

La base topográfica en la confección de las servidumbres aeronáuticas

The topographic base in the confection of the aeronautical easement

Subteniente Alberto J. Parrondo García

REVISTA **MAPPING**
Vol. 26, 184, 36-41
julio-agosto 2017
ISSN: 1131-9100

Resumen

El artículo intenta hacer un repaso de los cambios acaecidos en la producción de planos topográficos durante los últimos años, a través del análisis de la elaboración de servidumbres aeronáuticas en el CECAF (Centro Cartográfico y Fotográfico) del Ejército del Aire.

Abstract

The article tries to review the changes happened in the topographic planes production during the last years, through the analysis of the aeronautical easement elaboration in the CECAF (Cartographic and Photographic Center) of the Air Force.

Palabras clave: fotogrametría, analógica, digital, topográfico, aerotriangulación, servidumbres, radioayudas, CECAF.

Keywords: photogrammetry, analogue, digital, topography, aerotriangulation, easements, radio aids, CECAF.

Negociado de Fotogrametría y Topografía
apargar@ea.mde.es

Recepción 22/04/2017
Aprobación 07/06/2017

1. INTRODUCCIÓN

¿Trabaja usted o ha trabajado en el campo de la cartografía? Si está leyendo esta revista, seguramente la respuesta es sí.

¿Tiene usted más de cincuenta años? Si es así, cuanto se dice en este artículo probablemente le resultará conocido o, incluso, tal vez haya participado en alguno de los procesos que se describen.

Por el contrario, si aún no ha cumplido los cuarenta, es fácil que no haya conocido los procesos analógicos de confección de planos topográficos y todo ello le sonará a una especie de «paleotécnicas geoespaciales» difíciles de asimilar.

Esto no quiere decir que la revolución tecnológica que se ha vivido en los medios de elaboración de cartografía, se haya producido en sólo diez años, pero sí es cierto que es en la última década del siglo pasado cuando, a efectos prácticos, en la mayoría de organismos y empresas del sector, se produjo el paso, a veces traumático, de la fotogrametría analógica (con un solapamiento analítico en muchos casos) a la digital.

2. ORÍGENES

Los planos de servidumbres aeronáuticas se vienen realizando tradicionalmente a escala 1:10.000, que permite representar el terreno con suficiente detalle para estos propósitos. En los años sesenta no era muy común disponer de cartografía del territorio a escalas grandes, y mucho menos actualizada, por lo que la base cartográfica había que confeccionarla con medios propios (fotografía aérea, con restitución fotogramétrica y apoyo topográfico) y se invertían mucho tiempo y recursos en su elaboración.

El CECAF comienza a utilizar la fotogrametría a finales de los años 50 del pasado siglo colaborando con el Ministerio de Hacienda en la realización del Catastro Parcelario, que recibió un fuerte impulso gracias a los vuelos de la «Serie B» o «vuelo americano» realizados por la USAF (Fuerza Aérea de los Estados Unidos) entre 1957 y 1959. Para ello, el Ministerio aportó un restituidor *Wild A-7*, en el que se formaron los primeros operadores de fotogrametría del Ejército del Aire.

Así, en el momento de asumir la responsabilidad de confeccionar las servidumbres aeronáuticas y, por tanto, de elaborar la base topográfica sobre la que habrían de sustentarse, ya contaba el CECAF con una sección de fotogrametría modesta pero capaz, de tal forma que a comienzos de los años 80 prestaban servicio, además del citado *A-7*, un *Santoni IV*, un *Wild A-8* y un *Wild A-10*.

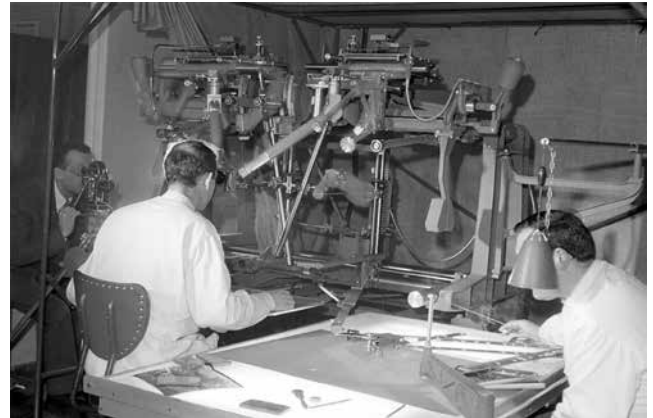


Figura 1. Operador y ayudante de mesa trabajando en el Santoni IV

Para atender cada uno de estos aparatos se necesitaba un mínimo de dos personas, que actuaban como operador y ayudante de mesa, relevándose entre sí. Tengamos en cuenta que se dibujaba sobre una mesa trazadora con una mina de grafito que había que cambiar según la entidad a representar. Así, para trazar una curva de nivel directora se usaba una mina más blanda, con un trazo más grueso que para una interpolada. Hidrografía y vegetación se representaban con un lápiz azul y verde, respectivamente. El ayudante, además, debía escribir sobre la minuta la cota de un determinado punto, que le «cantaba» el operador.

Ello implicaba que para mantener la plena operatividad de los restituidores, cubriendo las bajas por permisos, enfermedad y los derivados de los numerosos servicios propios del ámbito militar se necesitaba una plantilla de operadores en torno a doce personas, que son las que prestaban servicio en el año 1985.

Hasta ese momento el proceso permanece, en lo sustancial, con mínimas variaciones respecto a los orígenes de la fotogrametría aérea en España en los años 1910. El conocido proceso de orientación interna (basado en la distancia focal y la promediación de las marcas fiduciales), orientación relativa (basado en la eliminación de las paralajes horizontales mediante los mandos de kappa, phi y omega) y orientación absoluta (mediante la nivelación del modelo con los mandos de phi y omega y su puesta en escala a través del ajuste de la base o b_x) se repetía en cada uno de los alrededor de 100 modelos estereoscópicos que componían una servidumbre típica.

Para garantizar la precisión de esa nivelación había un trabajo previo por parte de la sección de topografía. Se necesitaba un mínimo de cuatro puntos de apoyo por modelo estereoscópico, equivalentes a dos puntos por fotograma que, con los recubrimientos, sumaban de 120 a 140 puntos en una servidumbre típica.



Figura 2. Hoja de «stabilene» con el cangrejo usado para el esgrafiado de las curvas de nivel

Tras hacer el anteproyecto, recopiladas las reseñas de todos los vértices de la zona de trabajo y pasado el recubrimiento sobre los contactos de las imágenes del vuelo, se precisaban de seis a ocho semanas de trabajo en el campo para medir los puntos de apoyo, además de dar coordenadas a las radioayudas y umbrales de pista. Debemos considerar que no siempre había visual desde algún vértice al punto que necesitábamos medir, con lo cual era necesario dar destacadas, es decir, radiar un punto intermedio con visual directa al punto de apoyo, en el que estacionar de nuevo. Al radiar con prisma, necesariamente el auxiliar debía «pisar» cada punto, lo que implicaba largos y continuos desplazamientos.

Por otra parte, las radioayudas no podían ser radiadas, dado que había que medir el centro emisor, normalmente inaccesible, por lo que había que hacer intersecciones directas, que garantizaban una mayor precisión que las inversas.

Con esos datos se procedía al ajuste de los modelos y a la restitución de las aproximadamente 25 000 Ha que cubrían la zona de estudio, comúnmente conocida como «mariposa» por su forma.

Una vez completadas todas las hojas había que unirlas sobre una gran mesa formando un todo de unos tres metros y medio sobre el que se trazaban con escuadra, cartabón y compás las distintas figuras generadas por cada maniobra (aproximación o despeque) o radioayuda protegida.

No terminaba con ello el proceso, pues las minutas dibujadas a lápiz en el pantógrafo debían ser esgrafiadas. La hoja consistía en una lámina de «stabilene» recubierta de un material despeliculable. El esgrafiado se hacía con una punta de zafiro y suponía volver a dibujar todas las entidades, repasando con el «cangrejo» cada trazo de lápiz que el operador de fotogrametría había dibujado en el restituidor. Además se tenían

que pegar los «striping», que no eran más que unos letreros adhesivos que se confeccionaban en la imprenta, con todos los textos que habían de figurar en la hoja, lo que comprendía toponimia, cotas, etcétera. Este trabajo requería de unos doce delineantes que se repartían los distintos trabajos.

Finalizada esa labor quedaba una lámina plástica de color rojo muy estable dimensionalmente, en la que todo lo dibujado se transparentaba, con lo que disponíamos de una especie de negativo de la mancha de dibujo.

De él se obtenía un positivo en «herculene», un material fotosensible ortocromático también sumamente estable, del que se realizaban las copias necesarias en el laboratorio mediante un proceso de «insolación» a base de amoníaco.

Recapitulando: para hacer las servidumbres de una base aérea, se necesitaban cinco personas en el campo, tres operadores de restitución, tres delineantes y dos técnicos de laboratorio; y desde que se iniciaba el proceso hasta que el geodesta firmaba la propuesta pasaban alrededor de dieciocho meses.

3. LA TRANSICIÓN

El primer avance tecnológico realmente significativo se produjo en el año 1985 con la sustitución del vehículo A-7 por un restituidor analítico *Aviolyt AC1* que, con alguna actualización de *hardware* y *software*, ha permanecido en activo hasta finales del año pasado.

Dos capacidades principales marcaban ese avance: la aerotriangulación de bloques de fotogramas y la mesa trazadora.

El primero supuso una reducción considerable del trabajo en campo, que resultaba el más costoso por los largos desplazamientos de personal. Se reducía a una treintena o incluso menos el número de puntos de apoyo necesario para garantizar la máxima precisión en el ajuste del bloque.

Aunque el concepto de aerotriangulación era sobradamente conocido, en la práctica resultaba un proceso sumamente engorroso y poco preciso de realizar de forma analógica. Se precisaban unas grandes plantillas para hacer una compensación gráfica de los errores, de tal manera que éstos se interpolaban en las tres coordenadas. Se necesitaba, además, un aparato de primer orden, como el *Wild A10* que existía en el CECAF, que disponía de cambio de base interna-base externa. El cambio de base permitía dejar fijo un proyector (del que ya se conocían sus valores de orientación), actuando sobre los mandos del otro, lo cual



Figura 3. Avioflyt AC1 con mesa trazadora TA2 esgrafiando hoja de stabilene

exigía que cada cámara dispusiese de los seis grados de libertad del avión, otra característica de este tipo de aparatos. Para grandes bloques, por último, se precisaba también que el estereocomparador dispusiese de corrección de curvatura.

Con el restituidor analítico todo ello quedaba solucionado. Permitía ajustar grandes bloques de imágenes con gran precisión. Además, gracias a la adquisición de un transferidor de puntos PUG-5 se podían marcar físicamente mediante ultrasonidos los puntos de paso en los fotogramas, eliminando así la necesidad de hacer croquis de cada uno de ellos. Se precisaban dos puntos de control al inicio y al final de cada pasada y un punto cada 4 o 5 pares estereoscópicos, lo que frente a los cuatro puntos por modelo que eran necesarios hasta ese momento, alivió considerablemente el trabajo en campo.

Se medían en el Avioflyt los puntos de control y de paso, utilizando éstos como puntos de orientación relativa, ya que gracias al PUG-5 se situaban en coincidencia con los 6 puntos de Von Gruber, dado que no necesitaban estar materializados por ningún detalle del terreno. Finalizada la fase de medición se procedía al cálculo y compensación de bloques mediante programas que fueron variando y mejorándose a lo largo de los años siendo el primero de ellos el PATM del doctor Ackermann. Originalmente se tardaba unas diez horas en calcular la compensación de un bloque para una servidumbre aeronáutica, que constaba de cinco pasadas. Si se había producido algún error, lo que normalmente ocurría en la numeración, bien de los puntos o de los fotogramas, había que revisar todo el proceso y volver a ajustar. El resultado era un listado con los puntos de control y los elementos de la orientación exterior que, con pequeños ajustes, se introducían mediante los mandos correspondientes en los aparatos analógicos, donde se restituían los pares estereoscópicos.

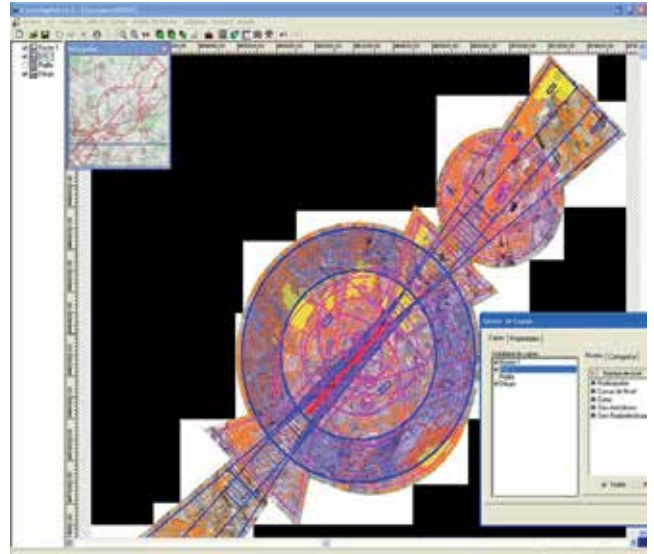


Figura 4. Fichero digital de una servidumbre con base topográfica mixta vectorial y ráster

La mesa trazadora TA-2 resultaba muy espectacular cuando esgrafiaba la hoja de «stabilene» con gran rapidez. Sin embargo, dado que la mayor parte del trabajo se realizaba en los restituidores analógicos no eliminaba mucha carga de trabajo a los delineantes grabadores.

A principios de los años 90 se informatizó el A-10, dotándole de codificadores y un software, denominado RAP-2, que le permitía digitalizar los ficheros de dibujo y ser esgrafiados en la mesa TA-2. Asimismo se dio de baja el Santoni IV, que muchos lectores conocerán por hallarse desde entonces expuesto en las instalaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía.

Poco tiempo después se introduce en el CECAF la



Figura 5. Estaciones de trabajo de LH Systems con LPS y Microstation

topografía gps tras la adquisición de tres equipos *Leica system 200*. Las ventajas eran enormes, al desaparecer la necesidad de tener visual directa a los puntos, lo que reducía en gran manera los desplazamientos.

Es, sin embargo, en el año 1994 cuando se introduce el concepto de fichero CAD (Diseño Asistido por Ordenador) al informatizar el restituidor A-8 mediante un *software de Intergraph*, llamado *SPIM* y en el que el dibujo se realizaba sobre *Microstation*. Obteníamos un archivo plenamente editable y en tres dimensiones sobre el que se podían trazar analíticamente las figuras que representaban las restricciones propias de las servidumbres.

En estas fechas convivieron en el CECAF los tres sistemas fotogramétricos: analógico, analítico y digital, al adquirirse un escáner y un restituidor digital *Imagestation*. Los comienzos no estuvieron exentos de dificultades, dado que estos primeros sistemas digitales incorporaban soluciones puente, debido a que los procesadores existentes entonces no tenían las prestaciones necesarias para manejar las pesadas imágenes con las que se trabajaba. Ello se traducía en continuos bloqueos y largas esperas que ralentizaban enormemente la producción.

En el año 2003 se solucionaron esos problemas con la incorporación de una estación de trabajo de Leica, equipada con *software Socet Set, PRO600, Microstation y Orima*. Tras la ruptura entre *Bae Systems* (propietaria de *Socet Set*) y *Leica* vino la adaptación de *PRO600 a Erdas Imagine* a través de *LPS (Leica Photogrammetry Suite)*, que se mantiene en la actualidad, con los cambios de versiones lógicos por el paso de los años. Al año siguiente se adquirieron otras dos estaciones gemelas a la anterior. Existían enormes expectativas de conseguir modelos digitales del terreno a partir de la técnica de correlación de imágenes, que habrían facilitado enormemente la detección semi-automática de obstáculos y la generación de ortofotografías de las zonas de estudio. Sin embargo, los algoritmos de la época se demostraron poco fiables a la hora de extraer esos datos. Se producían multitud de fallos, cuya edición resultaba más costosa que la propia restitución vectorial tradicional.

Las restricciones presupuestarias debidas a la fuerte crisis económica sufrida por Europa desde el año 2008 impidieron que el CECAF se incorporase plenamente a la era digital al no disponer de cámaras aéreas métricas con estas características. Durante estos años los aviones del 403 escuadrón han seguido volando con las veteranas cámaras analógicas *Wild RC-20* y *RC_30*, debiendo superar enormes dificultades para conseguir película y procesarla.

4. PRESENTE Y FUTURO

En diciembre de 2016 pudo por fin el CECAF alcanzar la anhelada capacidad digital al adquirirse un sensor *Ultracam Eagle Mark 2* junto al *software UltraMap*.

Su fin principal es el empleo en misiones de Operaciones de Mantenimiento de la Paz (OMP) en escenarios donde hayan de desplegar las Fuerzas Armadas españolas y no exista cartografía actualizada y fiable. Sin embargo, como aplicación secundaria, este sensor abre unas posibilidades inmensas en la detección de obstáculos en las proximidades de pistas de aterrizaje.

Y es aquí donde la aplicación del «Método General de la Fotogrametría», como hasta ahora lo hemos conocido, reviste mayores cambios en cuanto a su aplicación práctica.

Gracias a los sistemas GNSS (Sistema de Navegación Global por Satélite), se pueden obtener precisiones en las orientaciones directas superiores al GSD (Ground Sample Distance o tamaño del píxel en el terreno), lo que hace superfluo, e incluso en ocasiones contraproducente, el ajuste del bloque mediante aerotriangulación, eliminando así los puntos de apoyo en campo o reduciéndolos a unos pocos para comprobación.

La orientación interna se reduce a dar a conocer al sistema: la distancia focal calibrada, la situación del punto principal y el tamaño físico del píxel.

En cuanto a la búsqueda de intersecciones de los pares de rayos homólogos, los nuevos algoritmos de correlación de imágenes, basados en la tecnología multirrayo, son capaces de generar nubes de puntos densas que, a costa de un mayor recubrimiento (idealmente un 80% longitudinal y un 60% transversal) permiten obtener modelos digitales de superficies (MDS) de la resolución del píxel. Así, volando con un GSD de 10 centímetros obtendríamos un MDS con un dato de elevación cada 10 cm o, lo que es lo mismo con 100 puntos por cada metro cuadrado. En las pruebas realizadas se han detectado

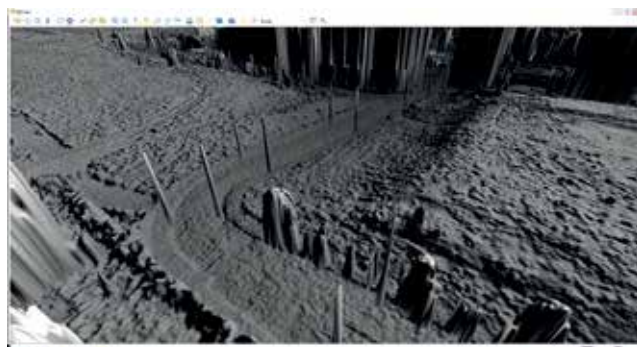


Figura 6. MDS generado mediante correlación multirrayo de un vuelo de 8 cm de GSD, en el que se puede apreciar el modelado generado por las farolas de alumbrado público y vegetación

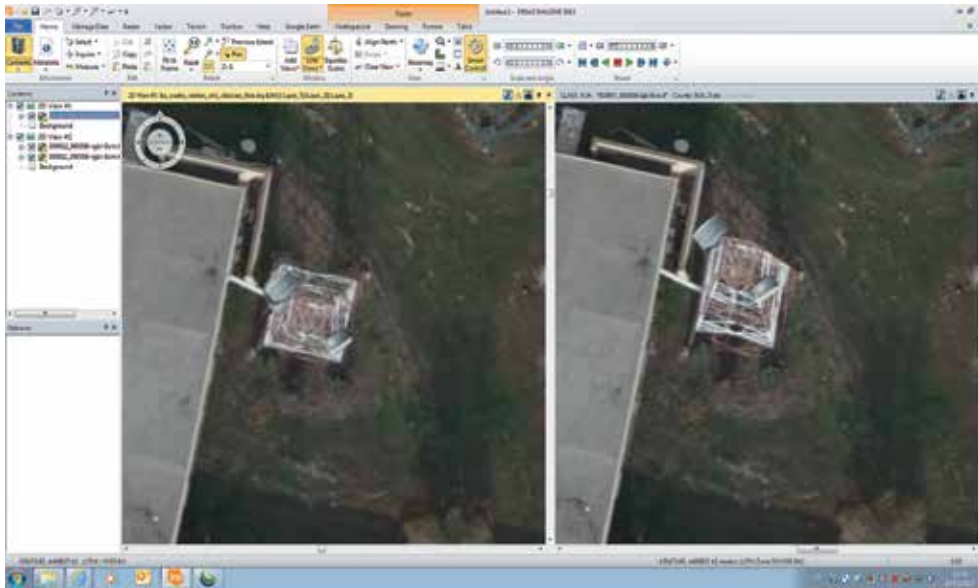


Figura 7. Ortofoto verdadera sin desplazamiento radial obtenida a partir de MDS (izda.) vs. ortofoto tradicional obtenida a partir de MDT (dcha.)

desde farolas a señales de tráfico o vértices geodésicos. Al disponer de una focal de 210 mm, además de la de 100 mm, ese GSD se puede obtener volando a 4600 metros de altura sobre el terreno, evitando interferir en las operaciones sobre zonas de gran congestión de tráfico aéreo.

Si restamos el Modelo Digital generado por las figuras (generalmente planos o conos) de las servidumbres al MDS obtenido por correlación multirrayo, obtendremos las coordenadas de todos los objetos (o terreno) que vulneran dichas servidumbres. Analizados en las imágenes del vuelo, serán clasificados e introducidos en un SIG (Sistema de Información Geográfica) y sufrirán las limitaciones que la Ley establezca para ellos.

Además, el MDS permite obtener ortofotografías verdaderas, es decir sin desplazamiento radial de los puntos elevados sobre el terreno, tales como edificios o antenas, de tal manera que la situación de éstas en la imagen corresponderá con la medida en el campo.

Lógicamente, que el proceso sea automático no implica que sea rápido. El vuelo para cubrir la «mariposa» cubre unas 40 000 Ha. Si el MDS de cada una de ellas contiene un millón de puntos ya vemos que se requiere una capacidad enorme para procesar ese volumen de datos. Afortunadamente, la tecnología en este aspecto avanza a pasos agigantados y es cada vez más potente y asequible. Aun así, procesar una servidumbre de esas características precisa de más de un mes de cálculo con un equipo de 40 procesadores de última generación.

Sin embargo, estamos convencidos de que merece la pena, puesto que elimina el posible error humano, todo ello en pos de conseguir el máximo de seguridad en las

operaciones aéreas.

Es evidente que cuanto mayor sea el GSD, el tiempo de procesado será exponencialmente menor. Habrá que realizar un cuidadoso análisis buscando un equilibrio entre el tamaño de los objetos que necesitemos determinar y el volumen de datos generado. En ese sentido es más crítico el plano de obstáculos tipo OACI (Organización de Aviación Civil Internacional), que afecta a las superficies de aproximación y despegue con unas restricciones mayores que las de la servidumbre, aunque también ocupa una menor superficie.

Por último, quisiera hacer una reflexión sobre cómo estos adelantos técnicos han afectado al volumen de personal necesario para hacer estos trabajos.

De la plantilla de doce operadores de fotogrametría, doce delineantes, seis topógrafos y auxiliares, dos operadores de laboratorio y un geodesta, más el personal de administración que prestaban servicio en los años 80, hemos pasado a tres operadores de fotogrametría; cuatro miembros de la sección de topografía, que realizan también labores administrativas como memorias técnicas, así como el cálculo de las superficies y otras labores; una persona en edición y un oficial jefe de la sección, ingeniero técnico topógrafo que ejerce también funciones de enseñanza, administrativas, de gestión de personal y técnicas.

Es decir, que se ha pasado de unas cuarenta personas a sólo nueve, cubriendo más tareas. Parece superfluo cualquier comentario sobre lo que estos espectaculares avances tecnológicos han supuesto en la destrucción de empleo en la profesión topográfica, si bien es cierto que ello no ha sido privativo de este sector.

Sobre el autor

Subteniente Albert J. Parrondo García

Especialista en Cartografía e Imagen se encuentra destinado en la sección de fotogrametría y topografía del CECAF.