

Vehículos aéreos no tripulados - UAV para la elaboración de cartografías escalas grandes referidas al marco de referencia SIRGAS-ECUADOR

Control Horizontal

Juan Carlos Sani
Grupo de Investigación Geoespacial
Universidad de Las Fuerzas Armadas
ESPE Sangolquí, Ecuador
jcss1023@icloud.com /
jcsani@espe.edu.ec

Alfonso Rodrigo Tierra Criollo
Grupo de Investigación Geoespacial
Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE
Sangolquí, Ecuador
artierra@espe.edu.ec

Alexander Alfredo Robayo Nieto
Grupo de Investigación Geoespacial
Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE
Sangolquí, Ecuador
aarobayo@espe.edu.ec

Abstract. - The accelerated geospatial technologies allow the development of precise applications at lower cost than using traditional methodologies. The development of UAS (Unmanned Aircraft Systems) technology allows the advance of new applications because its high resolution helps to improve applications such as local photogrammetry. The objective of this work is to generate and validate spatial information to Orthophotos on large scales linked to the framework SIRGAS reference time-ECUADOR 2014.00. The UAV (Unmanned Aerial Vehicle) from the Instrumental and Optics Company brand TRIMBLE model UX5 was used to fly and study the area of interest. The positional control was set to GNSS-MET EPEC to obtain precise coordinates. Preliminary results were an orthophotography capable of generating mapping 1: 500 and DSM (digital surface model). In this work the horizontal validation of photogrammetric products obtained from UAV technology is presented.

Resumen. - El avance acelerado de las tecnologías Geoespaciales en la actualidad, permiten desarrollar aplicaciones cada vez más precisas y con un costo menor, que al utilizar metodologías tradicionales. Por ejemplo, el avance de los UAS (Sistemas Aéreos No Tripulados) equipados con cámaras que poseen sensores más sensibles capaces de capturar escenas en formato digital de igual calidad que cámaras fotogramétricas, alcanzando precisiones sub métricas de forma más asequible. El objetivo de este trabajo es generar y validar información espacial para Ortofotos a escalas grandes enlazadas al marco de referencia SIRGAS-ECUADOR época de referencia 2014.00. Se utilizó el UAV (Vehículo Aéreo No Tripulado) de la empresa Instrumental y Óptica de marca TRIMBLE modelo UX5 con el que se sobrevoló la zona de estudio; para el control posicional la estación GNSS-MET EPEC se definió como base. Los resultados preliminares fueron una ortofotografía capaz de generar cartografía 1:500 y un MDS (Modelo digital de Superficie). En este trabajo se presenta la validación horizontal de los productos fotogramétricos obtenidos a partir de tecnología UAV.

I. INTRODUCCIÓN

Las plataformas aéreas no tripuladas son empleadas en numerosas aplicaciones. Los UAVs al ser dispositivos controlados por un mando remoto, permiten obtener información de lugares inaccesibles. Se usan mayoritariamente en aplicaciones de entretenimiento, seguridad y son una opción viable para fotogrametría.

En la actualidad los UAVs alojan dispositivos sensoriales que permiten coleccionar fotografías y videos de alta definición, los cuales mediante el proceso fotogramétrico digital pueden ser ortorectificados y así obtener mediciones aéreas de espacios urbanos o rurales, composición de mosaicos, cartografía base en escalas grandes. Es por ello que varios autores han incursionado en el análisis y desarrollo de esta tecnología; por ejemplo:

- Estudio de viabilidad de aplicaciones de observación aérea con UAVs y elaboración de un plan de empresa, Cataluña [1]
- Producción de productos cartográficos: MDT y ortofoto a partir de imágenes Capturadas por un vehículo UAV. [2]
- Estudio y Diseño de Metodología con Técnicas GPS para la actualización de la Cartografía Catastral del Municipio Palavecino (Venezuela).[3]
- Vehículos aéreos no tripulados para uso civil. Tecnología y aplicaciones. [4]
- Teledetección Aérea no Tripulada (“Unmanned Aircraft System”) (UAS), Ventajas y Aplicaciones. CENIA-Chile. [5]
- Demonstrating UAV-acquired real-time thermal data over fires. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. [6]

II. MARCO TEORICO

Una definición más actualizada de Fotogrametría nos da la Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS) la cual indica : “*Es el arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a través de grabación, medida e*

interpretación de imágenes y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos". Esta última definición es más amplia, abarcando técnicas modernas, y eliminando casi las diferencias existentes entre la Fotogrametría y la Teledetección. [7]

Proceso Fotogramétrico

Este proceso se realiza en fotogrametría en cuatro pasos bien diferenciados:

- **Orientación Interna:** Es la reconstrucción de la forma del haz perspectivo o lo que es lo mismo reconstrucción de la cámara con la que se obtiene la imagen con la ayuda de datos internos. En el caso de una fotografía, saber la distancia focal y otros parámetros.

- **Orientación Relativa:** Determinación de la posición relativa de un haz respecto a otro, de tal forma que las intersecciones de puntos homólogos en la fotografía determinen los puntos del objeto.

- **Orientación Absoluta:** Colocación y escalado de todo el bloque fotogramétrico con el apoyo de puntos de control referidos a un sistema de coordenadas terrestre.

- **Restitución:** Determinación e identificación de pares estereoscópicos con los puntos de objetos foto identificables.

Estos cuatro pasos constituyen el método general de la Fotogrametría. [7]

SISTEMA AÉREO NO TRIPULADO (UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS, UAS)

Un UAS es un sistema formado por un conjunto de elementos que posibilitan el vuelo de una aeronave no tripulada. Los elementos implicados en estos sistemas determinarán diferentes tipos de plataformas UAS. Es decir, el tipo de estructura aérea seleccionada, la aviónica instalada a bordo, la estación de control utilizada, la forma en que se realice el enlace de datos, etc. conformarán diferentes tipos de arquitecturas UAS. [8]

Clasificación de los UAV

A la hora de establecer una clasificación para los UAV se pueden utilizar diferentes criterios. Tal vez el más simple sea el que se basa en el tipo de aeronave utilizado para el diseño del vehículo (Figura 1). De acuerdo a éste pueden distinguirse a aquellas de despegue vertical de las que no lo son, estando dentro de las primeras las de ala rotativa o hélice (helicópteros y quad-rotors entre otros), los de ala flexible (parapentes, ala delta) y los auto-sustentados (dirigibles y globos). Dentro de los de despegue no vertical, se encuentran los de ala fija (aeroplanos). (Barrientos, Cerro, Gutiérrez, Martín, Martínez, & Rossi, 2007)

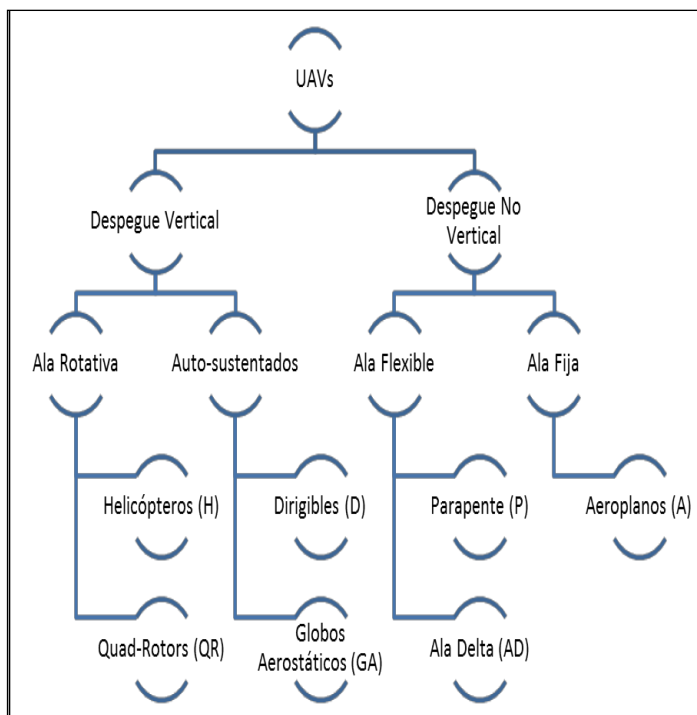


Figura 1. Clasificación de UAVs por el tipo de Aeronave y Despegue del equipo. **Fuente:** [3]

TRIMBLE UAS UX5

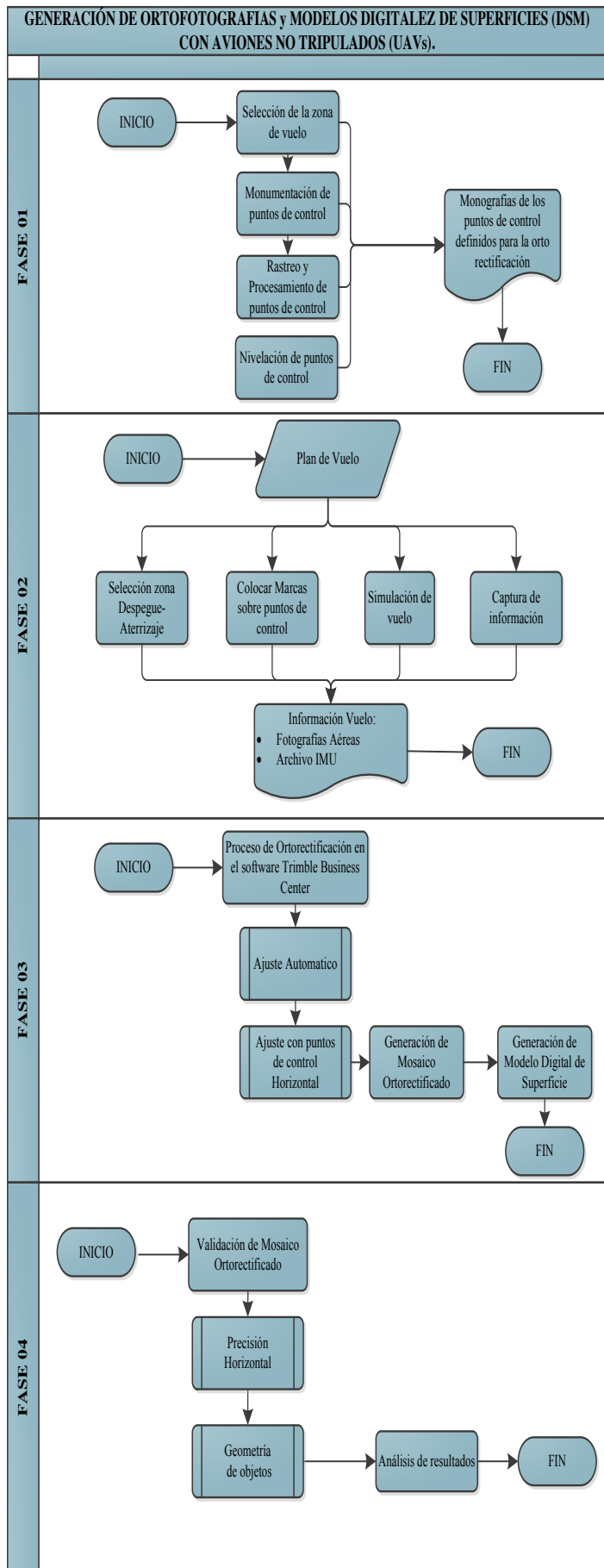
El sistema "UX5 Aerial Imaging Solution" de Trimble es una herramienta ideal e innovadora que puede ser utilizada para la topografía, minería, industria de petróleo y gas, así como en aplicaciones ambientales (tales como monitorización de catástrofes naturales), mediciones topográficas, monitorización de progreso, cálculo de volúmenes, análisis de desastres y construcciones y muchas otras aplicaciones.[9]

Precisiones

Las normativas cartográficas en las ordenanzas municipales y el manual para el desarrollo de Planes de Ordenamiento Territorial formulado por la Secretaria de Planificación del Ecuador (SENPLADES) exigen trabajos a un nivel catastral para el territorio urbano a escalas 1:1000 con un error permisible de 10 cm, y a escala 1:5000 a nivel rural con un error permisible menor a 1 metro. [10]

III. METODOLOGÍA

La metodología del proyecto se definió en cuatro fases que abarcan en términos generales los pasos a seguir para alcanzar los objetivos de este trabajo. (Cuadro 1)



Cuadro 1. Diagrama de flujo de la metodología del proyecto.

FASE 01 (Planificación)

Área de estudio

El vuelo se planificó para cubrir el campus de la Universidad de las Fuerzas Armadas, ubicado en la ciudad de Sangolquí en la provincia de Pichincha a 30 km Sur-Oeste de la ciudad de Quito. El vuelo cubrió aproximadamente 80 hectáreas.



Figura 2. Campus-Sangolquí Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Puntos de control

Se determinó once puntos de control dentro del campus universitario para utilizarlos en la generación de ortofotografía. Estos se monumentaron con mojones cilíndricos de 15 cm de diámetro obteniendo una red de puntos de alta precisión.



Figura 3. Ubicación Aproximada de la red de puntos de control para el vuelo ESPE.

✓ Rastreo GNSS

El rastreo de los puntos de control se realizó el 23 de septiembre del 2014, correspondiente al día GPS 266. Para realizar el posicionamiento de los puntos se utilizó la infraestructura de monitoreo continuo del Ecuador (REGME) utilizando la estación EPEC, la cual se encuentra dentro de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Para realizar el rastreo GNSS se contó con cuatro receptores:

- ✓ Dos Trimble 5800 (L1/L2)
- ✓ ProMark 120 (L1)
- ✓ ProMark 200 (L1/L2)

Se estableció observar cada punto un mínimo de una hora, con un intervalo de registro de 30 segundos, definiendo como marco de referencia para la obtención de coordenadas el SIRGAS-ECUADOR con época de referencia 2014.00, teniendo los siguientes resultados:

Nombre	Este	Norte	Altura Elipsoidal
espe-01	784442.029	9965483.131	2535.495
espe-02	784708.252	9965365.326	2518.768
espe-03	784565.680	9965137.598	2525.155
espe-04	784555.119	9964929.516	2529.823
espe-05	784390.697	9964722.932	2521.493
espe-06	784200.094	9964744.836	2522.547
espe-07	784120.974	9964909.731	2513.772
espe-08	784178.457	9965127.975	2511.544
espe-09	784254.974	9965220.369	2518.108
espe-10	784261.378	9965466.173	2517.662
espe-11	784350.157	9964965.616	2516.594

Tabla 1. Resultado del procesamiento de los puntos de control del vuelo ESPE enlazadas al marco de referencia SIRGAS-ECUADOR época de referencia 2014.0

▪ Nivelación

Se realizó una nivelación trigonométrica de ida y vuelta ajustando las cotas de la red de puntos de control del vuelo obteniendo los siguientes valores.

Nombre	Altura Nivelada
espe-01	2506.911
espe-02	2493.454
espe-03	2497.272
espe-04	2501.900
espe-05	2493.148
espe-06	2493.856
espe-07	2486.829
espe-08	2483.891
espe-09	2491.067
espe-10	2489.902

Tabla 2. Resultado del ajuste de la nivelación de la red de control para el vuelo ESPE.

FASE 02 (VUELO)

El vuelo se realizó en la ciudad de Sangolquí, utilizando el sistema fotogramétrico Trimble UX5.

Plan de vuelo

✓ Aerial Imaging

El software de campo Aerial Imaging, es la plataforma en la cual se realizó el plan de vuelo donde se definió los siguientes parámetros:

Altura de vuelo	120 m
GSD	3,8 cm
Traslado Longitudinal	82%
Traslado Transversal	82%
Tiempo de Vuelo	38 min

Tabla 3. Parámetros del vuelo ESPE.

Descargar Información

La información resultante del vuelo fue 893 fotografías tomadas en 32 líneas de vuelo, además del archivo GNSS/IMU en el que se encuentran las coordenadas de los centros de exposición de cada foto y sus respectivos valores Aleo (yaw, omega), cabeceo (pitch, phi) y deriva (roll, kappa) necesarios para la orientación interna de la fotografía.

✓ FASE 03 (Procesamiento)

El procesamiento de las imágenes y la generación del ortomosaico y su Modelo digital de Superficie se realizó en el software Trimble Business Center (TBC), en el módulo fotogrametría. Este paquete está diseñado para generar soluciones fotogramétricas del UX5.

Ajuste Automático

El módulo fotogramétrico del software TBC 3.30, realiza un ajuste del vuelo con los puntos de los centros de exposición de cada fotografía para realizar la aérea triangulación; los puntos fueron tomados en el vuelo con un receptor GPS L1 en DGPS logrando una precisión de $\pm 1,5$ m.

El software utiliza los puntos de centros de exposición para reconstruir el bloque fotogramétrico, este trabajo es automático ya que el vuelo genera un archivo resumen del trabajo con extensión .jxl nativa del software donde se encuentra la información necesaria para la orientación interna de cada fotografía.

Una vez reconstruido el bloque fotogramétrico con el archivo .jxl se procede a realizar un ajuste automático del trabajo, el cual genera puntos en común en todas las imágenes del proyecto los mismos que sirven de enlace entre las fotos para generar el mosaico orto rectificado posteriormente. Es necesario recalcar que el ajuste automático genera un ortomosaico y un MDS a priori cuya precisión geométrica y de posición se pretende evaluar en este documento.

Ajuste con Puntos de Control (GCP)

Para realizar el ajuste fotogramétrico con puntos de control (GCP) se procede a ingresar las coordenadas y cota nivelada de cada punto para poder realizar el pinchado de cada marca sobre las fotografías, logrando ajustar el bloque al marco de referencia SIRGAS-ECUADOR. Al pinchar los puntos de control en todas las fotos necesarias, se ajusta el bloque a coordenadas verdaderas obteniendo como resultado un ortomosaico.

✓ FASE 04

Validación de Mosaico Ortorectificado

La validación de los mosaicos tuvo dos fases, la primera es:

Posición (Horizontal/Vertical)

Para comprobar que los productos del UAV tienen la precisión necesaria para trabajar en escalas grandes, se procedió a tomar una muestra de 39 puntos GPS de precisión en el campus universitario para poder montarlos sobre la fotografía y verificar el ajuste del mosaico a la posición dada por los puntos de control.

Geometría de objetos

Este proceso se realizó sobre los mosaicos con y sin puntos de control respectivamente, verificando que las distancias y áreas que se pueden obtener de cada fotografía son similares. Se utilizó 10 objetos foto identificables, logrando determinar el objeto mínimo a identificar en los mosaicos, definiendo la escala de trabajo de los productos generados.

IV. CONCLUSIONES

Después del análisis y validación de los mosaicos ortorectificados, resultantes de la toma de fotografía aérea con el UAV de la marca TRIMBLE modelo UX5, se obtuvo imágenes ajustadas al marco de referencia SIRGAS capaces de generar cartografía en escalas grandes.

La escala de trabajo óptima para el mosaico ajustado automáticamente es 1:5000; pues en proceso de validación se observó una precisión media horizontal de 0,665 m y la diferencia en la geometría de objetos en promedio es 0,005 m, medida que para efectos de la escala es despreciable.

Para generar cartografía a escala 1:500, se debe obtener una precisión horizontal no mayor a 5 cm, por lo que se puede realizar sobre el mosaico fotogramétrico ajustado con puntos de control el levantamiento de información para esta escala de trabajo, ya que al validar la posición del mosaico se obtuvo una precisión horizontal media de 3 cm; cumpliendo con la tolerancia necesaria.

Además se consiguieron dos productos adicionales del procesamiento fotogramétrico, el primero es un modelo digital de superficie (MDS) con una resolución espacial de 0,20 m el cual fue generado con alturas niveladas; el mismo que a futuro será validado con un perfil de nivelación. El segundo producto es una nube de puntos en

formato .LAS que después de su edición está en la capacidad de generar modelos digitales de terreno (MDT).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Empresa INSTRUMENTAL & ÓPTICA, por la colaboración en la realización del presente trabajo, pues facilitó el uso y manipulación de los equipos y software necesario para la generación de fotografía aérea levantada con sistemas UAV.

REFERENCIAS

- [1] Gallardo, B. 2007. Estudio de viabilidad de aplicaciones de observación aérea con UAV's y elaboración de un plan de empresa, Cataluña. Extraído el 1 de octubre, 2013, del sitio web: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3604/1/55726-1.pdf>.
- [2] Fernández, R. 2010. Producción de productos cartográficos: MDT y ortofoto a partir de imágenes Capturadas por un vehículo UAV. Extraído el 1 de octubre, 2013, del sitio web: http://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/119810/1/TFM_MoraFemandezdeCordobaR_Generacion.pdf.
- [3] Camargo, J. 2011. Estudio y Diseño De Metodología con Técnicas GPS para la actualización de la Cartografía Catastral Del Municipio Palavecino (Venezuela). Extraído el 1 de octubre, 2013, del sitio web: <http://es.scribd.com/doc/112987196/tesis-fotogrametria-catastral>.
- [4] Barrientos, A., J. del Cerro., Gutiérrez, P., & R. San Martín. (2007). Vehículos aéreos no tripulados para uso civil. Tecnología y aplicaciones. Madrid. Extraído el 1 de octubre, 2013, del sitio web: <http://webdiis.unizar.es/~neira/docs/ABarrientos-CEDI2007.pdf>.
- [5] Castro, R. 2012. Teledetección Aérea no Tripulada ("Unmanned Aircraft System") (UAS). Ventajas y Aplicaciones. CENIA-Chile. Extraído el 1 de octubre, 2013, del sitio web: http://www.cenia.cl/documentos/docu50ed634f0e837_09012013_932am.pdf.
- [6] Ambrosia, V.; Wegener, S.; Sullivan, D.; Buechel, S.; Dunagan, S.; Brass, J. *et al.* (2003) Demonstrating UAV-acquired real-time thermal data over fires. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Extraído el 1 de octubre, 2013, del sitio web: http://asprs.org/a/publications/pers/2003journal/april/2003_apr_39_1-402.pdf.
- [7] Sánchez, J. A. (2006). INTRODUCCIÓN A LA FOTOGRAFÍA. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid - E. T. S. I. Caminos, Canales y Puertos.
- [8] Acosta, M. H. (11 de Enero de 2011). Aprobación Operacional de vuelo para un UAS. Recuperado el 16 de Febrero de 2015, de Universidad Politécnica de Catalunya: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/12465/1/memoria.pdf>.
- [9] TRIMBLE. (2013). TRIMBLE UX5 AERIAL IMAGING SOLUTION. Recuperado el 15 de Octubre de 2014, de TRIMBLE SURVEY, WESTMINSTER, CO, EE.UU.: http://uas.trimble.com/sites/default/files/downloads/trimble_ux5_w_hitepaper_spanish.pdf.
- [10] Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2011). Guía de contenidos y procesos para la formulación de Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de provincias, cantones y parroquias. Quito: Subsecretaría de Planificación Nacional, Territorial y Políticas Públicas.