

Georreferenciación directa en RPAS: ¿mito o realidad?

Oscar Cuadrado Méndez⁽¹⁾, Agustín Menéndez Díaz⁽²⁾, Silverio García Cortes⁽²⁾, José Martínez Rubio⁽³⁾, Jesús Álvarez⁽⁴⁾,

⁽¹⁾ Servicio de Cartografía. Gobierno del Principado de Asturias. C/Coronel Aranda S/N. 33071. Oviedo.

⁽²⁾ Departamento de Explotación de Minas. Universidad de Oviedo. Escuela Politécnica de Mieres. C/Gonzalo Gutiérrez Quirós. 3360.0 Mieres.

⁽³⁾ Geobit Consulting. <https://www.geobit.es/>

⁽⁴⁾ Droning. <http://www.droning.es/es/>

Resumen

En el momento actual se está produciendo una verdadera efervescencia en el desarrollo de RPAs (Remotely Piloted Aircrafts) con el objetivo de la realización de diversas tareas en al ámbito civil. Una de éstas es la generación de productos cartográficos de escala grande ($> 1:1000$), derivados a partir de imágenes tomadas desde dichas plataformas.

Habitualmente estos equipos requieren de un alto nivel de precisión, se basan en estrategias de captura de datos autónomas, persiguiendo una total independencia de las labores topográficas de campo como puede ser el registro de GCP's (Ground Control Points). Los niveles de precisión requeridos en las metodologías de orientación directa o semi-directa sólo parecen alcanzables en aquellos sistemas dotados de un posicionamiento preciso tanto en posición como en actitud del sensor. Hasta la fecha dichos sistemas se caracterizaban por elevados costes, que alcanzaban varios miles de euros, por lo que dicha precisión estaba limitada a algunos sectores o profesionales.

Tras la aparición de nuevos sensores GNSS y al abaratamiento de estos, se está posibilitando la producción de equipos con precios cada vez más asequible a los profesionales del sector, bien sean empresas (de mayor o menor tamaño) bien profesionales liberales.

Gracias a la cesión por parte de las empresas Geobit – Droning de un RPA - con sistema GNSS L1/L2 propio - para realizar determinados ensayos se ha podido contrastar la precisión que es posible alcanzar en lo que respecta a la georreferenciación directa o al menos la orientación externa a priori requerida por determinadas herramientas de software para la producción de ortofotografía y subproductos posteriores

Se han realizado ensayos en diferentes escenarios: minería, obra lineal o zonas con mala textura con el objeto de determinar la repetibilidad en la precisión ofertada.

En el aspecto de la precisión intervienen múltiples factores como pueden ser cobertura de satélites, escenario del vuelo, redundancia de los datos, porcentajes de solapes, o la estabilidad en la calibración del sensor. Todos estos parámetros han sido considerados en los diferentes proyectos realizados de cara al análisis de los datos. Los resultados obtenidos son fuertemente influenciados por el tipo de sensor empleado, el tipo de tratamiento previo que se haya realizado sobre el sensor/lente así como el escenario o el tipo de vuelo planificado.

Finalmente, se muestran los resultados obtenidos en los diferentes escenarios, dejando abierta la posibilidad de realización de nuevos ensayos con el objeto de contrastar los resultados obtenidos

Summary

Nowadays we are witnessing real boiling in the development of RPAs (Remotely Piloted Aircrafts) aiming to many different purposes in the civil sphere. One of these fields of application is the generation of large scale mapping products derived from images taken from these platforms.

As it is well known this task require a high level of accuracy that is currently based in surveying reference points by means of well established techniques. But as has happened with the capture of imagery that has become autonomous, there is a demand for solutions that can offer independence of all topographic field works required for GCP's (Ground Control Points) measurement. The level of accuracy required by methodologies of direct or semi-direct images orientation only seems achievable for high precision airborne inertial units commonly seen as the only way to obtain accurate position and attitude of the image sensor systems. These high end systems costs can reach thousands of euros, so that accuracy seems exclusive just for certain sectors or professionals.

Thanks to the kindness of the companies Geobit Consulting and Droning Sistemas Aéreos, it has been possible to have an ow developed RPA system with built in GNSS L1 / L2 to perform various tests. This has made possible to verify the accuracy that can be achieved aiming to direct georeferencing or a priori external orientation given by onboard sensors for the production of orthophotos and other products.

Tests were carried out in different scenarios: mining, corridor or areas with poor texture in order to determine the repeatability in the offered precision.

Many factors have been found to influence the final accuracy, such as satellite coverage, flight scenario, data redundancy, overlapping percentages, or stability in calibration sensor. All these parameters have been considered in different projects conducted for the analysis of the datasets. The results are strongly influenced by the type of sensor used as well. This paper exposes the results obtained in the different scenarios, leaving open the possibility of further testing in order to compare the results obtained.

Palabras clave

GNSS multiconstelación, geoetiquetado preciso, puntos de control, eventos de disparo, estampación precisa de tiempo, precalibración de sensor visible

Antecedentes

El empleo de RPAS como instrumentos de trabajo cotidianos es una realidad en el momento actual. La evolución de este tipo de equipos en los últimos 5 años ha sido increíble, pasando de existir una o dos marcas comerciales pioneras en el sector, a estar hablando de varios equipos de reconocido prestigio en los sectores de la instrumentación topográfica.

Entre otros deberíamos nombrar modelos como el Trimble UX5 HP [1], Topcon Sirius Pro [2], Ebee RTK [3], Aebotix x6 [4], QuestUAV DataHawk [5], Drobit DE820 [6], dejando fuera infinidad de marcas.

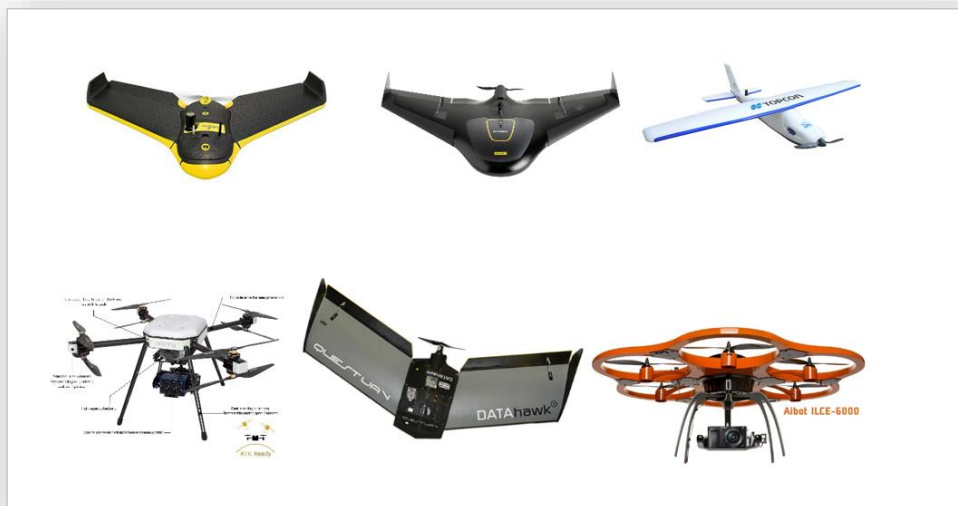


Fig. 1 RPAS con sistemas de posicionamiento preciso

Todos estos equipos tienen una trayectoria en el mercado, habiendo evolucionado tecnológicamente desde la navegación asistida por satélite en modo absoluto, a disponer de sistemas de posicionamiento preciso mediante técnicas diferenciales [7], tanto en postproceso como en tiempo real.

El abaratamiento de las placas GNSS ha permitido a los integradores de equipos RPAS la posibilidad de incorporar sistemas de posicionamiento diferencial con una buena relación precisión-precio.

En este campo, podríamos diferenciar claramente dos tipos de placas GNSS, siendo importante esta diferenciación, dado que el salto económico es importante. Las placas que son capaces de realizar un seguimiento L1 (en diferentes constelaciones) o aquellas que son capaces de trabajar en L1/L2. Prácticamente todas las soluciones que utilizan el primer grupo de placas basan sus sistemas en receptores Ublox [8], firma suiza de reconocido prestigio pero siempre con chips L1. En el grupo de las placas L1/L2, podemos encontrarnos con diferentes soluciones OEM de los principales fabricantes de equipos topográficos como son Trimble [9], Topcon [10], Novatel [11] o Javad [12].

Paralelamente, diferentes empresas del sector topográfico han desarrollado sus propias soluciones de posicionamiento con placas de firmas menos conocidas, con electrónica y software propio para su gestión e integración con los diferentes autopilotos empleados en la actualidad. Entre ellas podemos encontrarnos soluciones nacionales como pueden ser la solución RTKite de NorthSurveying [13], o la solución Drobit de la alianza empresarial Droning/Geobit [14]



Fig. 2 Soluciones nacionales de posicionamiento preciso

Los autores de este trabajo han podido disponer de varios sets de datos (imágenes más datos GNSS) capturados con los sistemas desarrollados por estos últimos, así como los datos de campo correspondientes para realizar diferentes procesados orientados a

comprobar la posibilidad de empleo de sistemas RPA con orientación directa o al menos con dependencia de campo mínima.



Fig. 3 Multirotores DE820 y DE650

Metodología

El objetivo fundamental del trabajo es comprobar si es posible el cálculo de la orientación externa sin la necesidad de incluir puntos de apoyo, o lo que es lo mismo, la orientación directa de los fotogramas. Como dato conocido, partimos de una posición de los fotocentros calculada a partir del procesado GNSS de la trayectoria seguida por el RPA durante la ejecución de la misión.

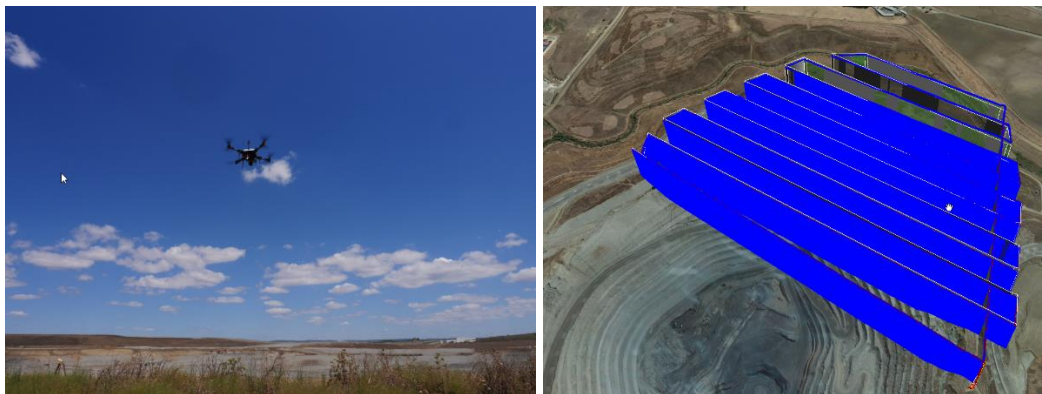


Fig. 4 Multirotor DE650 ejecutando la misión

La solución de posicionamiento preciso utilizada en el DE650 es la de postprocesado, dado que en misiones de vuelo orientadas a la producción cartográfica no es estrictamente necesario el conocimiento de la posición precisa en tiempo real. Otros fabricantes han optado por esta misma solución [1]

El equipo GNSS registra posiciones con una frecuencia de 20 Hz, por lo que la posición definitiva de cada fotocentro debe ser estimada a partir de la interpolación de estas posiciones en un momento determinado (evento).

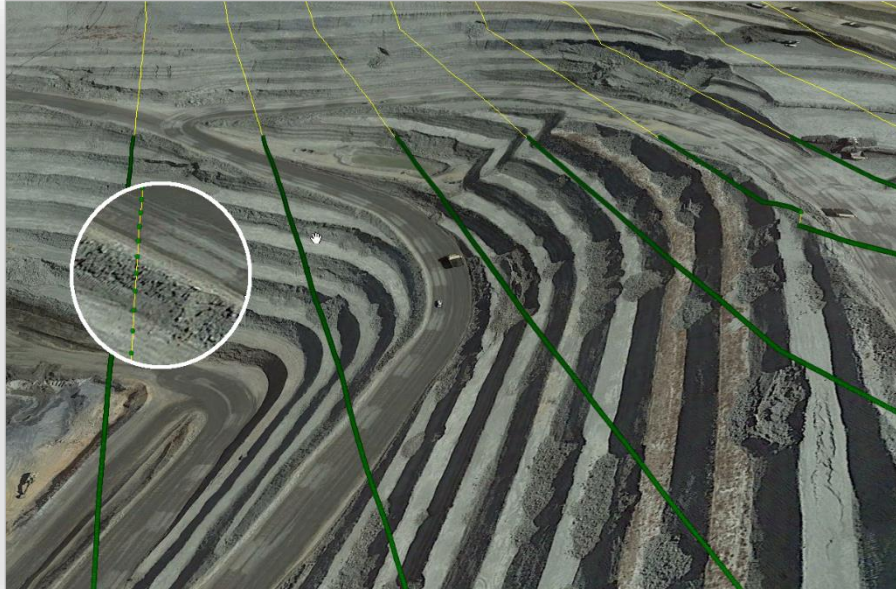


Fig. 5 Frecuencia de registro de datos GNSS a 20 Hz

La solución fotogramétrica implementada en el DE650 utiliza una cámara Sony a6000 (o similar) con un objetivo Voigtlander. Los disparos de la cámara son gestionados por el autopiloto, para lo que es necesario haber diseñado previamente la misión de vuelo. En este apartado el software no está suficientemente desarrollado si lo comparamos con otras aplicaciones en las que el análisis de la misión desde el punto de vista de recubrimientos o zonas de control de calidad [15].

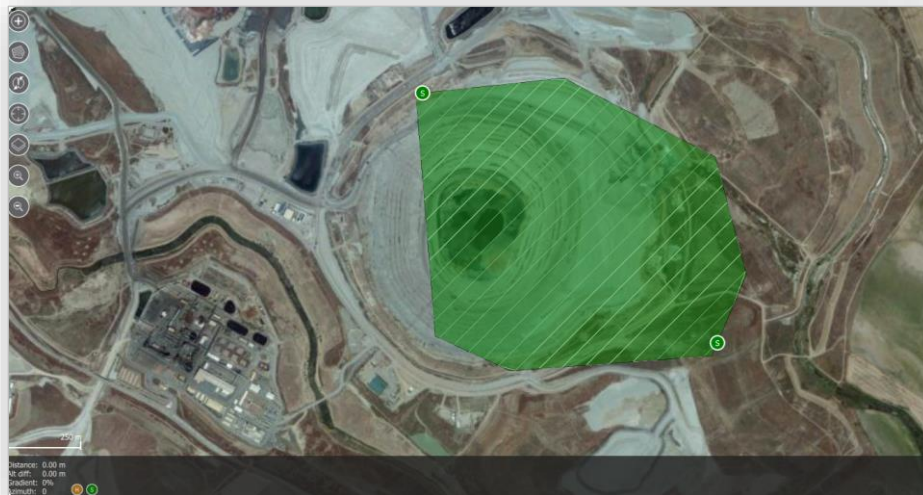


Fig. 6 Planificación de la misión

La cámara dispone de una zapata que es capaz de registrar el evento disparo, de forma idéntica a una cámara fotogramétrica convencional.



Fig. 7 Registro del evento disparo mediante zapara

Este evento es registrado por el sistema GNSS que lo almacena mediante una entrada de tiempo, lo que nos permite posteriormente interpolar la posición en ese momento determinado a través del procesado de la trayectoria.

Como hipótesis de partida se han planteado los siguientes supuestos:

- a) Cámara “precalibrada”
- b) Fotocentros como puntos conocidos con una incertidumbre mínima asociada < 5 cm sin apoyo de campo

- c) Fotocentros como puntos conocidos con incertidumbre mínima asociada < 5 cm, empleando apoyo mínimo (5 puntos)
- d) Fotocentros como puntos conocidos con incertidumbre mínima asociada < 5 cm, empleando apoyo completo

El software implicado en el procesado es la herramienta PhotoScan Pro, tanto en la parte de calibración de la cámara como en la de ajuste y producción fotogramétrica.

Como paso previo a los trabajos de campo se ha procedido a la “precalibración” de la cámara en laboratorio, utilizando patrones de calibración. Dado que la cámara utilizada no adolece de Rolling Shutter, es importante centrarse en la determinación de los parámetros internos tradicionales [16] [17] [18] [19] [20] [21].

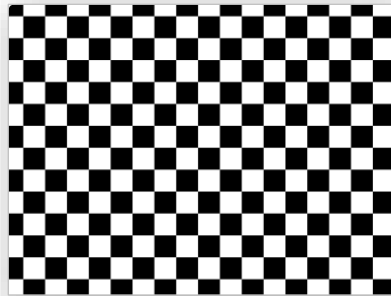


Fig. 8 Precalibración de la lente mediante patrones

Esta precalibración ha sido contrastada a lo largo de varias sesiones para comprobar la estabilidad de la lente en diferentes condiciones. Esos parámetros conocidos serán tomados como valores iniciales aproximados en el ajuste en bloque de las diferentes misiones fotogramétricas ejecutadas.

Para la calibración in-situ se ha escogido un escenario simple de auto-calibración [22].

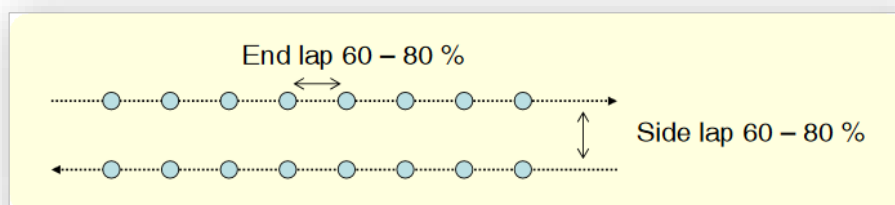


Fig. 9 Escenario simple de auto calibración [22]

El empleo de un tipo de escenario u otro esta ampliamente documentado en trabajos previos, tanto para cámara fotogramétricas digitales convencionales [22] como en RPAS [23] [24]. No se ha considerado en este bloque la realización de pasadas transversales a diferente altura, dado que precisamente lo que se está intentando comprobar es si en un vuelo convencional para producción sería viable este tipo de instrumentación y metodología.

Está claro que el utilizar líneas transversales a diferente altura nos va a permitir un mejor ajuste en el cálculo de la focal. En el caso de que, tras la planificación simple de una misión tuviéramos energía remanente en la planificación del consumo de la batería, no estaría de más introducir pasadas transversales que solo se utilizarían en el ajuste (normalmente estas pasadas deben ejecutarse a mayor altura que el vuelo empleado para producir la ortofotografía).

Como señalización se ha empleado dos tipos de señales diferentes en materiales brillo y mate. Como se puede apreciar las cruces tienen una mayor definición que las dianas con patrón de cuadros



Finalmente se ha procedido a la ejecución de la misión, la fase más sencilla de todo el proceso, dado que está en todo momento asistida por el autopiloto



Fig. 10 Ejecución de la misión de vuelo

Se ha establecido una base de referencia GNSS fija ubicada en la zona de trabajo, la cual ha sido enlazada con la red GNSS oficial (RAP) [25] mediante una triangulación. Posteriormente se han utilizado las coordenadas calculadas como conocidas para el procesamiento cinemático de las trayectorias del RPA.



Fig. 11 Base de referencia GNSS en la zona

Tras la ejecución de la misión se ha procedido al procesamiento de los datos GNSS y a su interpolación. Para ello se ha utilizado una herramienta proporcionada por el fabricante en la que de una forma ágil y sencilla se cargan los diferentes datos necesarios, ficheros de observación GNSS de la estación de referencia y el RPA, efemérides radiodifundidas o precisas, así como los datos del IMU de la plataforma.

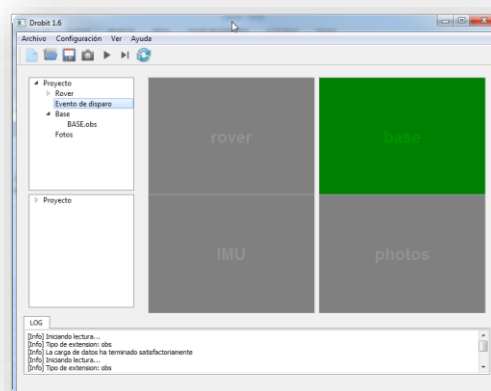


Fig. 12 Procesado de las trayectorias

Finalmente, se ha procesado el vuelo con las hipótesis planteadas, incluyendo todos los puntos de control, sin puntos de control o con apoyo mínimo (5 puntos).

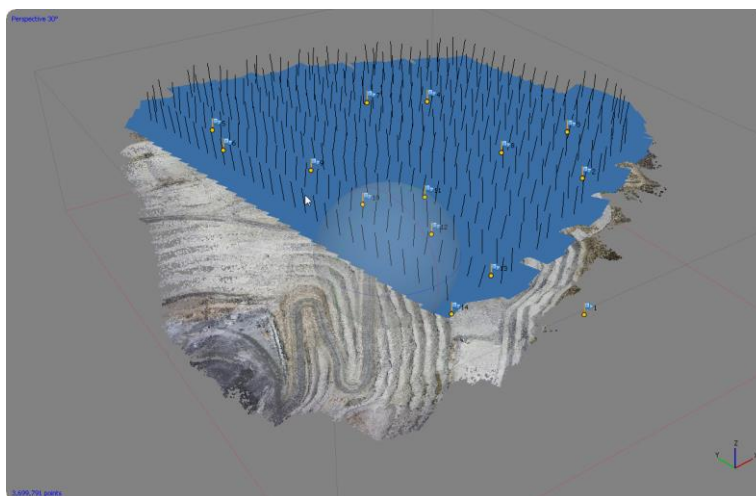
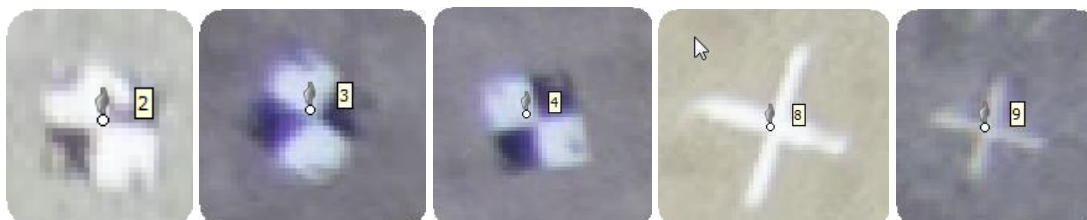


Fig. 13 Procesado de la misión con software Photoscan Pro

En el caso más desfavorable, es decir sin apoyo, nos encontramos con que el ajuste está por debajo de los 15 cm. Una representación gráfica de esta circunstancia se puede comprobar si cargamos los puntos de apoyo sin pincharlos sobre ningún fotograma. Podemos comprobar el grado de aproximación al centro de la señal. Hemos de unos datos de precalibración conocidos



*Fig. 14 Superposición de puntos de apoyo sobre imágenes. Las dimensiones de las placas con 0.50m x 0.50m y 0.15m * 1.00 m para las cruces*

Tras el pinchado de 5 puntos de apoyo los residuales bajan a 0.04 m en los puntos empleados en el ajuste, llegando a 0.08 m en determinados puntos de control

Finalmente, pinchando la totalidad de puntos de apoyo, los residuos en esos puntos están por debajo de 0.03 m, con residuos de 0.05 m en los puntos de control.

Conclusiones

En la actualidad existen varias marcas que afirman la posibilidad de producción de productos geomáticos sin la necesidad de apoyo en campo. Esta es una realidad con la que podemos contar a la hora de afrontar determinados trabajos, pero siempre

deberíamos contar con puntos de control que respalden esta afirmación. Debemos volver siempre atrás y recordar las sabias palabras del profesor de prácticas, que siempre nos recordaba en el último momento si habíamos cerrado la poligonal, si habíamos realizado alguna observación angular de comprobación, etc. Todo trabajo topográfico se basa en la redundancia y en el ajuste de observaciones, por lo que deberíamos disponer siempre de suficientes puntos de control que permitan garantizar que un trabajo tiene unas precisiones determinadas. La metodología que empleemos va a influir en gran manera en dicha precisión, por lo que deberemos valorar si es necesario aumentar los puntos medidos en campo o incluir pasadas transversales de cosido para garantizar el ajuste en bloque.

Tras este sencillo estudio realizado, han quedado pendientes múltiples ensayos antes de obtener conclusiones definitivas al respecto. Empleo de diferentes tipos de lentes con un mismo sensor, diferentes escenarios, diferentes parámetros meteorológicos, configuraciones geométricas de la misión (trazas lineales, orografía, etc.)

En este ensayo se ha utilizado exclusivamente un software gracias a la cesión de licencias para el ensayo. Sería interesante realizar los mismos pasos en otras herramientas, tanto comerciales como Open Source.

Lo que sí que podemos concluir, es que equipos con un precio notablemente inferior al de las firmas de primera división son capaces de competir en cuanto a precisiones y productividad. Han llegado al sector nacional o internacional y han llegado para quedarse. Tendremos que esperar un tiempo antes de poder ver como se estabiliza el sector.

Agradecemos la colaboración de las empresas Droning [6] y Geobit [14] a través de sus directores técnicos por la cesión de los datos y las licencias de Photoscan para el procesamiento de la fase fotogramétrica.

Bibliografía

- [1] Trimble, "UX5 HP | Unmanned Aircraft Systems - Trimble." [Online]. Available: <http://uas.trimble.com/ux5-hp>. [Accessed: 30-Sep-2016].
- [2] Topcon, "Sirius Pro | Topcon Positioning Systems, Inc." [Online]. Available: <https://www.topconpositioning.com/mass-data-collection/aerial-mapping/sirius-pro>. [Accessed: 30-Sep-2016].
- [3] Sensefly, "eBee RTK: senseFly SA." [Online]. Available: <https://www.sensefly.com/drones/ebest-rtk.html>. [Accessed: 30-Sep-2016].
- [4] "Aebotix X6." [Online]. Available: <https://www.aibotix.com/en/overview-aibot-uav.html>. [Accessed: 30-Sep-2016].
- [5] <http://www.questuav.com>, "DATAhawk." [Online]. Available:

- <http://www.questuav.com/store/uav-packages/datahawk/p-149>. [Accessed: 30-Sep-2016].
- [6] Droning - Drobit, "Multirotor profesional DE820." [Online]. Available: <http://www.droning.es/de820-multirotor-profesional/>. [Accessed: 30-Sep-2016].
 - [7] Navipedia, "Differential GNSS." [Online]. Available: http://www.navipedia.net/index.php/Differential_GNSS. [Accessed: 30-Sep-2016].
 - [8] Ublox, "U-blox." [Online]. Available: <https://www.u-blox.com/en>. [Accessed: 30-Sep-2016].
 - [9] Trimble, "APX-15 UAV." [Online]. Available: <http://www.trimble.com/gnss-inertial/APX15.aspx?dtID=overview&>.
 - [10] Topcon, "OEM-1." [Online]. Available: <https://www.topconpositioning.com/oem-components-technology/gnss-components/oem-1>.
 - [11] Novatel, "OEM6 Series." [Online]. Available: <http://www.novatel.com/products/gnss-receivers/oem-receiver-boards/oem6-receivers/>. [Accessed: 30-Sep-2016].
 - [12] Javad, "TR Systems." [Online]. Available: <http://www.javad.com/jgnss/products/oem/>. [Accessed: 30-Sep-2016].
 - [13] "RTKite GNSS RTK Module Receiver." [Online]. Available: <http://northsurveying.com/index.php/instruments/gnss-rtk-receiver>. [Accessed: 30-Sep-2016].
 - [14] Droning / and geobit, "Drobit GNSS Systems." [Online]. Available: <http://www.drobit.es/es/>. [Accessed: 30-Sep-2016].
 - [15] D. HERNANDEZ-LOPEZ, B. FELIPE-GARCIA, D. GONZALEZ-AGUILERA, and B. ARIAS-PEREZ, "An Automatic Approach to UAV Flight Planning and Control for Photogrammetric Applications: A Test Case in the Asturias Region (Spain)," *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, vol. 79, no. 1, pp. 87–98.
 - [16] D. Brown, "Decentering Distortion of Lenses," *Photom. Eng.*, vol. 32, no. 3, pp. 444–462, 1966.
 - [17] F. Remondino and C. Fraser, "Digital camera calibration methods: considerations and comparisons," *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 36, no. 5, pp. 266–272, 2006.
 - [18] B. Arias-Pérez, "Análisis de la incorporación de las cámaras digitales de gran formato en el proceso fotogramétrico," 2008.
 - [19] B. Arias-Pérez, Ó. Cuadrado-Méndez, P. Quintanilla, J. Gómez-Lahoz, and D. González-Aguilera, "Calibrating a photogrammetric digital frame sensor using a test field," *Dyna*, vol. 81, no. 185, pp. 94–99, 2014.
 - [20] J. Gómez Lahoz, O. Cuadrado Méndez, and J. Martínez Rubio, "Lens distortion simulation: an application for understanding geometric distortion," *Proc. XIXth Int. Symp. CIPA 2003 new Perspect. to save Cult. Herit. Antalya (Turkey), 30 Sept. October, 2003*, pp. 333–338, 2003.
 - [21] C. Balletti, F. Guerra, V. Tsioukas, and P. Vernier, "Calibration of Action Cameras for Photogrammetric Purposes," *Sensors*, vol. 14, no. 9, pp. 17471–17490, Jan. 2014.
 - [22] G. Grenzdörffer, "Some thoughts for the geometric design of calibration fields,"

EuroDAC²-Meeting, vol. 1, 2009.

- [23] M. Gerke and H.-J. Przybilla, "Accuracy Analysis of Photogrammetric UAV Image Blocks: Influence of Onboard RTK-GNSS and Cross Flight Patterns," *Photogramm. - Fernerkundung - Geoinf.*, vol. 2016, no. 1, pp. 17–30, Mar. 2016.
- [24] E. Gülch, "Photogrammetric Evaluation of Multi-Temporal Fixed Wing Uav Imagery," *ISPRS - Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. XXXVIII-1/, pp. 265–270, 2012.
- [25] "Portal Posicionamiento Andalucía- Red RAP." [Online]. Available: <http://www.ideandalucia.es/portal/web/portal-posicionamiento/rap>. [Accessed: 30-Sep-2016].