reach your device” indicando que el firmware personalizado que se ha estado cargando y en concordancia, el módulo Reach está listo para su uso. Reiniciamos la alimentación del módulo Reach para forzar un reinicio, al cual debería responder con un LED parpadeando en una combinación de rojo, azul y verde.

Una vez la luz permanezca en verde durante algunos segundos, estará conectado a la red wifi que se especificó dentro de sus ajustes según el punto número 5, y la ID nos debería redirigir a la aplicación Reach, de esta forma podremos comunicarnos con los módulos Reach cuando estemos recolectando datos.

7. Realizamos los pasos realizados con anterioridad en el otro módulo Intel Edison, pero renombrándolo como Base_Reach

Las direcciones para cada módulo serán por tanto

- http://Rover_reach.local
- http://Base_reach.local

Se anota usando cinta marcadora el indicativo de cada unidad para referenciarla de cara a su uso de campo.

5.3 Actualizando los módulos

Tras suministrar a los módulos 5V con una fuente externa, y manteniendo estos en el alcance de una red wifi con conexión a Internet para que se actualicen. El led de los módulos debe pasar por la secuencia roja, azul y verde durante alguno segundos. Al quedarse estático el led verde, significará que se ha conectado con éxito a la red Wifi.

En un buscador de internet, insertamos los nombres creados en el setup inicial

- http://Rover_reach.local
- http://Base_reach.local

Una vez nos hemos conectado al módulo REACH, aparecerán 4 pestañas en la parte superior

- Status
- Config
- Logs
- Settings (representado por un engranaje)

Accediendo a ajustes, veremos dos bloques grises, haremos click en el botón “Update” en el segundo bloque gris titulado como “Current Version: V #.#.#” para actualizar el módulo Reach a la última versión. Esperaremos a que la versión se actualice hasta que aparezca una ventana emergente indicando que es necesario actualizar la página.

El módulo Reach ahora tendrá nuevas funciones incluyendo:

- Rinex
- ReachView
- Reach Image

Este proceso se debe hacer en los dos módulos de modo que ambos estén actualizados a la última versión.

5.4 Configuración PPK

Desde el navegador de un dispositivo móvil o el ordenador, accedemos a las direcciones correspondientes a cada uno de los módulos Reach y accedemos a la pestaña de configuración, en la cual seleccionaremos “Rover box”, en el desplegable seleccionaremos la opción “reach_single_default.config” a fin de poder modificar las opciones de configuración, las cuales han de estar como sigue, tras lo cual pulsaremos sobre el botón SAVE para guardar los cambios.

- o Position Mode: static
- o Used positioning systems: gps, sbas, glo
- o Dynamics model of the rover (kinematic and dgps only): off
- o u-blox configuration file: GPS_GLONASS_5Hz
- o Input source for base corrections: off
- o Input format for base corrections: rcm3
- o Solution 1 output path: file
- o Solution 1 output format: llh

- o Solution 2 output path: off
- o Solution 2 output format: llh
- o Raw data log for onboard receiver: file
- o Raw data log for base corrections: off
- o Base antenna coordinates: rinexhead

El módulo comenzará ahora la recolección de datos, por lo que será necesario pulsar STOP para cancelarla. Los pasos anteriormente descritos serán necesarios realizarlos en ambos módulos.

5.5 Testeo de funcionamiento

Será necesario comprobar el correcto funcionamiento de ambas unidades antes de seguir configurando los equipos. Para hacerlo será necesario disponer de una totalmente a cielo abierto, para minimizar al máximo las posibles interferencias entre satélites y receptor.

Esto es recomendable hacerlo mientras todavía conservamos el enlace con la red wifi.

Conectamos la antena Tallysman TW 4721 suministrada junto con el GPS al puerto de antena y posteriormente suministramos alimentación al módulo desde una fuente de 5V vía Micro-USB.

Una vez alimentado podremos comprobar la secuencia rojo/azul/verde y finalmente verde continuo del led de estado, tras lo cual podremos acceder desde un navegador web a los módulos Reach usando la misma red wifi a la que están conectados.

Comprobaremos que las opciones que hemos introducido anteriormente en el paso “Configuración PPK” siguen siendo las mismas de modo que evitemos trabajo de campo innecesario en caso de que no fueran las correctas y pulsamos sobre el botón “START”.

Podremos comprobar dentro de la pestaña “Status” una vista en directo de los satélites que la antena puede recibir en tiempo real, finalmente podremos comprobar si el GPS está recogiendo datos pulsando sobre la pestaña “Logs” y actualizar la misma para comprobar que efectivamente la actualización de datos es continua. Dichos datos serán guardados en el almacenamiento interno del módulo.

21:41 Additional correction ● RTCM3	Log recording... (00:31:48)	0 KB
21:41 Position ● LLH	Log recording... (00:31:48)	1.27 MB
21:41 Raw data ● UBX	Log recording... (00:31:48)	6.63 MB
21:41 Base correction ● RTCM3	Log recording... (00:31:48)	0 KB

Ilustración 8: comprobación del funcionamiento del logging

Repetiremos el mismo procedimiento en el RPA, con la salvedad de que este en lugar de ser alimentado vía USB, lo será a través de los pines DF-13, en los cuales podremos adaptar alimentación a 5V desde la controladora de vuelo embarcada.

5.6 Recolección de datos de la estación base

Cuando se realiza una recolección de datos por PPK es necesario usar una estación base, que puede ser o bien un punto conocido (Latitud, Longitud y altura) o un punto de control creado a partir de la estación base en cualquier lugar con una buena recepción de satélites. Es recomendable si vamos a elegir este segundo método permanecer alejados de líneas de alta tensión, árboles o edificios que obstaculicen la visión directa de satélites por parte de la estación base, o incluso agua o césped que nos puedan dar errores “multipath” a la hora de hacer el postproceso igualmente es recomendable colocarla en el punto más alto posible y dejar encendida la estación de tierra al menos durante 30 minutos para garantizar que esté muestreando sobre el mismo punto a fin de aumentar la precisión en el postproceso.

5.7 Recolección de datos desde el Rover

Una vez los datos de la estación de tierra han comenzado a recolectarse, y nos hemos asegurado de que así sea comprobando que en la pestaña “logs” el tamaño del mismo aumenta con el tiempo, se puede comenzar a volar con el RPA siguiendo la misión preestablecida.

Al conectar el módulo GNSS en el Rover, éste comenzará a recolectar datos de forma automática.

6 PLANIFICACIÓN DE MISIÓN Y VUELO

Existen varios softwares que permiten la creación de misiones cuyo objetivo final es la fotogrametría. En este caso particular utilizaremos Mission Planner, un software de código abierto, que entre otras cosas, permite definir misiones fotogramétricas indicando tanto la cámara empleada como la superficie a mapear.

Para mapear la misión, realizaremos los siguientes ajustes en el software:

- En flight plan, seleccionar el modo polígono, y marcar una superficie algo superior a la superficie que se planea medir.
- Click derecho sobre el mapa, AutoWP, Survey (Grid)
- En el desplegable “Camera” seleccionamos “Canon ELPH 115” ya que es la referencia americana de la Ixus132
- En altitud de vuelo, marcamos 80 metros, con los que deberíamos de obtener un GSD de 2.37 cm por pixel
- Añadimos una velocidad objetivo de 45kmh, que nos dará una velocidad de obturación mínima de 1/1054 segundos, tiempo que debemos ajustar manualmente en los ajustes de CHDK de la cámara.
- También se puede ver como datos relevantes, el número de fotos a tomar para cubrir el total de superficie, y el tiempo entre fotografías, un parámetro limitante en función de las capacidades de la cámara. Con esa velocidad y altura, resulta en un lapso de 2.37 segundos por cada fotografía, mientras que la cámara está limitada a 2.9 segundos ente fotografías.
- Ante la limitación de velocidad de disparo de la cámara, marcamos “Advanced Options” en la ventana de configuración de misión
- En la pestaña “Grid options” reducimos el overlap (% superficie compartida entre fotos en el recorrido longitudinal) a 50% y observamos el aumento del tiempo entre fotos, en este caso de 3.95 segundos, casi un segundo por encima de la limitación de cámara, pudiendo aumentar el overlap al 60%, donde el resultado será de una fotografía por cada 3.16 segundos, un tiempo razonable.
- El Sidelap se ha fijado en un 75% ya que es un parámetro que no está limitado por las características del disparador de la cámara, sino que afecta únicamente al tiempo de vuelo.
- En la pestaña “Camera config” en el apartado Trigger Method, elegimos CAM_TRIG_DIST y marcamos Breakup starts, de esta forma la cámara se disparará cada 39 metros recorridos por el gps de forma automática, y dejará de tomar fotografías mientras realiza la maniobra de encarar un nuevo pasillo aéreo.

Una vez prefijadas estas opciones, podemos volver a la pestaña “Simple” y aceptar el plan de vuelo, que quedará guardado bien en el ordenador o bien en el drone (si está conectado y pulsamos sobre write params) para ser ejecutado.

En caso de haber requerido que el dron se adaptase al desnivel del terreno mientras que ejecuta la misión, haría sido necesario pulsar sobre Verify Height en la ventana principal de Flight Plan, de este modo la altura de misión será relativa a la altura del terreno, obteniendo la medida de la cota del terreno de la base de datos de elevaciones de Google Earth.



Ilustración 9: planificación de la misión con el software Mission Planner

En el campo de vuelo será necesario colocar dianas de 70cm de diámetro sobre las que tomaremos nota de su posición con el GPS, el fin de realizar esto es poder verificar la precisión del modelo obtenido con posterioridad, introduciendo dicha información en forma de checkpoints en el software de postprocesado.



Ilustración 10: diana que usaremos como GCP

7 POSTPROCESADO DE DATOS

En esta etapa extraeremos los registros de coordenadas de los dispositivos y los sincronizaremos para obtener las posiciones de las fotografías tomadas por el dron con las correcciones PPK

7.1 Extracción Log controladora de vuelo

La controladora de vuelo embarcada en el Rover almacena todas las variables del vuelo de una forma análoga a una caja negra de un avión.

Nos interesa extraer los mensajes CAM y su relación con las coordenadas GPS almacenadas durante el vuelo.

Otra relación interesante que se puede obtener de los registros de vuelo, es el delay existente entre la función TRIG, es decir, la orden de disparo de la controladora de vuelo, y la correspondiente fotografía, es decir, el registro CAM, que como previamente se explicó, extraemos y almacenamos con independencia de la orden de disparo.

Para extraer el Log, se conecta la controladora de vuelo al ordenador mediante un cable USB, y se siguen los siguientes pasos:

- Abrir mission planner y conectar el dron seleccionando el puerto COM en el que esté conectado
- En la pestaña Dataflash Logs, seleccionar “Download Logs”
- Descargar el log correspondiente al vuelo realizado.

Una vez extraído el log en el ordenador, se ha de importar a Excel, para ello se seguirán los siguientes pasos a fin de tener una estructura de datos coherente con la que trabajar:

- Importar los datos del archivo .log, eligiendo separación por coma
- Ordenar los datos de la columna A por orden alfabético
- Buscar todos los eventos CAM y copiarlos a una nueva hoja, en la nueva hoja, ordenar los eventos CAM por la columna C, correspondiente a la hora GPS

7.2 Extracción de Logs unidades GNSS externas

Este procedimiento se ha de repetir para ambas unidades, almacenando los datos extraídos en carpetas diferentes de modo que su localización posterior resulte sencilla

7.2.1 Extracción del archivo .UBX

Para extraer el archivo .ubx debemos acceder al panel de configuración de la unidad GNSS conectándonos a la red wifi que la propia unidad crea al encender, y accediendo a la pestaña Logging, descargamos el archivo .ubx de RAW data correspondiente a las observaciones realizadas en las carpetas BASE y ROVER que previamente han sido definidas en el ordenador.

Una vez descargado el archivo, la extensión se ha de renombrar de UBX a .ubx para que pueda ser interpretada como una extensión válida.

7.2.2 Conversión a RINEX

Desde el software RTKCONV, se han de seguir los siguientes pasos para convertir el archivo .ubx en archivos de observaciones.

Para ello ha de marcarse en opciones la versión RINEX 3.03 (a la fecha de realización de este TFG la última disponible) y seleccionar el archivo fuente.

Una vez marcados los ajustes, se puede proceder a convertir el archivo haciendo click sobre el botón “Convert”. Esta conversión ha de hacerse nuevamente tanto para el Rover como para las observaciones de la BASE.

7.3 Corrección de las posiciones del rover

Desde el software RTKPOST, marcamos en ajustes el modo de observación “kinematic” con formato de tiempo “hh ssss GPST” y seleccionamos en la vista principal las observaciones recogidas tanto del Rover como de la Base.

Para limitar el tiempo de postprocesado y prevenir errores de memoria, podemos definir la fecha y hora de inicio, así como las de finalización a partir de las cuales queremos que corrija posiciones.

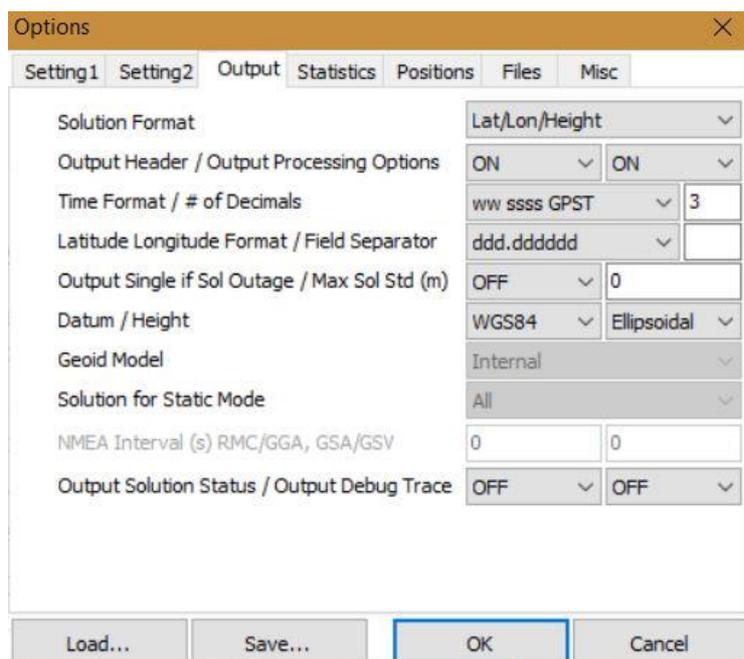


Ilustración 11: ajustes RTKPOST

Al pulsar el botón “execute” el software comenzará a corregir las posiciones del Rover en función de las observaciones de la Base, obteniendo un resultado final con mejor resultado que el que hubiéramos obtenido siguiendo el método RTK.

El archivo obtenido, nombrado como Rover_XXX.pos es el movimiento corregido y registrado del Rover, y el que posteriormente usaremos para geoetiquetar las fotografías combinando la información obtenida con los registros CAM de la controladora de vuelo.

En caso de haber tenido la cámara conectada directamente al módulo GNSS del Rover, podríamos haber obtenido un segundo archivo .pos, llamado Rover_XXX_events.pos donde los eventos CAM hubieran quedado registrados, de forma que nos ahorraríamos el paso de geoetiquetado manual que tendremos que hacer posteriormente.

Por limitaciones del hardware de la cámara, este paso no se podrá realizar.

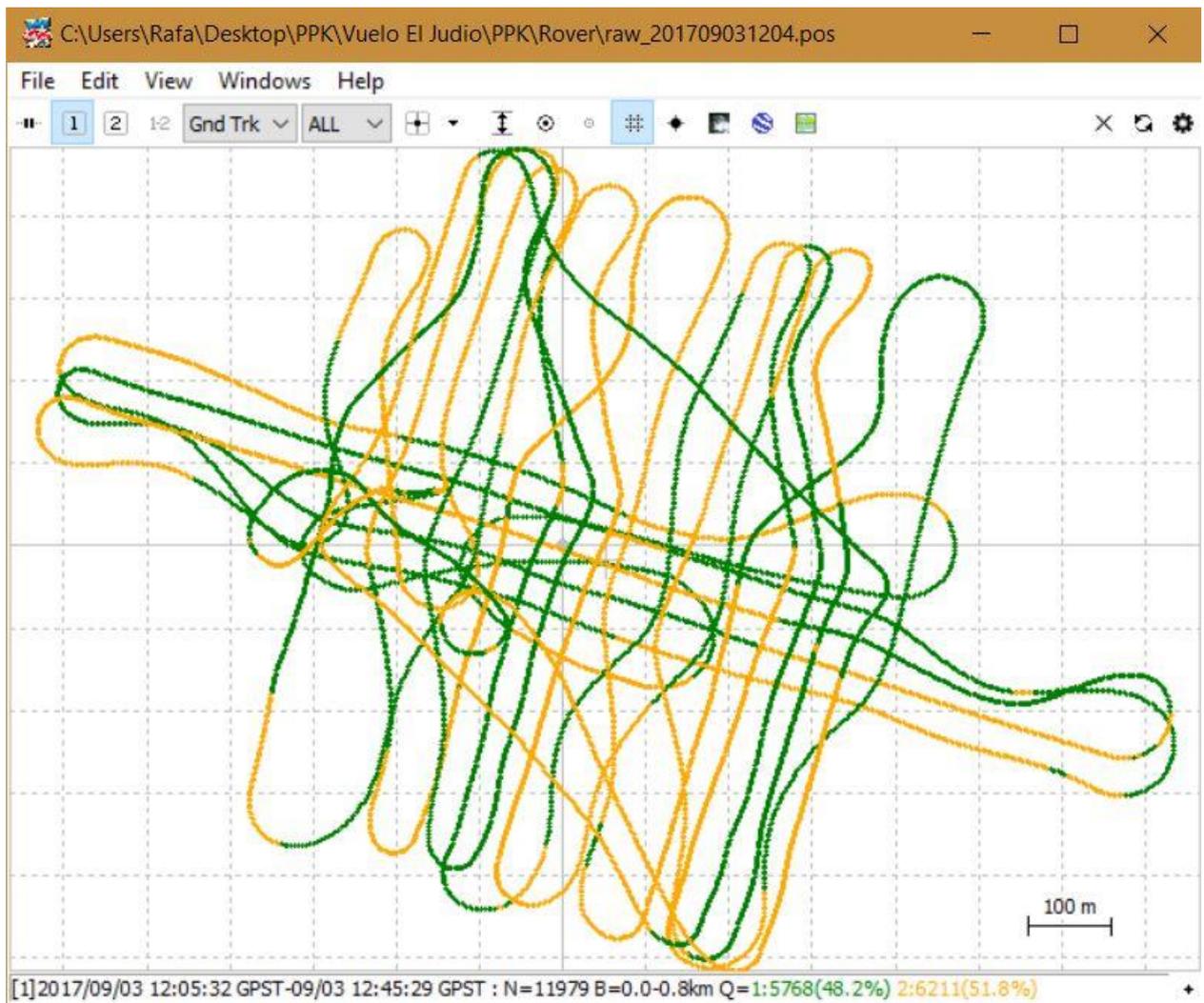


Ilustración 12: vuelo realizado por el RPA con posiciones del Rover corregidas

7.4 Corrección de los registros CAM

Una vez extraídos los logs, es necesario preparar dos archivos con extensión .csv para su posterior tratamiento con Matlab, que se encargará de buscar las posiciones corregidas del rover en función del tiempo GPS de los eventos CAM

7.4.1 Archivo “Registro CAM”

Se trata de un documento csv en el que se guardan:

- Nombres de las imágenes obtenidas por la cámara, debe haber un número igual de filas que fotografías en el vuelo.
- GPST o GPS Time correspondiente a cada CAM registrado por la controladora de vuelo.

El número de fotografías y de mensajes CAM ha de ser igual, ya que cada mensaje CAM se corresponde con una verificación de obturación de la cámara, siendo imposible que existan discordancias.

7.4.2 Archivo “PPK”

Se trata de un documento .csv en el que se guardan:

- GPST o GPS Time correspondiente a cada vez que el módulo GNSS ha almacenado datos relativos a posición
- Latitud, latitud correspondiente a ese GPST
- Longitud, longitud correspondiente a ese GPST
- Height, altura correspondiente al GPST

Estos datos son obtenidos del registro postprocesado del Rover, tras correr RTKPOST

7.4.3 Corrección con Matlab

Una vez se tienen los archivos .csv, se pueden importar a Matlab donde se correrá el código de corrección de posiciones, que creará un nuevo archivo .csv en el que obtendremos tres columnas, correspondientes a longitud, latitud y altura.

Es necesario abrir este archivo en Excel y modificarlo, insertando una nueva columna a la izquierda con el nombre de las imágenes que previamente guardamos en el archivo “registro CAM.csv”, de modo que, a la hora de importarlo al software, éste pueda encontrar las imágenes que geoposicionar.

8 ESTUDIOS FOTOGRAMÉTRICOS

8.1 Software de postprocesado

En la sesión de estudio fotogramétrico, se pretende medir la mejora obtenida en el geoposicionamiento de los resultados

El software empleado ha sido PIX4D por varias razones:

- Posibilidad de prueba gratuita
- Geoetiquetado automático de fotografías con logs de arduplane
- Fácil interface de usuario y workflow
- Informes completos sobre los resultados obtenidos.

En ambos casos, se han usado los mismos CGP (ground control points) a fin de que el modelo obtenido pueda ser verificado bajo el mismo sistema en ambos casos

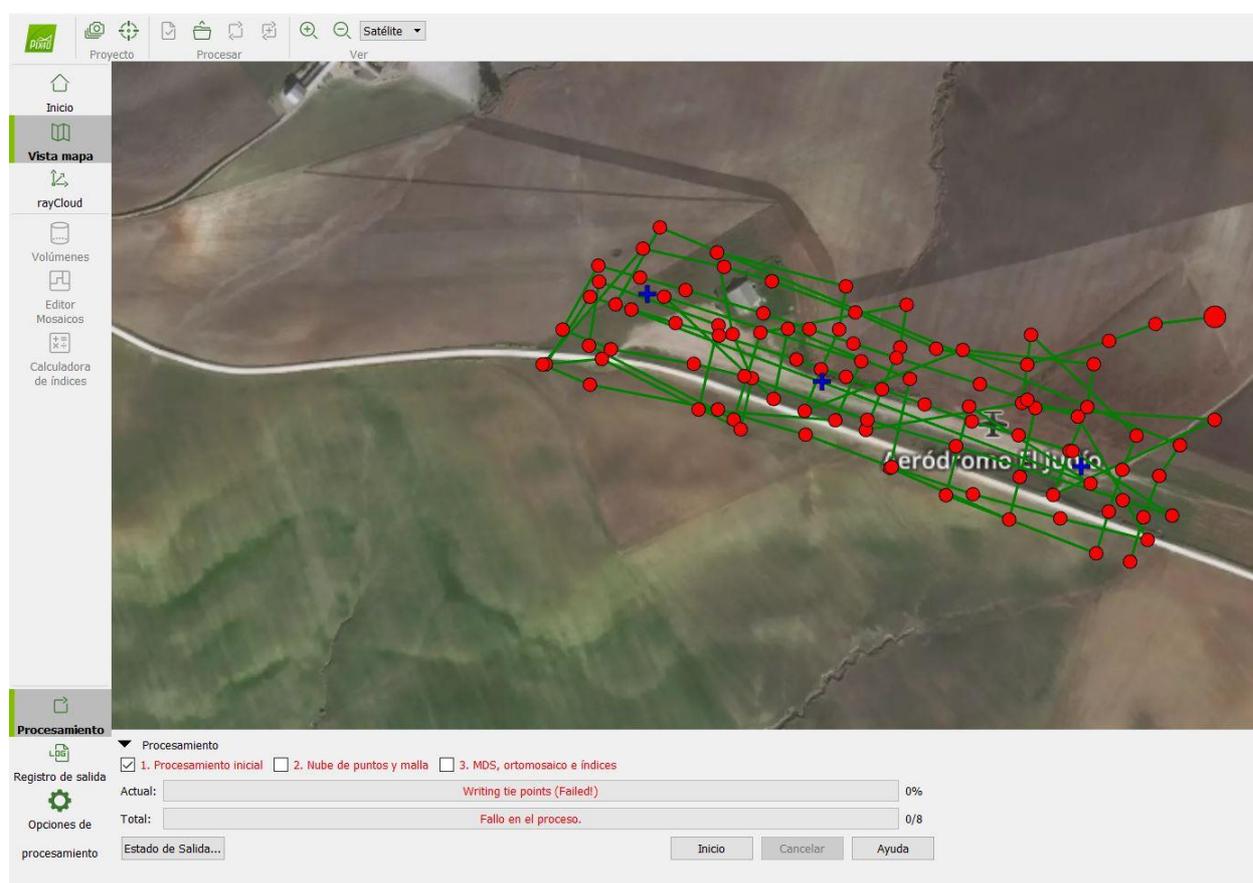


Ilustración 13: Pix4D postprocesando las imágenes del vuelo

8.2 Error RMS

El error RMS es la medida del error cuadrático medio obtenido en el geoposicionado frente a los GCP 20.

Se trata del indicador más relevante a la hora de estudiar la precisión de un modelo, y es uno de los datos que Pix4D exporta en sus informes de vuelo. Será el elemento sobre el que basemos la precisión del estudio.

8.3 Vuelo geotiquetado con GPS de navegación

En el vuelo geotiquetado con GPS de navegación, se puede apreciar una notoria mejora al haber cambiado el sistema de geotiquetado de las imágenes, al elegir el parámetro CAM como referencia en lugar del TRIG, se obtiene un geoposicionamiento del modelo final mucho más preciso que en pruebas anteriores siguiendo el método de geotiquetado tradicional.

🔍 Absolute Geolocation Variance



Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-0.08	16.46	8.86	37.97
-0.08	-0.06	3.80	2.53	2.53
-0.06	-0.05	6.33	6.33	2.53
-0.05	-0.03	3.80	8.86	1.27
-0.03	-0.01	7.59	12.66	2.53
-0.01	0.00	5.06	7.59	1.27
0.00	0.01	6.33	18.99	1.27
0.01	0.03	6.33	6.33	2.53
0.03	0.05	11.39	8.86	0.00
0.05	0.06	11.39	6.33	1.27
0.06	0.08	6.33	2.53	3.80
0.08	-	15.19	10.13	43.04
Mean [m]		-0.000000	-0.000000	-0.000000
Sigma [m]		0.106879	0.062751	0.411859
RMS Error [m]		0.106879	0.062751	0.411859

El resto de parámetros del informe se pueden obtener del Anexo 1

8.4 Vuelo geotiquetado con GPS PPK

La mejora del vuelo geoposicionado con las posiciones corregidas del rover respecto a las originales del GPS de navegación, presentan una mejora en 3.2 cm en el eje X , 16.8 cm en eje Z y un emperamiento de 2.3 cm en el eje Y, como se puede apreciar en la imagen adjunta del error cuadrático medio

🔍 Absolute Geolocation Variance



Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-0.08	15.91	18.18	28.41
-0.08	-0.06	3.41	1.14	2.27
-0.06	-0.05	7.95	5.68	1.14
-0.05	-0.03	4.55	6.82	2.27
-0.03	-0.01	13.64	9.09	5.68
-0.01	0.00	10.23	10.23	3.41
0.00	0.01	7.95	6.82	3.41
0.01	0.03	5.68	5.68	7.95
0.03	0.05	9.09	6.82	3.41
0.05	0.06	2.27	6.82	3.41
0.06	0.08	2.27	7.95	4.55
0.08	-	17.05	14.77	34.09
Mean [m]		-0.000000	-0.000000	-0.000000
Sigma [m]		0.074791	0.085814	0.243676
RMS Error [m]		0.074791	0.085814	0.243676

9 FUTUROS TRABAJOS Y CONCLUSIONES DEL PROYECTO

La realización de este TFG pone de manifiesto que el uso de dos módulos GNSS de bajo coste para corregir las posiciones de la cámara durante el tiempo de vuelo, suponen una mejora notable en el posicionamiento del modelo fotogramétrico realizado con Pix4D.

Si bien la mejora no es tan notoria como a priori se podría pensar, esto es debido a que se ha cambiado la forma por defecto que tiene Pixhawk de almacenar los tiempos de disparo, basándolos ahora en el momento de obturación en lugar de en el momento en el que la señal es comandada, derivando en una mayor precisión en el geotiquetado desde el propio gps usado para navegación.

Durante la realización del proyecto, y teniendo en cuenta que ha sido un primer ensayo de una posterior plataforma de uso comercial, se han identificado los posibles cuellos de botella con los que potenciales clientes pueden encontrarse en el desarrollo de sus trabajos de mapeado, éstos han sido principalmente dos:

- **Cámara:** se ha de emplear una cámara que ofrezca velocidades de obturación lo más altas posibles, y zapata de flash. Con esto último se puede conseguir un pulso en el momento de obturación, que es almacenado directamente en el módulo GNSS, obteniendo directamente el geotiquetado de las fotografías al postprocesar el vuelo.
- **Vuelo:** al contar con una cámara de escasa calidad, y volar a favor de viento en algunos tramos de la misión, se han producido eventos TRIG que no se han correspondido con los CAM, esto es debido a la incapacidad física de la cámara de poder tomar fotografías y almacenarlas a la velocidad a la que el avión recorre la distancia fijada por el interalómetro de la planificación. Es fácilmente solucionable para cámaras sencillas si se vuela con viento cruzado, pudiendo mantener la velocidad lo más cercana posible a la velocidad objetivo fijada en la planificación del vuelo.
- **Postprocesado:** es necesario contar con un sistema más sencillo de postprocesado, de forma que el workflow sea lo más amigable posible para clientes. La forma más trivial de conseguirlo es actualizar la cámara a un modelo superior en el cual se almacenen los registros CAM directamente sobre el módulo GNSS, como se ha comentado en el punto anterior. La forma alternativa de hacerlo sería crear un .exe que buscara directamente en los directorios especificados los archivos .csv y devolviera otro .csv con las posiciones ya corregidas y listas para integrar en Pix4D

La correcta realización de los vuelos, contando con el equipo adecuado, proporcionaría una forma económica de emplear el uso de RPAs a la medición de volúmenes, abaratando sus costes y simplificando el proceso necesario para obtener los datos por parte de topógrafos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. D. G. Tejero, Topografía General y aplicada.
- [2] «Catalonia.org» [En línea]. Available: catalonia.org/cartografia/clase_07/index_clase_07.html.
- [3] «chdk wikia» [En línea]. Available: chdk.wikia.com/wiki/KAP_UAV_Exposure_Control_Script.
- [4] T. Takasu, «Github.com» 2012. [En línea]. Available: <https://github.com/tomojitakasu>.
- [5] TB_RTK, «community.emlid.com» [En línea]. Available: <https://community.emlid.com/t/fun-with-reaching-precision-to-a-new-level/4691>.
- [6] Pix4D, «Manual de usuario Pix4D».
- [7] «Manual usuario Mission Planner» [En línea]. Available: ardupilot.org/planner.
- [8] «Soporte web Emlid Reach» [En línea]. Available: emlid.com/blog.

ANEXO A
