

La aerotriangulación con apoyo GPS cinemático en la producción cartográfica de Colombia

The aerotriangulation with support cinematic GPS in the cartographic production of Colombia

Luis Antonio Hernández Rojas*

Ingeniero catastral y geodesta. Fotogrametrista IGAC, especialista en Sistemas de Información Geográfica. M. Sc. en Geografía. Docente tiempo completo, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

RESUMEN

En el proceso cartográfico la aerotriangulación garantiza la confiabilidad de la información fotográfica que se va a traducir en mapas, con base en trabajo topográfico de precisión. Como el fotocontrol es la actividad más costosa y la que genera mayores riesgos de seguridad, la posibilidad de emplear posicionamiento satelital GPS con gran exactitud desde el avión hace que el requerimiento de control terrestre se reduzca a un mínimo, con lo cual se logra gran economía en el proceso y confiables resultados en la precisión final.

PALABRAS CLAVE: aerotriangulación, GPS, fotocontrol.

ABSTRACT

In the cartographic process the aerotriangulation guarantees the reliability of the photographic information that will translate in maps, based on topographical work of precision. As the photo control it is the most expensive activity and the one that generates bigger risks of security, the possibility to use positioning satellite GPS with great accuracy from the airplane, makes that the requirement of terrestrial control decreases to the minimum, achieving great economy in the process and reliable results in the final precision.

KEY WORDS: aerotriangulation, GPS, photo control.

* Enviar correspondencia a Luis Antonio Hernández Rojas, Avenida Circunvalar Venado de Oro, tel. 0571-3376906, ahernandez@udistrital.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

La aerotriangulación es un método que se emplea en el proceso cartográfico para la determinación de coordenadas del terreno a puntos de control del modelo estereoscópico que se va a restituir, basado en mediciones realizadas con equipos fotogramétricos sobre fotografías aéreas con el mínimo de trabajo de campo aprovechando sus propiedades geométricas [1]. En la actualidad se permite en forma rápida manejar un enorme número de datos gracias al avance tecnológico y el uso de computadoras, obteniendo muy buena precisión.

Esta actividad requiere una serie de etapas entre las que está seleccionar el número de puntos estereoscópicos en el bloque de fotografías que garanticen estabilizarlo geométricamente para controlar la propagación de errores, es decir, densificar el fotocontrol para que las comisiones de topografía hagan los levantamientos geodésicos respectivos.

En algunas regiones de Colombia, por condiciones topográficas abruptas y de seguridad, la labor de campo es difícil y en ocasiones se requiere el uso de helicópteros para acceder a los puntos, lo que incrementa de manera notable los costos, razón por la cual el empleo de un método combinado con posicionamiento GPS aerotransportado, en el que se determina la posición en los momentos de exposición de la cámara, reduce significativamente el trabajo de la topografía de campo y se refleja en el tiempo, los costos e inconvenientes que conlleva.

Además de la reducción en la cantidad de control terrestre requerido para el ajuste de la aerotriangulación, otra razón que justifica el uso del GPS aerotransportado es la planeación y ejecución automática de la navegación de las líneas de vuelo en la toma de las fotografías aéreas.

2. GENERALIDAD DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

En Colombia en la década de los noventa se masificó este sistema conocido como GPS, el cual es un sistema satelital basado en radionavegación, que permite dar posición tridimensional en forma precisa, según distancias del satélite a la estación terrestre y la antena del avión. Teóricamente las distancias a tres satélites son suficientes pero la corrección al reloj del receptor requiere un satélite adicional.

Los satélites GPS usan dos frecuencias, L1 con 19 cm y L2 con 24 cm de longitudes de onda (portadoras). En adición hay una modulación con 2 diferentes códigos, el código P con 29 m sobre las dos portadoras y el código C/A con 293 m de longitud de onda. Las distancias a los satélites están determinadas por mediciones de fase. Una fase puede determinarse con aproximadamente $\pm 0,5$ hasta 1% de la longitud de onda. En teoría una posición muy precisa es posible si las posiciones de los satélites se conocen con bastante exactitud. Por razones militares el sistema estuvo degradado por una técnica llamada disponibilidad selectiva (SA), entonces la navegación en forma instantánea estaba limitada a ± 100 m[2]; en la actualidad no hay disponibilidad selectiva y se limita a ± 10 m.

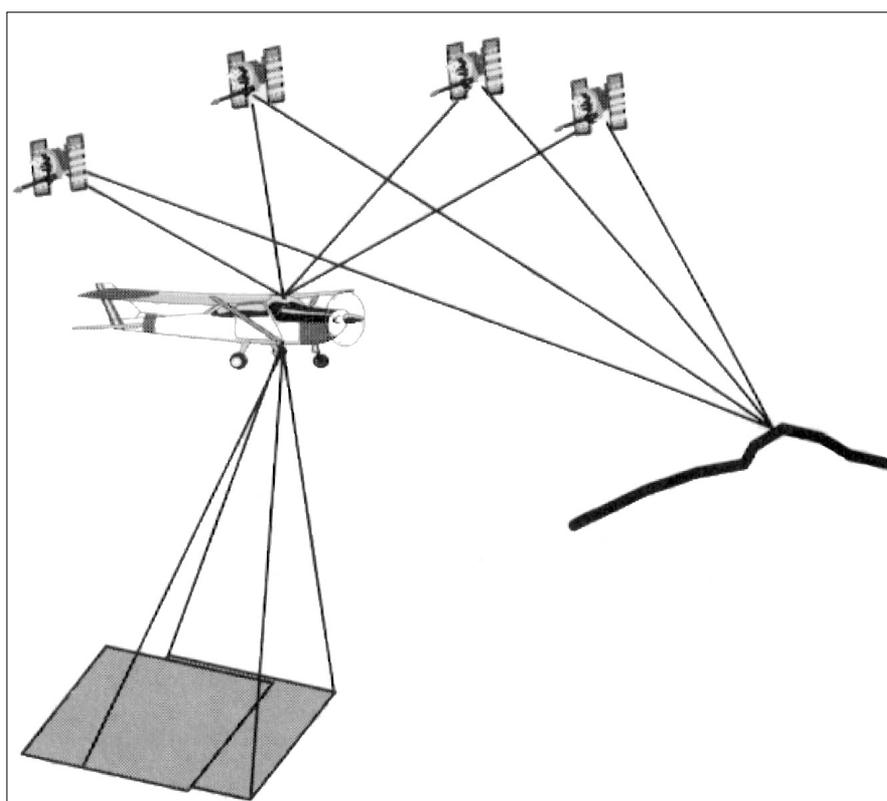
Un mejoramiento de esta situación es posible por posicionamiento relativo. En la misma área todas las posiciones son influenciadas de la misma forma. Si una estación de referencia se localiza sobre una posición conocida, el receptor móvil en el avión puede estar determinando posición con relación a este. Posiciones absolutas GPS (sin estación de referencia) no pueden ser usadas en el ajuste combinado pues la frecuencia de la disponibilidad selectiva es alta. Con base en mediciones de fase portadora, la posición cinemática relativa puede ser hecha en el avión con una exactitud relativa de ± 4 cm. Pero no es fácil resolver las ambigüedades (la deter-

minación del número de ondas que pertenecen a la fase medida) especialmente durante el cambio en la dirección del avión cuando termina de tomar fotografías en una faja y pasa a la siguiente, porque las señales de algunos satélites se pueden perder, causando la llamada pérdida de ciclo. Esto produce errores constantes de las posiciones; a veces errores de grado alto pueden ser eliminados en el primer grado por tiempo, dependiendo de los parámetros, cambiando de una línea de vuelo a la otra. Una posición relativa

simple con código C/A junto con un sistema inercial de navegación (INS) puede dar como resultados exactitud absoluta de $\pm 0,2$ m, o mejor aún si los datos GPS se filtran. El código C/A tiene la ventaja que no es afectado por problemas de ambigüedad; estos pertenecen solo a la fase portadora.

El receptor de referencia debe estar cerca o dentro del área del proyecto en distancias que dependen de la escala y dimensión del bloque de fotografías, por ejemplo en el aeropuerto de operación del avión.

Gráfica 1. Toma de fotografías.



Fuente: elaboración propia.

3. CONEXIÓN ANTENA-CÁMARA EN EL AVIÓN

La antena debe ser montada en un lugar que garantice un mínimo de obstrucción de la señal proveniente de los satélites; aunque depende del diseño del avión, se recomienda

en el fuselaje encima de la cámara haciendo coincidir el centro de la antena con la proyección vertical del eje óptico de la cámara, para facilitar que la medición del *offset* o excentricidad entre la antena GPS y el centro de proyección tenga solo componente en Z, aunque se debe tener cuidado del *multiphat* o

reflejo de señales producidas por otras partes del avión, y también de las pérdidas de ciclo causadas por la obstrucción de la señal que las alas puedan generar durante los giros del avión, al pasar de una faja a la otra [3].

Como el receptor y la cámara operan independientemente, es necesario cumplir ciertos requerimientos de orden técnico. Los registros de las observaciones de los receptores GPS se hacen con intervalos de tiempo constantes y las exposiciones de la cámara son independientes de estos, con intervalos de tiempo distintos, generalmente mayores; luego se hace imperioso interpolar las posiciones de las exposiciones de la cámara de las posiciones GPS, buscando que los momentos en la exposición y las observaciones se registren en una escala común de tiempo [4].

Hay cámaras modernas que generan un impulso eléctrico en el momento de la exposición y receptores GPS capaces de procesar este impulso logrando que las posiciones de la antena GPS puedan interpolarse para los momentos de exposición de la cámara.

4. REQUERIMIENTOS DE CONTROL TERRESTRE

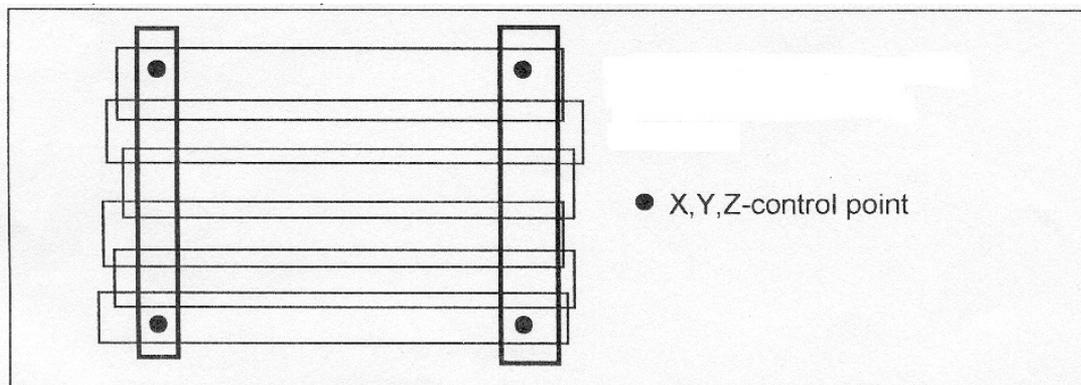
Para la determinación del control terrestre, el requerimiento mínimo es de cuatro puntos lo-

calizados en las esquinas del bloque de fotografías si es regular la distribución de las fajas de las fotografías, lo cual se puede garantizar con la planeación automática de la toma de fotografías con el sistema de navegación GPS, sobre todo en terreno plano y ondulado, como se muestra en la gráfica 2, utilizándose con frecuencia dos fajas transversales o tres cuando los bloques son muy grandes, en los extremos de las líneas de vuelo y el centro, para dar mayor consistencia al bloque.

Cuando el bloque no es regular se requiere mayor número de puntos de control localizados en los sectores donde se forman ángulos. Los puntos de control deben ser de tres coordenadas.

En general, los requerimientos de control terrestre con posicionamiento cinemático GPS son sustancialmente menores que los métodos convencionales, por cuanto cada centro de fotografía tiene información de coordenadas del terreno y los bloques están suficientemente controlados[5]. Los puntos de control terrestre se emplean solo para las transformaciones de dátum geodésico y eliminación de deficiencias de rango porque hay pruebas de aerotriangulación en la que no se emplean puntos de control y los resultados, aunque menos precisos, son aceptables para escalas pequeñas.

Gráfica 2. Puntos de control.



Fuente: elaboración propia.

5. AJUSTE COMBINADO DEL BLOQUE

Se denomina así porque se consideran tanto las coordenadas de los centros de proyección de las fotografías como las de los puntos de control que dan apoyo al ajuste por el método de haces de rayos de la aerotriangulación.

Como en todos los ajustes convencionales, se deben corregir inicialmente los errores gruesos buscando convergencia del ajuste, es decir, se remueven los grandes errores sistemáticos. Posteriormente se interpolan las coordenadas de la antena GPS para los momentos de exposición de la cámara y se tienen en cuenta los valores de excentricidad o de ubicación de la cámara. Las coordenadas GPS de los centros de proyección tienen influencia en las coordenadas terrestres y también en los modelos. Estas observaciones adicionales aumentarán el error del ajuste (σ) y deformarán ligeramente los modelos, los cuales se crean con base en las orientaciones de las fotos. Después de terminadas las iteraciones usuales del ajuste combinado del bloque, todas las coordenadas pueden manejarse como puntos de control, mejorando el ajuste [6].

6. CONCLUSIONES

La aerotriangulación con apoyo en posicionamiento cinemático GPS se ha venido implementando en el mundo con gran éxito. En Colombia, de acuerdo con nuestras experiencias, los resultados también han sido satisfactorios y confiables en diferentes escalas,

desde pequeñas 1:25.000 hasta cartografía urbana a escala 1:1.000.

En efecto, se han logrado precisiones dentro de lo indicado por los estándares internacionales de la precisión del mapa final, con puntos de control terrestre solamente en las esquinas del bloque, evitando los altos costos que representan los requerimientos del control terrestre, considerando aun las ventajas de los métodos modernos de aerotriangulación analítica, como el de haces de rayos, que exigen en promedio control cada cuatro modelos.

Se concluye entonces que el proceso de aerotriangulación empleando este método es operacional, rápido, consistente, económico, y se emplea en cualquier levantamiento aerofotogramétrico.

7. REFERENCIAS

- [1] HERNÁNDEZ, Antonio R. *Nociones de aerotriangulación*. IGAC, Bogotá, 1998.
- [2] JACOBSEN, Karten. *GPS Photogrammetry*. Notas de clase, Bogotá, 1996.
- [3] CURRY, Sean and SCHUCKMAN, Karen. *Practical Considerations for the Use of Airborne GPS for Photogrammetry*. P. E. and R. S., 1993.
- [4] *Use of GPS for Aerotriangulation*. Inpho, Stuttgart, 1995.
- [5] ACKERMAN, Fritz. *Prospect of Kinematic GPS for Aerial Triangulation*, Stuttgart, 1990.
- [6] JACOBSEN, Karsten. *Manual of BLUH*, U. Hannover, 1995.