

MAPPING

VOL.26 Nº185 SEPTIEMBRE-OCTUBRE 2017 ISSN 1131-9100

Sumario



Pág. 4

Editorial



Pág. 6

La inspección en vuelo en el CECAF. *The flight inspection in CECAF.*

Capitán David Gómez-Tejedor Martín



Pág. 16

Elaboración de cartografía aeronáutica de navegación visual. *Aeronautical cartography of visual navigation production*

Subteniente Ángel Bustos Solís



Pág. 24

Un paseo por las nubes. *A walk on the clouds.*

Brigada Miguel Cruz Martos



Pág. 28

Geointeligencia y aeronaves pilotadas a distancia. Un nuevo reto para la formación. *Geointelligence and remotely pilot aircraft system. A new challenge for training.*

Brigada Pedro Luis Angulo Sánchez



Pág. 34

El CECAF en el Tratado de Cielos Abiertos. *The CECAF in the Open Skies Treaty.*

Brigada José Joaquín Abellán Sánchez



Pág. 42

Estudio de precisión en la aerotriangulación de bloques de imágenes obtenidas con UAV. *Study of precision in the images blocks aerotriangulation obtained with UAV.*

Capitán Miguel Ángel López González



Pág. 56

Sensor fotogramétrico digital del CECAF. *CECAF digital photogrammetric sensor.*

Capitán Agustín Martín Paniagua

Pág. 63

V Trofeo de Fotointerpretación del Ejército del Aire

Escuadrón de enseñanza

El conocimiento de hoy es la base del mañana

MAPPING es una publicación técnico-científica con 26 años de historia que tiene como objetivo la difusión de las investigaciones, proyectos y trabajos que se realizan en el campo de la Geomática y las disciplinas con ella relacionadas (Información Geográfica, Cartografía, Geodesia, Teledetección, Fotogrametría, Topografía, Sistemas de Información Geográfica, Infraestructuras de Datos Espaciales, Catastro, Medio Ambiente, etc.) con especial atención a su aplicación en el ámbito de las Ciencias de la Tierra (Geofísica, Geología, Geomorfología, Geografía, Paleontología, Hidrología, etc.). Es una revista de periodicidad bimestral con revisión por pares doble ciego. MAPPING está dirigida a la comunidad científica, universitaria y empresarial interesada en la difusión, desarrollo y enseñanza de la Geomática, ciencias afines y sus aplicaciones en las más variadas áreas del conocimiento como Sismología, Geodinámica, Vulcanología, Oceanografía, Climatología, Urbanismo, Sociología, Planificación, Historia, Arquitectura, Arqueología, Gobernanza, Ordenación del Territorio, etcétera.

La calidad de la geotecnología hecha revista

MAPPING is a technical- scientific publication with 26 years of history which aims to disseminate the research, projects and work done in the framework of the disciplines that make Geomatics (GIS, Cartography, Remote Sensing, Photogrammetry, Surveying, GIS, Spatial Data Infrastructure, Land Registry, Environment, etc.) applied in the field of Earth Sciences (Geophysics, Geology, Geomorphology, Geography, Paleontology, Hydrology, etc.). It is a bimonthly magazine with double-blind peer review. MAPPING is aimed at the scientific, academic and business community interested in the dissemination and teaching of Geomatics and their applications in different areas of knowledge that make up the Earth Sciences (Seismology, Geodynamics, Volcanology, Urban Planning, Sociology, History, Architecture Archaeology , Planning, etc.)

MAPPING

VOL.26 Nº185 SEPTIEMBRE-OCTUBRE 2017 ISSN 1131-9100

DISTRIBUCIÓN, SUSCRIPCIÓN Y VENTA

eGeoMapping S.L.
C/ Linneo 37. 1ºB. Escalera Central
28005. Madrid. España
Teléfono: 910067223
info@mappinginteractivo.es
www.mappinginteractivo.es

MAQUETACIÓN

Atlis Comunicación - atlis.es

IMPRESIÓN

Podiprint

Los artículos publicados expresan sólo la opinión de los autores. Los editores no se identifican necesariamente con las opiniones recogidas en la publicación. Las fotografías o imágenes incluidas en la presente publicación pertenecen al archivo del autor o han sido suministradas por las compañías propietarias de los productos. Prohibida la reproducción parcial o total de los artículos sin previa autorización y reconocimiento de su origen. Esta revista ha sido impresa en papel ecológico.



FOTO DE PORTADA:

Aeronave Cessna Citation en el antiguo 403 Escuadrón del CECAF en el Aeródromo Militar de Cuatro Vientos. Autor: Fondos del CECAF.

Depósito Legal: M-14370-2015

ISSN: 1131-9100 / eISSN: 2340-6542

Los contenidos de la revista MAPPING aparecen en: Catálogo BNE, CIRC, Copac, Crue- Red de Bibliotecas REBIUN, Dialnet, DULCINEA, EBSCO, GeoRef, Geoscience e-Journals, Gold Rush, Google Académico, ICYT-CSIC, IN-RECS, Latindex, MIAR SHERPA/RoMEO, Research Bible, WorldCat.

PRESIDENTE

Benjamín Piña Patón

DIRECTOR

Miguel Ángel Ruiz Tejada
maruiz@geomapping.com

REDACTORA JEFA

Marta Criado Valdés
mcriado@geomapping.com

CONSEJO DE REDACCIÓN

Julián Aguirre de Mata
ETSITGC. UPM. Madrid

Manuel Alcázar Molina
UJA. Jaén

Marina A. Álvarez Alonso
ETSII. UPM. Madrid

Gersón Beltrán
FGH. UV. Valencia

Carlos Javier Broncano Mateos
Escuela de Guerra del Ejército. Madrid

José María Bustamante Calabuig
Instituto Hidrográfico de la Marina. Cádiz

Joan Capdevilla Subirana
Área de Fomento de la Delegación del Gobierno. Cataluña

Diego Cerda Seguel
KMLOT.COM. Chile

Efrén Díaz Díaz
Abogado. Bufete Mas y Calvet. Madrid.

Mercedes Farjas Abadía
ETSITGC. UPM. Madrid

Carmen Femenia Ribera
ETSIGCT. UPV. Valencia

Javier Fernández Lozano
Fac. Ciencias. USAL. Salamanca

M^a Teresa Fernández Pareja
ETSITGC. UPM. Madrid

Florentino García González
Abogado

Diego González Aguilera
EPSA. USAL. Salamanca

Francisco Javier González Matesanz
IGN. Madrid

Luis Joyanes Aguilar
UPSAM. Madrid

Álvaro Mateo Milán
CECAF. Madrid.

Israel Quintanilla García
ETSIGCT. UPV. Valencia

Antonio Federico Rodríguez Pascual
CNIG. Madrid

Roberto Rodríguez-Solano Suárez
EUITF. UPM. Madrid

Andrés Seco Meneses
ETSIA. UPNA. Navarra

Cristina Torrecillas Lozano
ETSI. US. Sevilla

Antonio Vázquez Hoehne
ETSITGC. UPM. Madrid

CONSEJO ASESOR

Maximiliano Arenas García
Acciona Infraestructuras. Madrid

Rodrigo Barriga Vargas
IPGH. México

Miguel Bello Mora
Elecnor Deimos. Madrid

Pilar Chías Navarro
UAH. Madrid

Ignacio Durán Boo
Informática El Corte Inglés. Madrid

Ourania Mavrantza
KTIMATOLOGIO S.A. Grecia

Julio Mezcua Rodríguez
Fundación J. García-Siñeriz

Ramón Mieres Álvarez
TOPCON POSITIONING SPAIN. Madrid

Benjamín Piña Patón
Área de Fomento de la Delegación del Gobierno. Cantabria

Jesús Velasco Gómez
ETSITGC. UPM. Madrid

Estimado lector tienes entre tus manos una revista que te va a explicar en unos cuantos artículos la misión y el funcionamiento del Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército del Aire, el CECAF. El CECAF es un centro especializado en la producción y gestión de la información geográfica relacionada con la aviación. Para cumplir la misión constitucional de las Fuerzas Armadas es absolutamente necesario tener conocimiento de todo lo que nos rodea, sobre todo de la información cuyo conocimiento puede ser fundamental para poder llevar a cabo la misión encomendada.

Te invito a leer la revista por el orden en que está impresa, hemos procurado mantener un hilo conductor. Por eso en primer lugar verás que mucho antes de la aparición del avión ya se empleaba la fotografía aérea y la tercera dimensión para obtener información y luego usarla. El CECAF desde su creación en 1979 ha sido muy celoso en guardar un archivo fotográfico de todas las imágenes relacionadas con la aviación.

Como ya he mencionado la peculiaridad de este Centro es la especialización en proporcionar la información aereo-



Coronel Arturo Vicente Pérez Cuartero
Jefe del Centro Cartográfico y Fotográfico del CECAF
Email: apercua@ea.mde.es

náutica que necesitan las aeronaves del Ejército del Aire para realizar de forma segura su misión. La primera y más importante información aeronáutica es saber de dónde despegar y dónde aterrizar, es decir la información geoespacial que rodea a los aeropuertos. Para asegurar el buen funcionamiento de un aeropuerto es primordial conocer los límites del espacio aéreo donde las aeronaves se mueven con plena libertad. Estos límites vienen determinados en la parte superior por el espacio exterior y en la parte inferior por el terreno y sus accidentes tanto naturales como artificiales. En el CECAF nos preocupan esos límites inferiores y por eso nos encargamos de analizar cuáles son los obstáculos que rodean un aeropuerto, dónde están con exactitud y si afectan a la operación de aeronaves, es decir de hacer los planos de servidumbres aeronáuticas de cada aeropuerto. Una vez determinados esos obstáculos se trata de buscar una senda de aproximación hacia la pista y de salida de la pista siempre buscando la seguridad de la operación, de ahí que se diseñen unos procedimientos de entrada y de salida basados en radio ayudas y en coordenadas de la forma más segura para todos, los habitantes cercanos al aeropuerto y los tripulantes de las aeronaves. La parte final es inspeccionar en el aire que las señales que emiten esas radioayudas coinciden con lo que se ha diseñado, de esta forma se cierra el círculo. Todos estos estudios determinan un embudo donde los aviones se pueden acercar con seguridad a un aeropuerto.

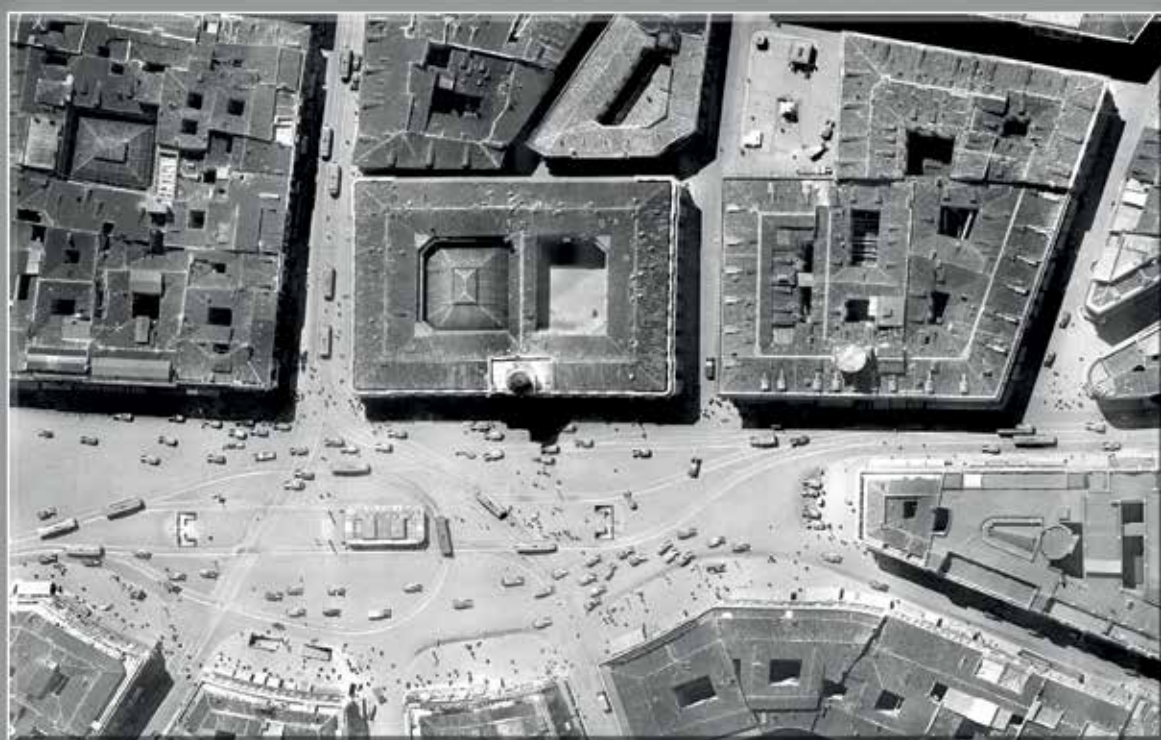
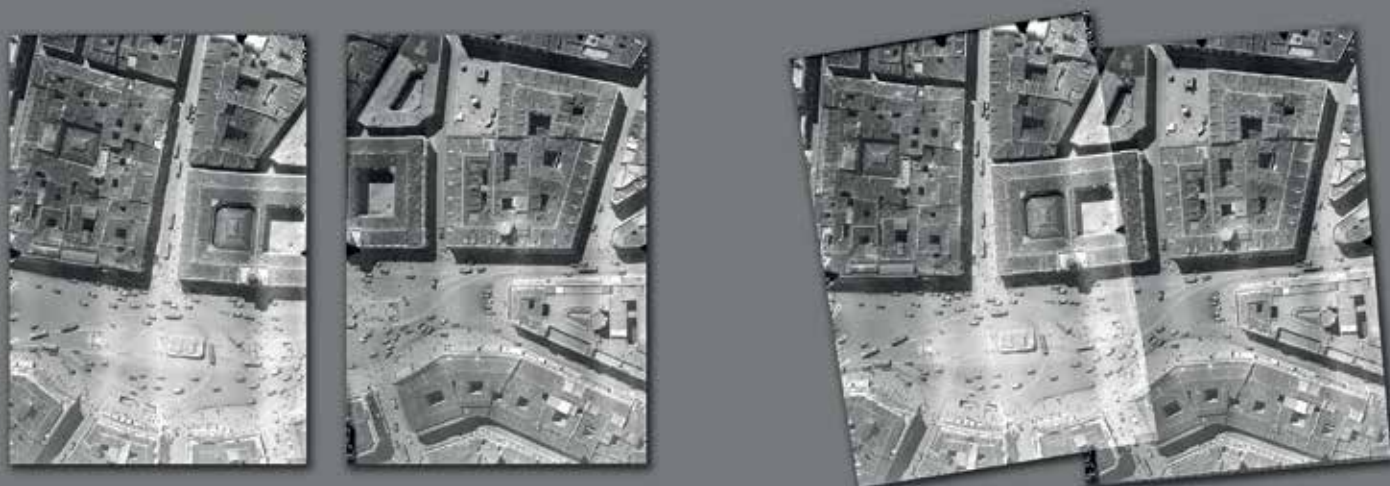
En el sustrato básico de toda la información se encuentra la parte menos visible. Muy pocas personas son conscientes de la necesidad de almacenar y tener disponible de forma rápida todos los datos necesarios en los servidores correspondientes y bajo unos algoritmos que sólo conocen algunos. Desde esos cerros y unos hasta los distintos productos cartográficos impresos en papel, en múltiples formatos, o disponible para el usuario en la internet o integrada en las distintas plataformas del Ejército del Aire (EuroFighter, A400M, F-18...) hay mucho trabajo escondido y apenas reconocido.

Ya para terminar me queda mencionar la formación del personal. Como te imaginas el conocimiento y la maestría en el manejo de toda esta información es fundamental. Por eso es de vital importancia la Escuela de Cartografía y Fotografía, inmersa en el CECAF, de manera que todos sus profesores son además expertos en su campo.

En resumen, espero que disfrutes con la lectura de esta revista y al finalizar su repaso tengas avidez por conocer de primera mano el fabuloso trabajo que desempeña el personal de esta maravillosa unidad del Ejército del Aire: el Centro Cartográfico y Fotográfico – CECAF.

FOTOS VERTICALES DE LA PUERTA DEL SOL DE MADRID

NEGATIVOS 559 Y 560 DE LA SERIE 1ª SCF DEL AÑO 1927



MADRID -PUERTA DEL SOL- 1927

La inspección en vuelo en el CECAF

The flight inspection in CECAF

Capitán David Gómez-Tejedor Martín

REVISTA **MAPPING**
Vol. 26, 185, 6-13
septiembre-octubre 2017
ISSN: 1131-9100

Resumen

La misión de inspección y calibración de radioayudas es una tarea que necesita una precisión máxima. Estas radioayudas serán las que guíen con seguridad a los aviones desde el despegue hasta el aterrizaje. Esta misión de vital importancia la ha venido realizando el Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército de Aire (CECAF) desde el 2010.

La realización de este tipo de misiones tan demandantes ha hecho que el personal del CECAF haya tenido que enfrentarse a una gran cantidad de inconvenientes que han sido superados con éxito. Así mismo, mediante el estudio y esfuerzo constante por parte del personal del CECAF, se ha conseguido colocar a este centro a la vanguardia en el campo de la inspección en vuelo.

Abstract

The mission of inspection and calibration of nav aids is a maximum precision task. These nav aids will guide the aircraft safely from takeoff to landing. The Cartographic and Photographic Center of the Air Force (CECAF) has carried out this mission of vital importance since 2010.

The realization of this type of mission is extremely demanding and has caused a significant amount of inconveniences to the CECAF personnel, all of which have been successfully overcome. Likewise, through study and constant effort by the CECAF personnel, this center is placed at the forefront of the flight inspection field.

Palabras clave: Radioayuda, inspección, calibración, DGPS, OmniSTAR.

Keywords: Navaid, inspection, calibration, DGPS, OmniSTAR.

Jefe de la Sección de Inspección en Vuelo del CECAF
dgommar@ea.mde.es

Recepción 22/04/2017
Aprobación 26/06/2017

1. INTRODUCCIÓN

No resulta extraño que la gente se pregunte, cómo es posible que los pilotos con todo tipo de inclemencias meteorológicas puedan despegar, navegar y aterrizar en su destino. Si bien es muy común que los profesionales de la aviación conozcan esa respuesta, también lo es, que muchos ignoren la importancia que para la precisión en la navegación aérea y por ende en la seguridad de vuelo tiene el correcto mantenimiento de la infraestructura tecnológica que la hace posible, así como en el papel que en ese proceso juegan técnicos, pilotos, inspectores en vuelo y operadores de consola. El vuelo instrumental consiste en guiar una aeronave en las distintas fases del vuelo: despegue, navegación en ruta, aproximación y aterrizaje mediante equipos de abordaje diseñados para interpretar las señales que transmiten las ayudas radioeléctricas basadas en tierra o en los satélites. Estas instalaciones cuyas prestaciones tienen que ser revisadas con regularidad a lo largo de su ciclo de vida, precisan inspecciones en vuelo periódicas para garantizar la fiabilidad de la información que suministran y el cumplimiento de los márgenes de seguridad estipulados. Así se contempla tanto en la normativa OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) como la del Ejército del Aire, para las propias radioayudas, y las maniobras y procedimientos basados en ellas. En dicha normativa se le encomienda al Centro Cartográfico y Fotográfico (CECAF) los siguientes cometidos: estudio del emplazamiento de las radioayudas, elaboración de servidumbres aeronáuticas, elaboración y validación de procedimientos instrumentales e inspección y calibración de radioayudas. En este ámbito, se usan indistintamente los términos calibración e inspección para referirnos a las actividades programadas de control de la calidad del funcionamiento del Sistema de Navegación Aérea (SNA). Los términos inspección y calibración están muy relacionados aunque tienen un matiz diferente. Se habla de inspección cuando se verifica que las señales emitidas por las instalaciones radioeléctricas de ayuda a la navegación, así como las visuales asociadas a la aproximación final y al aterrizaje, se encuentran dentro de los parámetros de diseño y que tanto sus funciones como sus procedimientos de vuelo instrumental asociados a las mismas, cumplen con la normativa establecida. En el caso contrario, se procedería a su ajuste y en ese momento se hablaría de calibración. Esta verificación se lleva a cabo, tanto desde el punto de vista técnico, como desde el operativo. Los objetivos de las inspecciones en vuelo son los siguientes: supervisar la adecuación de los empla-

zamientos, comprobar la adecuada puesta en servicio de la instalación, asegurar la fiabilidad del Sistema de Navegación Aérea (SNA), identificar las anomalías del SNA, realizar inspecciones periódicas y extraordinarias.

2. OBTENCIÓN DE LA CAPACIDAD DE INSPECCIÓN Y CALIBRACIÓN EN VUELO

Dentro del Ejército del Aire, la misión de inspección y calibración de radioayudas la tenía encomendada el Grupo 45 y posteriormente esta pasó al 47 Grupo Mixto de Fuerzas Aéreas. Se tuvo que esperar al 9 de diciembre de 2008, para que el Jefe del Estado Mayor del Ejército del Aire asignara al centro Cartográfico y Fotográfico la misión de calibración de radioayudas con la idea de sustituir progresivamente al 47 Grupo Mixto de Fuerzas Aéreas que venía realizando dicha tarea.

Para llevar a cabo la misión de inspección y calibración de radioayudas el CECAF dispone del sistema de armas Cessna Citation V, dotado con la consola



Figura 1. Recepción del avión TM20-03



Figura 2. Antenas TM20-03

UNIFIS 3000 de la empresa *Norwegian Special Mission* (NSM). Durante el periodo 2008-2010 el personal del centro inició el entrenamiento en este tipo de misiones con el apoyo de inspectores en vuelo y operadores de consola del 47 Grupo que aportaron sus conocimientos teóricos y su experiencia en vuelo. Como todo proceso de aprendizaje de un sistema nuevo y un tipo de misiones nunca realizadas antes, fue duro y exigente. Se necesitó una gran dedicación y esfuerzo por parte del personal de este centro para conseguir que en sólo dos años se consiguiera la capacidad operativa de inspección y calibración de radioayudas. La recompensa a este esfuerzo fue cuando una vez completado el Plan de Instrucción correspondiente, el 2 de enero de 2010 una tripulación del CECAF realizó su primera inspección real con personal del 47 Grupo a bordo. La misión fue la inspección periódica del ILS de la pista 09 de la Base Aérea de Albacete y resultó un éxito.

3. DESARROLLO Y MEJORA CONTINUA

La inspección del ILS de la Base Aérea de Albacete no fue más que el primer paso de un gran recorrido que ha hecho que hoy este centro sea reconocido internacionalmente. Desde la obtención de la capacidad de inspección y calibración, el CECAF se ha encontrado con no pocos problemas, que se han ido solventando con ilusión y tesón. Actualmente el CECAF tiene la capacidad de inspeccionar y calibrar, NDB, TACAN, TACAN EMBARCADO, ILS, VOR, VORDME, VORTAC, GCA, PAPI, APAPI y VASIS. Este amplio abanico de capacidades que ha ido obteniendo el CECAF le ha hecho referente mundial en este campo. Sin embargo, como se ha dicho, el camino no siempre fue sencillo. La historia de las inspecciones del CECAF empieza, como ya se sabe, por la inspección del ILS de la Base Aérea de Albacete. El ILS (*Instrument Landing System*) guía al piloto horizontalmente y verticalmente hacia la pista del aeropuerto hasta que pueda conseguir suficientes referencias visuales para poder continuar la aproximación mirando fuera de la cabina y aterrizar. Normalmente un ILS guía al piloto hasta una altura de 200 pies sobre el terreno donde tiene que obtener referencias visuales para poder aterrizar. Es lo que se llama un ILS categoría I. El mismo ILS tiene diferentes categorías dependiendo de los requisitos de visibilidad y de techo de nubes. Cuanto menor es el requisito meteorológico (techo de nubes más bajo o menor visibilidad) mayor precisión se necesita y se le nombra



Figura 3. Operadores de Consola durante una inspección/calibración

con una mayor categoría. Las categorías se dividen en CAT I, II y III. Dentro de la categoría III encontramos tres subdivisiones A, B y C siendo esta última la de mayor precisión ya que permite aterrizar con 0 metros de visibilidad y con el techo de nubes pegado al suelo.

Hay que tener en cuenta que la inspección y calibración del ILS requiere una precisión mucho mayor que en otros tipos de radioayudas. El problema que tuvo el CECAF desde el inicio fue que las cámaras de la consola UNIFIS 3000 no funcionaban. El antiguo sistema de referencia para la inspección del ILS, que usaba la consola Sierra, estaba basado en la obtención de la trayectoria volada mediante dos fotografías realizadas a los dos umbrales que formaban los extremos de la pista de aterrizaje. Una vez obtenidas dichas fotografías, los operadores marcaban el punto central del umbral en cada una de ellas, de forma que uniéndolas linealmente ambos puntos y recalculando matemáticamente, con el apoyo de los datos grabados de los inerciales, se obtenía la diferencia entre la trayectoria volada y la óptima que tenía que indicar la radioayuda. Este sistema fue implantado en la nueva consola UNIFIS 3000, pero no se obtuvieron resultados válidos, siendo desechado por la aparición de otros sistemas de referencias más eficaces. Debido a este fallo, la única forma que tenían de realizar dichas inspecciones era aterrizar en la Base antes de realizar la inspección y colocar un DGPS para poder obtener la precisión requerida. El DGPS (*Differential GPS*) está basado en una constelación de 24 satélites, más 3 de repuesto, que giran alrededor de la tierra a 20 180 km de altura, en seis órbitas prácticamente circulares inclinadas 55° respecto al eje de aquélla y con un período de rotación de 11 horas y 58 minutos. Está controlado continuamente, desde estaciones en tierra, por el De-

partamento de Defensa de EE.UU., de modo que la situación de los satélites es perfectamente conocida en cada momento y corregida cuando es necesario. Las ventajas del DGPS frente al GPS son una integridad del orden de pocos segundos y una exactitud en la posición menor de 10 m, que llega en muchos casos a 2 ó 3 m para móviles y aún menos en situación estacionaria, sin embargo pueden llegar a obtenerse exactitudes centimétricas. Como para la inspección de un ILS era necesario la instalación del DGPS, esto producía un gran gasto de horas de vuelo y por ende de dinero, y debido a que no se esperaba una solución con la avería de las cámaras a corto plazo, a propuesta del CECAF el Estado mayor del Ejército del Aire decidió contratar el servicio OmniSTAR para poder adquirir esa precisión requerida sin el uso del DGPS. El sistema OmniSTAR es un sistema global de transmisión diferencial GPS en tiempo real que suministra las correcciones de una serie de estaciones-base colocadas por el mundo entero. OmniSTAR utiliza una red de estaciones de referencia (o estaciones-base) para medir los errores inducidos dentro de la señal GPS por el Departamento de Defensa de EE.UU. y otros errores inherentes al sistema. Resolviendo este problema y mediante el ajuste de los procedimientos de inspección de dichas radioayudas, se ha conseguido disminuir en un 50% el tiempo requerido, logrando ser el CECAF un referente mundial en eficiencia inspeccionando este tipo de radioayudas. La mejora continua de los procedimientos fue posible, gracias al esfuerzo tanto individual como colectivo del personal de la sección de Inspección en Vuelo, aportando con su experiencia y conocimientos adquiridos en los distintos cursos, ideas innovadoras que fueron modificando el *software* del sistema UNIFIS 3000 y los procedimientos en vuelo.

Un hito importante en el CECAF ha sido la obtención de la capacidad de inspección del ILS CAT III. El primer problema que este centro se encontró fue que el *software* de la consola UNIFIS 3000 no tenía esa capacidad implementada. Este problema fue comunicado a la empresa NSM y solventado por esta. Ya ac-

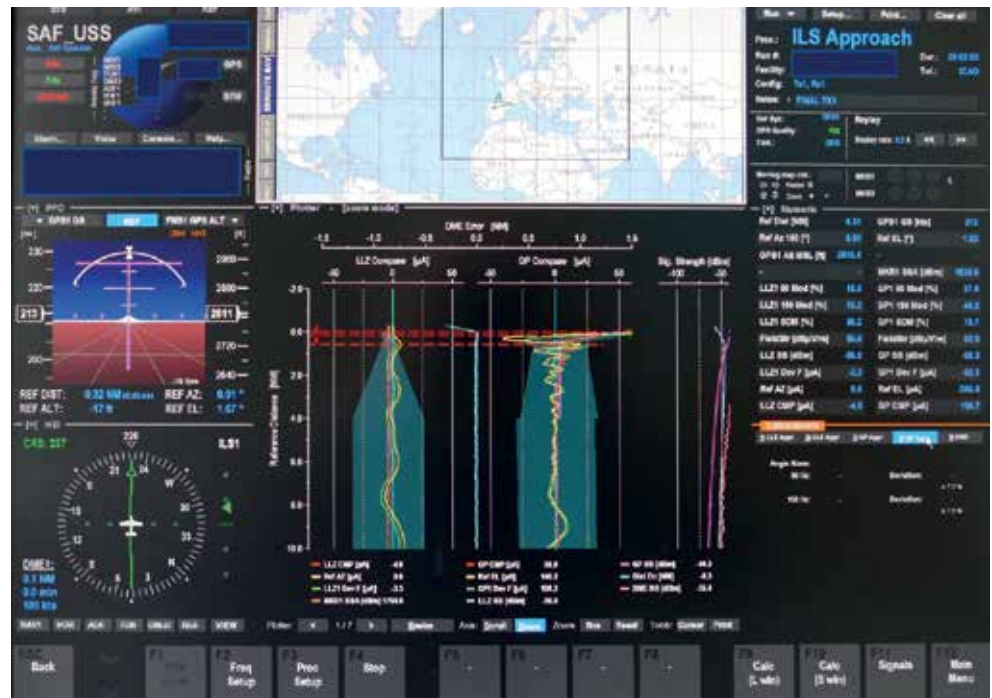


Figura 4. Gráficas ILS CAT III

tualizado e implementado esta función en el *software*, el primer ILS CAT III que se realizó fue la inspección periódica del ILS de la base Aérea de Valladolid. Esta inspección se llevó a cabo entre el 18 y el 21 de enero de 2011. Para la inspección de un ILS CAT III la precisión que se obtiene con el sistema OmniSTAR no es suficiente y es obligatorio la colocación de un DGPS. A pesar de esto, aun colocando el DGPS se tuvieron muchos problemas por las pérdidas de cobertura satelital que periódicamente ocurrían. Finalmente se consiguió realizar con éxito dicha inspección periódica. Unos años más tarde, durante los días 13, 14 y 15 de enero del 2015 se realizó la dada de alta del ILS CAT III de la Base Aérea de Zaragoza. Fue la primera vez que se realizó este tipo de maniobras, resultando un éxito. El poder obtener este tipo de capacidad ha hecho que en los aeropuertos de Valladolid y Zaragoza tengan la capacidad de que los aviones puedan aterrizar con condiciones de visibilidad y techo de nubes muy reducidos. No es necesario resaltar el impacto positivo tan importante que es para estas dos ciudades poder tener un aeropuerto cuyo flujo de aviones no se vea interrumpido por la mala meteorología.

Otra capacidad que tiene el CECAF de inspeccionar es el TACAN. El TACAN (*Tactical Air Navigation*) es una radioayuda que proporciona a la aeronave dirección y distancia a la estación. El TACAN proporciona un número infinito de radiales o rutas a/o desde la instalación TACAN. Sin embargo la capacidad de inspeccionar este tipo de radioayudas no la tuvo el centro

desde el principio. Debido a que la *Cessna Citation V TM20-03* no tenía ni receptor ni instrumento TACAN en cabina, el personal del CECAF con colaboración del MALOG (Mando Logístico), ideó una solución para mandar la señal TACAN del receptor de la consola a la cabina de los pilotos. Esta solución fue el uso de un *ipad* que recibiese por *wifi* la señal TACAN de la consola. Esta idea fue desarrollada por el MALOG y resultó ser un éxito. Tanto es así que en el IFIS de Belgrado de 2016 se expuso como un hito delante de todos los países asistentes.

El CECAF presta apoyo no solo a las unidades del Ejército del Aire, sino que desde el 2013 se han realizado la inspección y calibración de los TACAN embarcados de la Armada. Estos TACAN son usados para guiar a las aeronaves embarcadas, que resulta extremadamente importante en condiciones de meteorología adversa. Este tipo de inspecciones tiene la peculiaridad de que la radioayuda está en movimiento y eso hace que aumente la complejidad de las mismas. En total se han realizado más de 150 horas de inspección, durante las cuales se han mejorado la eficiencia de los procedimientos de inspección disminuyendo considerablemente el tiempo de los mismos. El CECAF se ha convertido en un referente mundial en este tipo de inspecciones, tanto es así, que la Fuerza Aérea Italiana solicitó al CECAF el poder asistir a una inspección de un TACAN embarcado. Debido a esto se invitó al personal de Inspección en Vuelo de la Fuerza Aérea Italiana para observar el modo de inspeccionar y calibrar el TACAN embarcado. Las inspecciones se realizaron el 25 de enero 2017, desde el avión italiano Piaggio P-180 de la 14° Stormo 71° Grupo, con un Inspector en Vuelo y un Operador de Consola del CECAF que fueron asesorándoles en todo momento. Estos, después de inspeccionar dos buques de la armada, quedaron

muy satisfechos de la información obtenida, ya que nunca habían realizado este tipo de inspección. Es de resaltar que no solo se han inspeccionado los TACAN de los buques de la Armada, también se ha realizado la inspección del PAR del Portaeronaes Juan Carlos I. El PAR (*Precision Approach Radar*) es un sistema usado para determinar la posición de una aeronave durante la aproximación final, en azimut y elevación en relación con una trayectoria nominal de aproximación, y en distancia en relación con un punto de toma de contacto. Los radares de aproximación de precisión (PAR) sirven para que pueda darse guía por comunicación radio a los pilotos durante la fase final de la aproximación para aterrizar.

Como se ha mencionado anteriormente se ha de resaltar la cooperación que se tiene con la Fuerza Aérea Italiana. Debido a que ambos países tienen la misma consola UNIFIS 3000, hace extremadamente importante trabajar conjuntamente. Esto no es solo por obtener más información, sino para tener un país aliado que puede ofrecer su apoyo en algún momento de necesidad. Este intercambio comenzó en 2013, cuando la sección de la 14° Stormo 71° Grupo con base en Pratica di Mare de Inspección en Vuelo de la Fuerza Aérea Italiana fue invitada por Estado Mayor del Ejército de Aire a España. En dicha visita se practicó con tripulaciones mezcladas de ambos países la inspección del ILS de la Base Aérea de Getafe y se hizo la inspección periódica de VORTAC de la Base Aérea de San Javier. En dicho intercambio, debido a su mayor experiencia en el sistema UNIFIS 3000, el CECAF pudo asesorar a la Fuerza Aérea Italiana en cómo mejorar la eficiencia realizando las maniobras de inspección y cómo resolver problemas en dicho sistema, ya encontrados y solventados por este centro anteriormente. Posteriormente, en 2014 fuimos invitados a la Base



Figura 5. Tripulaciones españolas e italianas del intercambio en la inspección/calibración de TACAN embarcado



Figura 6. Entrega de obsequio por parte de la Fuerza Aérea Italiana

Pratica di Mare (Roma) para realizar otro intercambio. Allí el personal del CECAF pudo observar la forma de trabajar de ellos realizando la inspección del ILS de la Base Aérea de Latina y el TACAN del Aeropuerto Algero, subiéndose a bordo personal del CECAF en el avión de inspección en vuelo italiano, Piaggio P-180 Avanti.

Así mismo, este centro ha apoyado al Ejército de Tierra siempre que este lo ha solicitado, inspeccionando diversos NDB de dicho ejército, resultando exitosas todas las misiones. Mención aparte se merece la inspección y calibración del APAPI del Helipuerto de Colmenar Viejo, ya que el acentuado gradiente de descenso y la proximidad de la sierra madrileña hicieron que fuese imprescindible una gran coordinación y exactitud. Para alcanzarlos fue necesario desplegar personal de la sección de Inspección en Vuelo durante la inspección. Así mismo se han inspeccionado y validado salidas y llegas instrumentales para helicópteros. Actualmente el CECAF está realizando las coordinaciones y preparaciones oportunas para realizar por primera vez la inspección y validación del procedimiento instrumental «COPTER NDB 297» del Aeropuerto de Melilla. En dicha validación/inspección, como rige en la I.G. 70-14, el inspector en vuelo deberá ir a bordo del helicóptero de la unidad que designe el Mando Aéreo General (MAGEN). Para realizar dicha misión la sección de Inspección en Vuelo está elaborando un nuevo registro de calidad adaptado a la inspección y validación de procedimientos instrumentales para helicópteros.

Este centro realiza también la inspección y calibración de radioayudas de propiedad de Enaire (antigua AENA). Es de resaltar que en los últimos años se ha ampliado la coordinación con esta empresa e incluso se está planteando la posibilidad de realizar un apoyo mutuo en el caso de que alguna de las dos partes lo necesite. Así mismo se abre la posibilidad de la elabo-

ración por parte conjunta de un manual de inspección en vuelo.

Cuándo el CECAF fue consciente de la existencia de un simposium bianual sobre inspección en vuelo llamado IFIS (*International Flight Inspection Symposium*), solicitó la asistencia a dicho evento. Finalmente, el CECAF asistió en 2014 al IFIS que se celebró en Oklahoma (EEUU), obteniendo importante información de cómo se realizan las inspecciones en vuelo en otros países. Posteriormente, en el año 2016 asistieron al IFIS que se realizó en Belgrado (Serbia). En dichas reuniones el personal del CECAF obtuvo valiosa información de cómo validar procedimientos instrumentales RNAV y de qué sistemas debe tener el avión que los vuela. Asistiendo a estos dos IFIS se ha podido comprobar la importancia de participar en este tipo de reuniones para obtener información actualizada de un mundo tan cambiante como es la inspección en vuelo. Así mismo, resulta de vital importancia a la hora de compartir experiencias y adquirir contactos de interés.

Ante la sustitución, por parte del Ejército del Aire, de los CVOR por los nuevos DVOR, la sección recibió formación técnica por parte de la empresa instaladora de los nuevos DVOR. La inexistencia de experiencia en inspección en vuelo de estas radioayudas requirió una serie de pruebas de desarrollo, obteniéndose los datos necesarios para implantar unos procedimientos adaptados a la nueva realidad. El VOR (*Very High Frequency Omnidirectional Range*) es un sistema de navegación radioeléctrica más preciso y utilizado en todo el mundo en navegación primaria para las salidas, en ruta y aproximación. El VOR proporciona en todo momento al Piloto su línea de situación con relación al emisor. El CVOR es el VOR Convencional y el DVOR es el VOR Doppler, este último es más preciso que el anterior.

La Sección de Inspección en Vuelo se ha enfrentado a distintos retos con menor o mayor dificultad.



Figura 7. Personal del CECAF asistiendo al IFIS que tuvo lugar en Belgrado



Figura 8. Tripulación con el Coronel de la Base Aérea de Beja (Portugal)

Cada reto ha supuesto una ampliación de conocimientos y la adquisición de mayores capacidades aprovechando la información técnica recibida de las propias unidades responsables del equipo a inspeccionar. La recepción de los manuales técnicos, el estudio profundo de los mismos, el desarrollo de los procedimientos necesarios para realizar la inspección en vuelo, la adaptación del sistema de inspección, la implantación de la base de datos necesaria para obtener los datos a computar y la exposición con la declaración del estado operativo de la ayuda, han convertido al CECAF en un referente en este ámbito. Un ejemplo de lo expuesto, fue el intento de instalar un sistema TLS transportable en la Base Aérea de Salamanca. Un sistema nuevo que supuso muchas horas de estudio y que finalmente, a pesar de buscar soluciones de toda índole, no se pudo poner en servicio por la falta de integridad del mismo. El TLS (*Transponder Landing System*) rastrea y proporciona una guía válida de aterrizaje y aproximación a sólo una aeronave devolviendo un código de identificación de transpondedor específico. Las señales de guía TLS emulan señales de un sistema de aterrizaje de instrumentos (ILS) que existirían en la posición actual de la aeronave de seguimiento.

Por último resaltar un hito importante que ocurrió en el 2016 y fue la solicitud de apoyo por parte de la Fuerza Aérea Portuguesa para realizar las inspecciones periódicas de las radioayudas de su Bases. Después de un laborioso trabajo en coordinación con la sección de Fotogrametría y Topografía del CECAF para la realización de la Base de Datos, se realizó el TACAN e ILS de la Base Aérea de Beja y dos ILS de la Base Aérea de Monte Real. La misión fue un éxito y la Fuerza Aérea Portuguesa quedó muy satisfecha con el trabajo realizado. Este hecho abre las puertas a posibles futuras inspecciones en apoyo a un país aliado como es el portugués.



Figura 9. Reunión de la tripulación antes de realizar la misión

4. FUTURO

Como ya se ha recalcado, el esfuerzo y dedicación del personal del CECAF, la experiencia adquirida en cada inspección, el estudio y el análisis de las maniobras que marcan las normativas y las mejoras en el material y en los procedimientos utilizados, han propiciado que se alcancen un nivel óptimo de operación reduciendo considerablemente las horas de vuelo por radioayuda y en consecuencia los costes en algunos casos superior al 50 % sin variar la calidad de las inspecciones. Este proceso de aprendizaje ha dado como resultado que el CECAF se haya convertido en un centro de referencia en el área de inspección en vuelo abarcando el amplio espectro que abarca el diseño de procedimientos de navegación instrumental y la validación final de los mismos, incluyendo además las inspecciones periódicas requeridas para el correcto funcionamiento de las radioayudas.

El CECAF se halla inmerso en la implantación de un sistema de gestión de calidad y la sección de Inspección en Vuelo se encuentra a la cabeza en ese proceso. Tanto es así, que todas las tareas que se realizan dentro de esa sección tienen su registro y su sistema de calidad implantado. Actualmente la sección de Inspección en Vuelo del CECAF se encuentra a la espera de pasar la correspondiente auditoría y conseguir la tan ansiada certificación PECAL. Las normas PECAL son publicaciones que especifican los requisitos del Ministerio de Defensa de España (requisitos OTAN) para la gestión de la calidad que deben cumplir los suministradores en el cumplimiento de los contratos de Defensa. Los requisitos de las normas PECAL son una combinación de los requisitos de la norma ISO 9001 más los requisitos específicos OTAN. El CECAF es consciente de la importancia de cumplir con el PECAL en busca de alcanzar un nivel de calidad en sus productos que cada vez son más demandados, no solo por las empresas civiles, sino también por el ejército.

Como ya se ha dicho, este centro siempre ha tenido unas excelentes relaciones con Enaire. Fruto de esta relación, actualmente se están teniendo reuniones para buscar la posibilidad de realizar un apoyo mutuo en caso de necesidad. Todo esto abre la puerta a una posible realización de un manual de inspección en vuelo conjunto que se convierta en normativa dentro de España. Esto hace que se atisbe un futuro esperanzador en las relaciones con esta empresa.

En la actualidad se está desarrollando en todo el mundo el concepto de PBN. El PBN (*Performance-based Navigation*) como el nombre indica es un sistema de navegación basada en la performance. Este con-

cepto específica que los requisitos de performance de sistemas RNAV o RNP de las aeronaves se definan en función de la precisión, integridad, continuidad y funcionalidad que son necesarias para las operaciones propuestas en el contexto de un concepto de espacio aéreo particular, con el apoyo de la infraestructura apropiada. El concepto PBN representa un cambio de navegación basada en sensores a navegación basada en la performance. Los requisitos de performance se identifican en especificaciones para la navegación, que también identifican la elección de los sensores y del equipo de navegación que podrían usarse para satisfacer los requisitos de performance. En este sentido, una especificación para la navegación es un conjunto de requisitos relativos a la aeronave y a la tripulación de vuelo necesarios para dar apoyo a una aplicación de navegación dentro de un concepto de espacio aéreo definido. La especificación para la navegación define la performance requerida del sistema RNAV o RNP así como todos los requisitos funcionales, tales como la capacidad de realizar procedimientos de trayectoria curva o volar por rutas paralelas desplazadas. El sistema RNAV o RNP es un método de navegación que permite la operación de aeronaves en cualquier trayectoria de vuelo conveniente dentro de la cobertura de las ayudas para la navegación terrenas, o dentro de los límites de capacidad de ayudas autónomas, o una combinación de éstas. La RNAV que sólo utiliza las capacidades en el plano horizontal, es llamada navegación de área en dos dimensiones (2D RNAV o LNAV). La RNAV que incorpora guía vertical es llamada 3D RNAV, VNAV o LPV). El CECAF ha realizado un escrito solicitando la certificación de aeronavegabilidad para la TM20-03, ya que basándose en los manuales de los sistemas del avión tendría la capacidad de realizar aproximaciones 2D RNAV o LNAV. Ahora el centro se encuentra a la espera de que por mediación del Mando Logístico (MALOG) se conceda dicha certificación.

Un hecho muy importante para este centro es la aprobación del proyecto de compra de una nueva consola UNIFIS 3000 y la modificación de la *Cessna Citation V* que se usaba para misiones de fotografía aérea (TR20-02), para poder ser usada para misiones de inspección. Así mismo, se ha solicitado que dicho avión tenga la capacidad de hacer aproximaciones LPV y se instale una antena en la panza para detección y medición de interferencias, cosa que exige el Anexo 10 Vol. 2 de OACI. Cuando esté la TR20-02 operativa el CECAF tendrá la capacidad de inspeccionar y validar aproximaciones LPV, poniendo a este centro a la vanguardia a nivel internacional en este tipo de inspecciones. Así mismo la posibilidad de tener dos aviones de

inspección (TM20-03 y TR20-02) y dos consolas UNIFIS 3000 intercambiables multiplicará exponencialmente la capacidad operativa de este centro.

5. CONCLUSIONES

Con este artículo se pretende hacer un sencillo homenaje a todas aquellas personas que con su esfuerzo y dedicación han hecho posible que el CECAF sea hoy un centro admirado y querido internacionalmente. El futuro de la inspección en vuelo está más que asegurado, no solo por la inminente disponibilidad de dos aviones y dos consolas para este fin, sino por la calidad profesional del personal de la sección de Inspección en Vuelo del CECAF.

REFERENCIAS

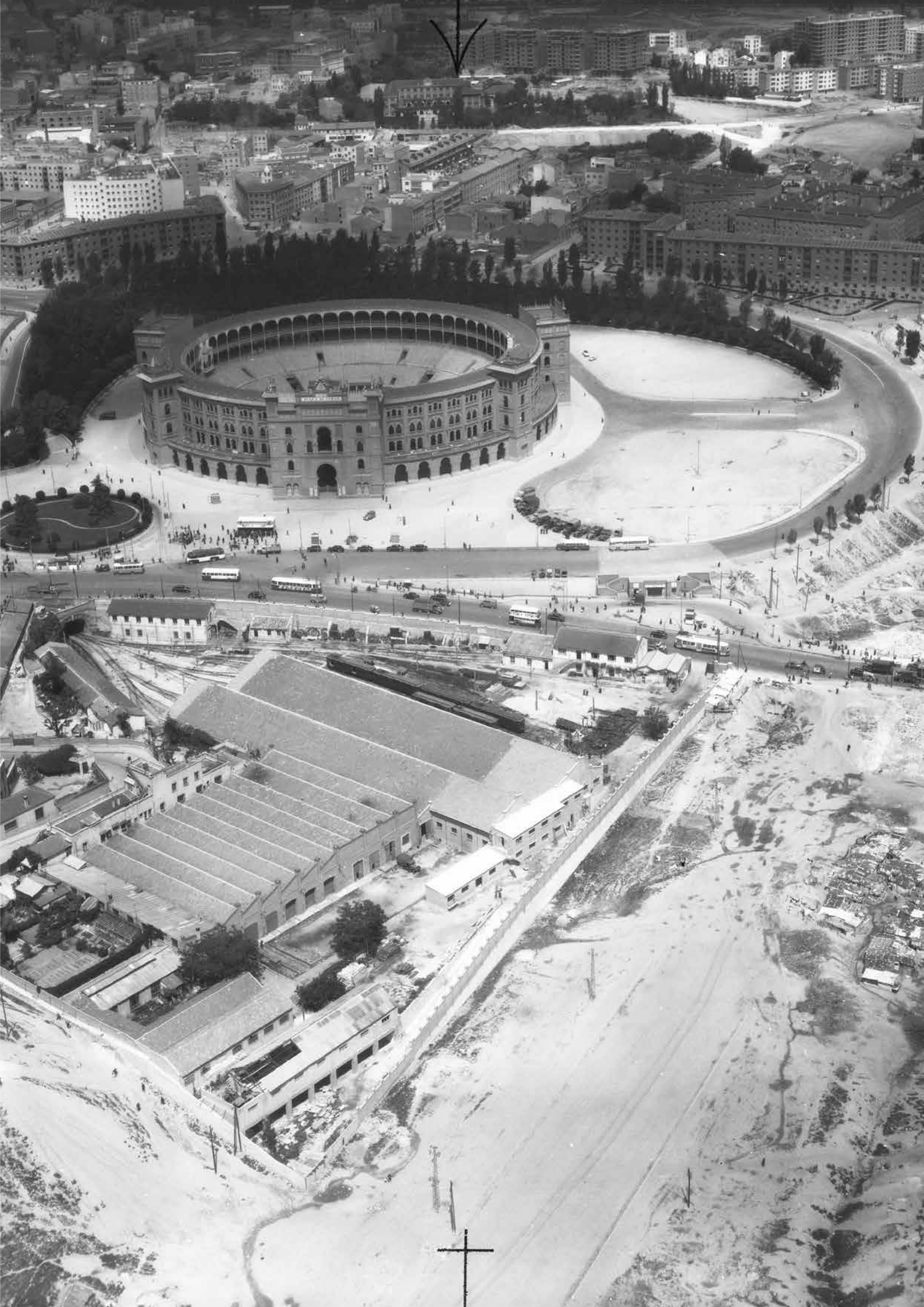
- IG 70-14 radioayudas, adquisición, procedimientos instrumentales asociados, inspección en vuelo, calibración, mantenimiento y baja en servicio.
- Manual técnico de instrucciones del sistema de aterrizaje cono transpondedor de ANPC (Advanced Navigation & positioning Corporation) Octubre 2011 DOCUMENTO #020-00004 RevP.
- Navegación sistemas y equipos maniobras y procedimientos 7ª Edición de Juan Fco. Martínez Vadillo y Ricardo Belda Valiente.
<http://www.hispaviacion.es/sistema-instrumental-de-aterrizaje-el-ils/>
- <http://jairogaviria.blogspot.com.es/2009/10/definicion-de-rnav.html>
- http://loseskakeados.com/joomla1cinco/index.php?option=com_content&view=article&id=10513:aeronutica-rdar-de-aproximacion-de-precisin-par&catid=442:aeronutica&Itemid=422
- <http://www.puertos.es/es-es/conceptosgenerales/Paginas/Sistema-GPSDGPS.aspx>

Sobre el autor

David Gómez-Tejedor Martín

Jefe de la Sección de Inspección en Vuelo, piloto del CECAF del sistema de armas TR/M-20 (Cessna Citation V) e Inspector en Vuelo.





ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍA AERONÁUTICA DE NAVEGACIÓN VISUAL

REVISTA **MAPPING**
Vol. 26, 185, 16-22
septiembre-octubre 2017
ISSN: 1131-9100

Aeronautical Cartography of visual navigation production

Subteniente Ángel Bustos Solís

Resumen

El artículo plantea el procedimiento y necesidad de la realización de cartografía aeronáutica de vuelo visual. Esta cartografía proporciona a los pilotos los medios necesarios para su posicionamiento en el espacio aéreo y un método con el que poder desplazarse de un lugar a otro de una forma rápida y segura. Para ello es necesario tener una fuente actualizada de datos para la navegación, que deberá adaptarse a normas nacionales e internacionales.

En este tipo de cartografía deben aparecer representadas las características geográficas de la zona que puedan identificarse fácilmente desde el aire, así como símbolos igualmente reconocibles, además de la información aeronáutica, con el fin de obtener una lectura rápida y precisa en pleno vuelo.

Abstract

The article raises the procedure and necessity of the aeronautical mapping of visual flight. This cartography provides the pilots with the necessary means for their positioning in the air space and a method with which to be able to move from one place to another of a fast and safe form. It is therefore necessary to have an updated source of data for navigation, which should be adapted to national and international standards.

In this type of mapping, the geographical characteristics of the area that can be easily identified from the air, as well as equally recognizable symbols, in addition to aeronautical information, must be represented in order to obtain a fast and accurate reading in mid-flight.

Palabras clave: VFR, Cartografía Aeronáutica, obstáculos, proyección, Sistema Geodésico de Referencia, espacio aéreo, escala.

Keywords: VFR, Aeronautical Cartography, obstacles, projection, Geodetic Reference System, airspace, scale.

Jefe del Negociado de Edición
abussol@ea.mde.es

Recepción 22/04/2017
Aprobación 26/06/2017

1. INTRODUCCIÓN

El Negociado de Edición forma parte de la sección de Cartografía General perteneciente al Escuadrón de Cartografía del CECAF (Centro Cartográfico y Fotográfico). Es el encargado de confeccionar con medios digitales las cartas de navegación que los pilotos necesitan para preparar sus misiones y permitirles orientarse y desplazarse en el espacio aéreo.

La cartografía aeronáutica ayuda a que las operaciones aéreas sean seguras, gracias a toda la información que suministra de carácter geográfico y aeronáutico para la navegación aérea civil o militar. Está basada en un tipo de cartografía básica, obtenida por procesos directos de observación y medición de la superficie terrestre para la representación de la Tierra y a la que se añade o generaliza información.

Según la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), la Carta Aeronáutica se define como «La representación de una porción de la Tierra, su relieve y construcciones, diseñada especialmente para satisfacer los requisitos de la navegación aérea».

Según el PLANCART FAS (Plan Cartográfico de las Fuerzas Armadas), el CECAF se encargará, entre otros muchos cometidos, de la cartografía para la navegación aérea visual y el Negociado encargado para su realización será el de Edición.

Las cartas de vuelo visual son aquellas que siguen las Reglas de Vuelo Visual (VFR). Estas reglas las forman el conjunto de normas recogidas en el Reglamento de Circulación Aérea que permiten al piloto dirigir su aeronave y mantener la distancia necesaria con cualquier obstáculo con la sola ayuda de la observación visual, aunque también pueda utilizar los instrumentos de vuelo de a bordo como ayuda. En este tipo de cartas, se prioriza la navegación autónoma, ya que permite al piloto orientarse en el espacio sin ayudas externas.

El rasgo principal de este tipo de cartografía es el de representar las características geográficas de la zona que puedan reconocerse fácilmente, además de la situación de los obstáculos, elevaciones del terreno y zonas restringidas. En este tipo de cartas es recomendable utilizar un tipo de simbología fácil de entender y de recordar para poder utilizar la carta en pleno vuelo de una forma rápida.

2. CONSIDERACIONES GENERALES

- Las cartas aeronáuticas son de uso en el ámbito de la OTAN (Organización del Tratado Atlántico Norte) por lo que nos regiremos principalmente de

las especificaciones que aparecen en sus STANAG (Standardization Agreement).

- Utiliza el sistema geodésico de referencia WGS - 84 (World Geodetic System): sistema geodésico mundial 1984, que permite localizar cualquier punto en la superficie terrestre.
- La proyección dependiendo de la escala será la UTM (Universal Transversal Mercator) o la Cónica Conforme de Lambert. La primera es una proyección tangente a un meridiano y cuyas magnitudes se expresan en metros. La segunda proyección representa la esfera de la Tierra en la que se superpone un cono con dos paralelos de referencia secantes (paralelos automecóicos), siendo justo en esos paralelos donde menos distorsión hay y que va aumentando según nos alejamos. Éstos serán diferentes para la Península y Canarias. Las magnitudes estarán expresadas en longitud y latitud.
- La declinación magnética, que es el ángulo que forma en un plano horizontal el Norte magnético con el Norte geográfico y que varía con los años y el lugar donde nos encontremos, se representa en estas cartas (líneas isógonas).
- Se tomarán como referencia de altitudes para la Península, los registros del nivel medio del mar en Alicante y para cada una de las islas, las referencias de los mareógrafos locales.
- La cartografía base la proporciona el IGN (Instituto Geográfico Nacional), el CEGET (Centro Geográfico del Ejército de Tierra) y la Unidad de Coordinación Cartográfica del CIFAS (Centro de Inteligencia de las Fuerzas Armadas), dependiendo de la escala.
- La información aeronáutica la proporcionará ENAI-RE (gestor de navegación aérea de España) a través del AIP (Publicación de Información Aeronáutica).
- Otro tipo de información la genera el propio CECAF como por ejemplo la información de obstáculos a partir de diferentes nubes de puntos LIDAR (Light Detection and Ranging) e imágenes aéreas PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea) que nos proporciona el CENIG (Centro Nacional de Información Geográfica), además de datos topográficos obtenidos en el Negociado de Topografía del CECAF.
- En este tipo de cartas se resaltan elementos que pueden ser peligrosos para la navegación aérea a baja cota como los obstáculos de más de 60 metros de altura, parque eólicos o tendidos eléctricos.
- La información aeronáutica que se representa es: aeropuertos, helipuertos, pistas de aterrizaje, radioayudas, puntos de notificación visual, zonas restringidas, así como otro tipo de datos que puedan demandar este tipo de publicaciones.

3. PRODUCCIÓN CARTOGRÁFICA

- CARTA AERONÁUTICA DE NAVEGACIÓN VISUAL (CNV)

ESCALA 1:1 000 000

- Ofrece información para el vuelo con referencia al terreno. Puede servir como carta aeronáutica básica cuando las cartas especializadas carentes de información para vuelo visual no proporcionen los datos esenciales.
- Actualmente se compone de tres hojas que abarcan la totalidad del territorio nacional (dos de la península y una de Canarias).
- El sistema geodésico de referencia es WGS - 84.
- La proyección utilizada es la Cónica Conforme de Lambert.
- Es una carta de producción anual

- CARTA AERONÁUTICA *LOW FLYING CHART* (LFC)

ESCALA 1:500 000

- Esta carta de navegación está diseñada principalmente para el vuelo de forma visual. La información aeronáutica y topográfica representada pretende que no sólo con instrumentos de navegación, sino también de forma visual, se pueda navegar tomando como referencia accidentes geográficos y elementos singulares. También se usa la carta LFC para el planeamiento de misiones.
- Está dividida en 9 hojas que abarcan el total del territorio nacional.
- El sistema geodésico de referencia es WGS - 84.
- La proyección utilizada es la Cónica Conforme de Lambert.
- Es un producto de publicación anual.

- CARTA DE OPERACIONES CONJUNTAS DE ESPAÑA. *JOINT OPERATIONS GRAPHIC* (JOG)

ESCALA 1:250 000

- La Carta de Operaciones Conjuntas (Aire) está diseñada principalmente para el vuelo visual de aeronaves.
- Esta carta coincide con la carta *Joint Operations Graphis* (Ground) publicada por el Ejército de Tierra, a la que se le han añadido los elementos necesarios para la navegación.
- Está dividida en 44 hojas que abarca la totalidad del territorio nacional.
- El sistema geodésico de referencia es WGS - 84.
- La proyección utilizada es UTM.
- Se publica cada 5 años.

- CARTA DE LA SERIE TFC-SPAIN (*TRANSIT FLYING CHART*)

ESCALA 1:250 000

- La base topográfica está basada en la publicada por el Ejército de Tierra (JOG - GROUND).
- La información aeronáutica está basada en la carta LFC.
- Está dividida en 44 hojas que abarcan la totalidad del territorio nacional.
- El sistema geodésico de referencia es WGS - 84.
- La proyección utilizada es UTM.
- Es un producto de publicación anual.

4. INFORMACIÓN AERONÁUTICA

La navegación aérea conlleva la necesidad de una corriente continua de información georreferenciada que permite al piloto tomar decisiones tanto a la hora de la planificación de la misión como a la hora de pilotar la aeronave.

La información de la carta aeronáutica variará dependiendo de la escala. (Figura 1). Los rasgos generales son lo que aparecen a continuación.

- Aeropuertos, aeródromos, hidropuertos y helipuertos. Vendrán representados con información del material con que está hecha la pista, el nombre, la elevación y la longitud de la misma.
- Ayudas visuales y obstáculos a la navegación aérea. Se considera obstáculo a todo elemento que tenga una dimensión vertical que se considere peligrosa para la navegación aérea. Los obstáculos que se representan son aerogeneradores, antenas, chimeneas, tendidos eléctricos, torres, etc. y deberán estar informados con dos medidas: MSL (Mean Sea Level) que es la distancia vertical que hay entre la cima del obstáculo y el nivel medio del mar y AGL (*Above Ground Level*) que es la altura del obstáculo.
- Radioayudas para la navegación. Son sistemas electrónicos que emiten ondas de radio y que son recogidas por la aeronave proporcionando información sobre la posición y ayuda en el desplazamiento de un lugar a otro.
 - NDB (*Non Directional Beacon* o radiofaro no direccional). Transmite una señal que puede captarse desde todas las direcciones y determina la dirección en que se encuentra el radiofaro.
 - TACAN (*TACTical Air Navigation* o navegación aérea táctica). Es un sistema usado principalmente por las aeronaves militares. Proporciona al usuario información de rumbo y distancia a una estación (combinación de VOR Y DME).

- VOR (VHF *Omnidirectional Range* o radiofaro omnidireccional de VHF). Emite una señal en todas direcciones y en la aeronave puede ser interpretada por un receptor VOR de a bordo. Es utilizado para posicionarse en el espacio, o bien para guiar a la aeronave manteniéndola dentro del radial seleccionado.
 - DME (*Distance Measuring Equipment* o equipo de medición de distancia). El equipo receptor de DME de la aeronave puede calcular la distancia oblicua a la estación. Junto con otra estación terrestre permite el posicionamiento en dos dimensiones, latitud y longitud.
 - A veces las estaciones pueden acompañarse de otra estación y forman las radioayudas NDB/DME, VOR/TAC Y VOR/DME
- Espacio aéreo es aquel que se extiende tanto sobre la propia tierra como sobre el mar y que pertenece a un estado soberano propio, siendo además regulado por el propio país.
- FIR (*Flight Information Region* o región de información de Vuelo). Por lo general los FIR siguen el contorno de las fronteras de los países que conforman la región. Sin embargo, un mismo país puede tener varias FIR. España tiene tres: Madrid, Barcelona y Canarias
 - CTR (*Control Region* o zona de control). Espacio aéreo asociado a uno o dos aeródromos y cuya finalidad es proteger a las aeronaves cuando están cerca del suelo, es decir, coordinar las rutas de entradas y salidas.
 - TMA (Terminal área o Área Terminal). Es la zona establecida en las inmediaciones de un aeropuerto y cuya función es contener el tránsito controlado cerca de los aeropuertos, es decir, conecta la fase de vuelo con la de aproximación.
 - CTA (*Controlled Traffic Area* o área de tráfico controlado). Es parecido al TMA pero englobando menos espacio.
 - Complementariamente a las clases de espacios aéreos, se pueden definir zonas de usos especiales:
 - D (Dangerous zone o zona peligrosa). Es una zona que puede ser peligrosa para las aeronaves en determinados momentos, como por ejemplo ejercicios de tiro, ejercicios aéreos, lanzamientos de paracaidistas.
 - R (Restricted zone o zona restringida). Es una zona utilizada a muy baja altitud por el ejército y puede estar activada o no. Puede ser una zona ecológica o de entrenamiento de aviones militares.
 - P (Prohibited Zone o zona prohibida). Supone restricción máxima y su utilización está prohibida para las aeronaves, aunque a veces el Ministerio de Defensa puede autorizar el vuelo. La finalidad es proteger instalaciones indispensables para la seguridad nacional como centrales nucleares.
 - Punto de Notificación es el lugar geográfico especificado, con referencia al cual puede notificarse la posición de una aeronave.
 - MEF (Maximum Elevation Figure o cifras máximas de elevación). Es una cifra que se muestra en cada rectángulo delimitado por las líneas (Latitud y Longitud) de la retícula marcada en las cartas aeronáuticas, y que representa la elevación en pies (0,3048 metros) sobre el nivel medio del mar. Será a partir de esa cifra cuando la navegación sea segura.

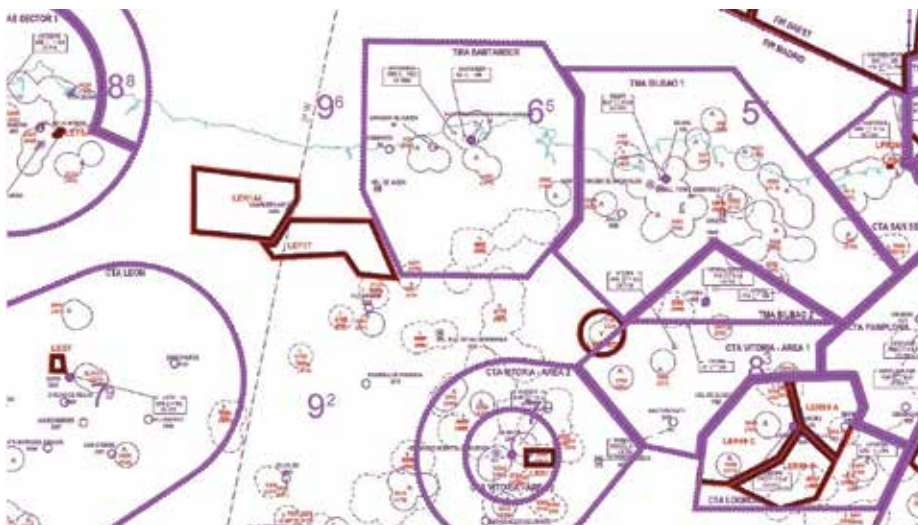


Figura 1. Información Aeronáutica. Zona de la carta CNV

5. INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA

La cartografía base la proporcionan el IGN, a través de su web de descargas, el Centro Geográfico del Ejército de Tierra, a través de disco físico y la Unidad de Coordinación Cartográfica, a través de su portal de descargas MGCP (*Media Gateway Control Protocol* o programa multinacional de coproducción geoespacial).

Los accidentes geográficos y topográficos se seleccionan de acuerdo con el objetivo de la carta y su escala (Figura 2). Las cartas de navegación a baja altura deben mostrar con más detalle los elementos de la superficie terrestre, sean naturales o artificiales. La información de la carta aeronáutica variará dependiendo de la escala. Los rasgos generales son lo que aparecen a continuación.

- Representación altimétrica
 - Curvas de nivel. Unión de todos los puntos que tienen la misma cota mediante líneas.
 - Tintas hipsométricas. Zonas de altitudes limitadas mediante curvas de nivel, de forma que se asigna a cada zona un color distinto.
 - Tintas batimétricas. Igual que las tintas hipsométricas pero en el mar.
 - Sombreados. Se introduce el sombreado para dar mayor sensación de relieve.
 - Cotas. Serie de puntos con coordenadas que permiten dar mayor precisión a la carta. Suelen darse en las zonas más altas o en lugares característicos.
- Representación planimétrica
 - Hidrografía. Se representan costas, ríos, vaguadas, lagos.
 - Vegetación. Superficies boscosas.
 - Edificaciones. Se representan tanto núcleos de población como castillos, faros, iglesias...
 - Vías de comunicación. Aparecen autopistas, carreteras de primer y segundo orden, vías de ferrocarriles, líneas de tendido eléctrico, teleféricos...

- Divisiones administrativas. Aparecen límites provinciales, límites de comunidades autónomas y límites internacionales.
- Toponimia. Se representan todos los nombres de localidades, accidentes geográficos ...

6. PRODUCCIÓN

Previamente al proceso de producción se realizará la descarga de los últimos datos con la información aeronáutica y topográfica necesaria.

El Negociado de Base de Datos Aeronáuticos que forma parte de la sección de Cartografía General, se encarga de la obtención, tratamiento y actualización de la información aeronáutica no sólo de España, sino también de aquellas otras zonas de países que aparecen en la carta (Francia, Portugal, Marruecos y Argelia). También se encarga de la gestión de usuarios y privilegios en lo concerniente al acceso de datos, así como la gestión de las copias de seguridad.

La información aeronáutica se recibe cada 28 días, período coincidente con los ciclos AIRAC (*Aeronautical Information Regulation and Control*). Estas fechas se establecen en el Anexo 15 de la OACI. El medio en el que se recibe la información aeronáutica de España es en formato DVD, el cual llega por correo ordinario al CECAF remitido por ENAIRE (responsable estatal de la navegación civil aérea en España). El CECAF dispone de una suscripción que se renueva anualmente. Esta información también se puede consultar mediante la página *web* de ENAIRE. La información aeronáutica

del resto de países que sale representada en estas cartas se obtiene de las páginas *web* de los respectivos servicios de información aeronáutica de cada país.

La información contenida en el DVD se copia en los servidores del CECAF para poder ser utilizada posteriormente para la confección de las cartas. Dentro del DVD encontramos las enmiendas o modificaciones que contienen los cambios en la información aeronáutica que van a producirse en el siguiente ciclo AIRAC. Esta información se introduce en la base de datos de información aeronáutica mediante

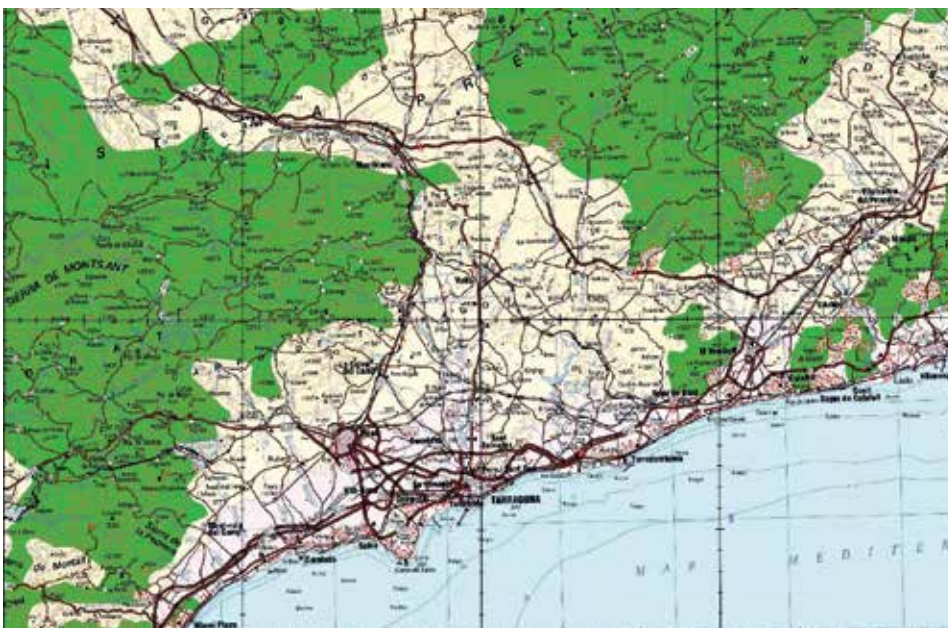


Figura 2. Representación planimétrica y altimétrica. Zona de la carta TFC.

el software AERODB Suite V: 8.4, de la compañía *Ingeniería dei Sistemi* (IDS). Esta herramienta es específica para la consulta, mantenimiento y actualización de la información aeronáutica.

El Negociado de Edición es el encargado de recoger y representar todos los datos necesarios en la carta aeronáutica.

Para la realización de una carta aeronáutica, en primer lugar hay que crear un espacio de trabajo en un SIG (Sistema de Información Geográfica), en nuestro caso con el software Geomedia de la empresa Hexagon Geospatial, con un sistema geodésico de referencia,

una proyección cartográfica y una escala adecuados a cada tipo de carta.

Obtención de la información aeronáutica procedente del AIP así como de la información topográfica en formato «Shape» procedente del IGN, del CEGET y del MGCP de la Unidad de Coordinación Cartográfica. Estos datos obtenidos se guardarán en una base de datos ORACLE (*Oak Ridge Automated Computer and Logical Engine*).

La información aeronáutica, previas consultas a la base de datos aeronáuticos, contendrá toda la información representativa acorde a la escala del proyecto, como por ejemplo aeropuertos, radioayudas, espacios aéreos y obstáculos, añadiendo el texto correspondiente. Posteriormente habrá que plasmar su simbolización en la leyenda del espacio de trabajo.

Para la información topográfica se importarán las entidades del archivo «shape» del IGN, CEGET y MGCP a la leyenda del espacio de trabajo, generada con anterioridad para su simbolización, como por ejemplo vías de comunicación, hidrografía, núcleos de población, tintas batimétricas, curvas de nivel, etc.

Toda esta información quedará representada en la leyenda del espacio de trabajo, y tendrá que mantener un orden concreto para su mejor interpretación. Por ejemplo, se deberán poner en la leyenda las sombras o las tintas hipsométricas por debajo de otro tipo de información para no ocultar datos.

A continuación se procederá a editar la información para su perfecta lectura evitando la superposición de la toponimia o el empastado de la carta, eliminando elementos de menor importancia o desplazando elementos, como por ejemplo los textos.

Una vez generada la carta se procederá a crear un marco informativo para cada una de las hojas con toda la información necesaria para su correcta interpretación. Dependiendo del trabajo, esta información también podrá aparecer en el reverso de las hojas (Figura 3).

El proceso de control de calidad es la última etapa por la que pasa el producto antes de estar disponible para su producción definitiva. El control de calidad

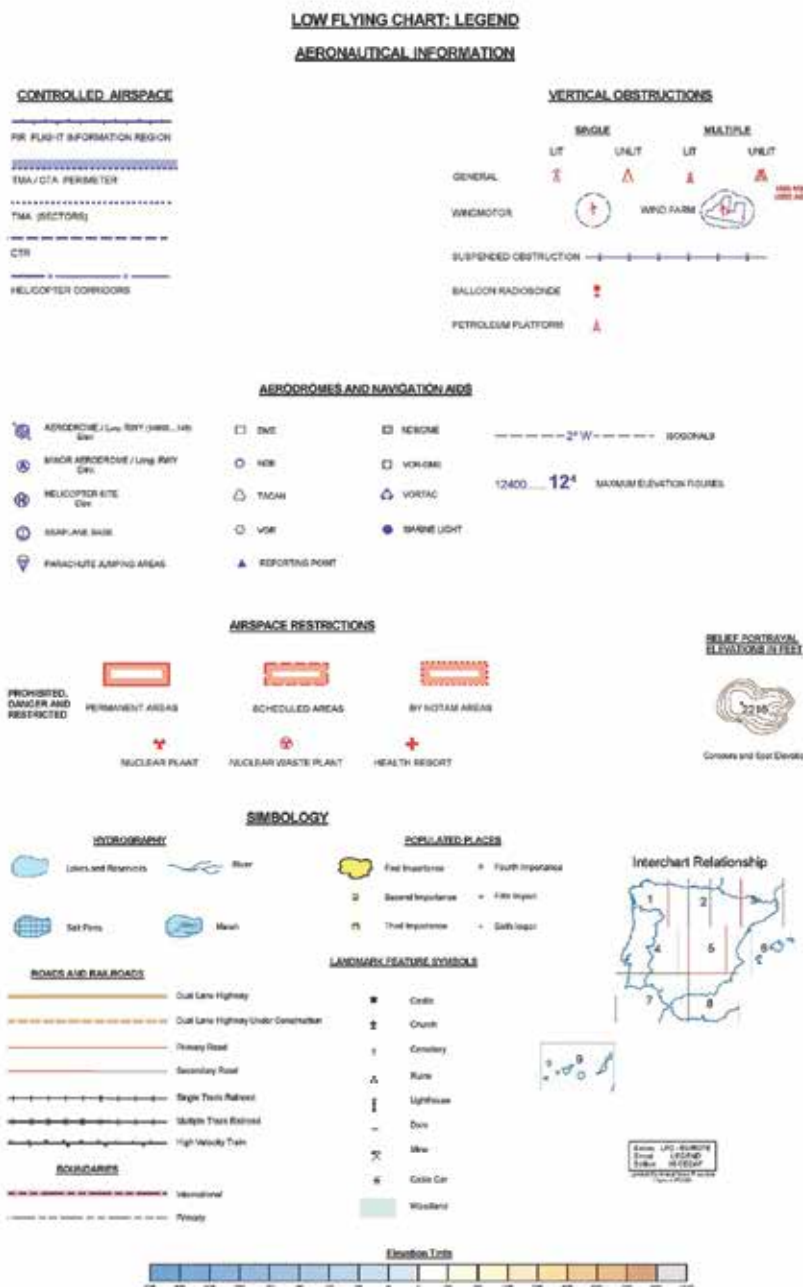


Figura 3. Leyenda de la carta LFC

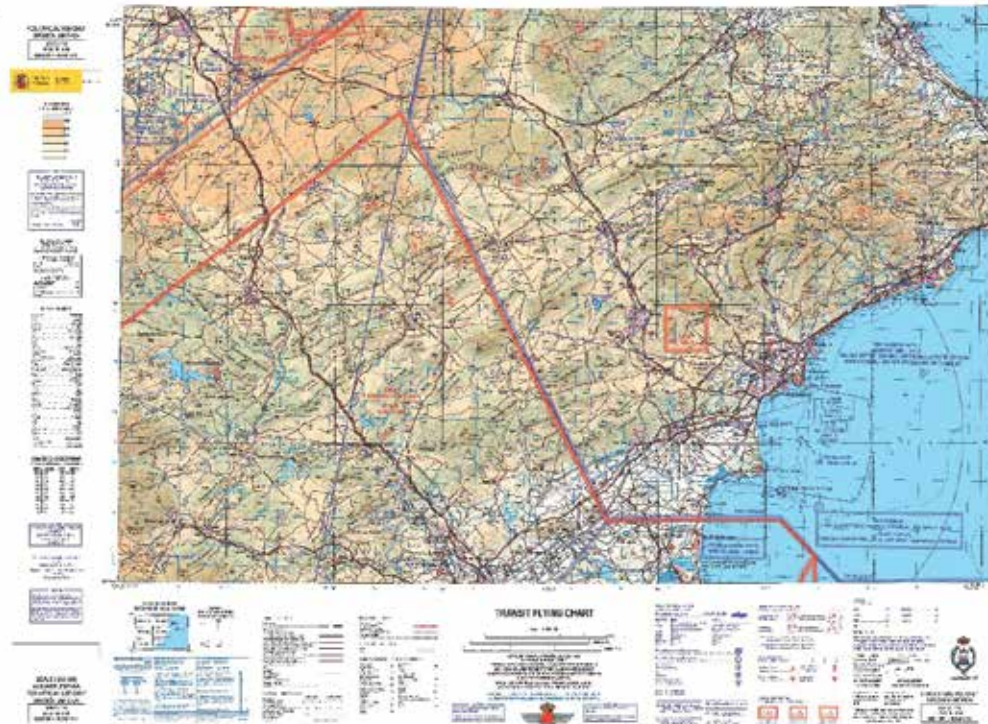


Figura 4. Hoja completa de la carta TFC

será realizado mediante inspección visual, chequeo y comprobación en formato digital y papel, revisando los posibles errores informáticos y humanos que se hayan podido cometer. El control será realizado por personal con conocimientos en información aeronáutica y topográfica, y distinto al personal que ha creado la carta.

Por último, los archivos digitales obtenidos se convertirán en formato .pdf (Formato de Documento Portátil), para su posterior procesado con el *software* Pitstop de la empresa ENFOCUS para la adecuación de colores y transparencias a las tintas de imprenta, debido a que la calibración de los colores de los monitores suele ser distinta a la de las tintas utilizadas en la imprenta en formato papel (Figura 4).

La finalidad de estas cartas aeronáuticas es su publicación en formato papel a través de la imprenta del CECAF, la conversión de la carta digital en distintos formatos digitales compatibles con los diferentes sistemas de armas, como por ejemplo el ASRP (*Arc Standard Raster Product*) y la catalogación de toda la cartografía digitalizada en la intranet del Ejército del Aire con el fin de gestionar los productos cartográficos y publicaciones aeronáuticas en el Ejército del Aire.

7. CONCLUSIONES

La información aeronáutica, altimétrica y geográ-

fica son los elementos imprescindibles en las cartas de navegación visual. El objetivo principal es proporcionar la mayor cantidad posible de elementos de la superficie terrestre, que se puedan identificar en vuelo a baja cota, sin dificultar la lectura de la carta.

Los criterios para elegir los elementos que aparecen en las cartas varían no sólo de una carta a otra, sino que incluso, dentro de la misma carta, variará dependiendo de si un área tiene más o menos densidad de información.

Por tanto, podemos decir que, aun siendo la cartografía una ciencia exacta, y estando regulada por normativas nacionales e internacionales, no se puede llegar a formular reglas rígidas de selección de elementos. Por ello, aunque no se alcance una representación total y exacta de la superficie terrestre, sí satisface las necesidades de los pilotos para la navegación visual en vuelos de baja cota.

REFERENCIAS

- OACI. Anexo 4
- OACI. Anexo 15
- Gaceta Aeronáutica. Las radioayudas y la navegación aérea www.flybai.es

Sobre el autor

Subteniente Ángel Bustos Solís
Subteniente del Cuerpo General del Ejército del Aire con la especialidad en Cartografía e Imagen. Está destinado en el Negociado de Edición del CECAF.



Un paseo por las nubes

A walk on the clouds

Brigada Miguel Cruz Martos

REVISTA **MAPPING**
Vol. 26, 185, 24-26
septiembre-octubre 2017
ISSN: 1131-9100

Resumen

¿A quién no le gusta tener un mapa para poder orientarse cuando sale a dar un paseo por el campo?

En establecer ese servicio radica la labor encomendada al Negociado de Cartografía de Sistemas, en proporcionar todos los elementos necesarios para la navegación, tanto para su preparación como para el vuelo en sí mismo.

Abstract

Who does not like to have a map to get their bearings when they go for a walk in the countryside?

In establishing this service lies the work entrusted to the Bureau of Systems Mapping, to provide all the necessary elements for navigation, both for its preparation and for the flight itself.

Palabras clave: Georreferenciación, DTED, posicionamiento, resolución, ejército.

Keywords: Georeferencing, DTED, positioning, resolution, army.

Escala básica del Ejército del Aire
xmcrumar@ea.mde.es

Recepción 22/04/2017
Aprobación 26/06/2017

1. INTRODUCCIÓN

En el aire no hay señales de tráfico ni carteles informativos, y aunque no es estrictamente necesario, pues al igual que en el mar se puede viajar de un punto a otro tan solo con una brújula, la cartografía proporciona a los navegantes un elemento para posicionarse en el espacio, que les genera seguridad y elimina incertidumbres (No hay nada como saberse ubicado).

En un principio la cartografía usada era, y hoy en día aún sigue siendo, en papel. Un navegante (así se denomina a los tripulantes de un avión) llevaba en la cabina todas las cartas de cada una de las escalas de la zona que iba a sobrevolar, con el engorro que esto supone (imagínese que usted trabaja en una mesa y tiene que estar cambiando un mapa por otro para poder dibujar en este una ruta, pues piense cuando esto se tiene que hacer dentro de una cabina mientras se está pilotando).

Hoy en día la navegación se sigue basando en rumbos, radioayudas y actualmente en los distintos sistemas de posicionamiento global (GPS), pero ya todas las aeronaves modernas disponen de una pantalla en la que el navegante puede ver su posición en cada momento. Es por esto que se están abandonando las cartas en papel y se hace necesario que estas cartas estén disponibles en formato digital, ya sean escaneadas directamente del papel o generadas directamente en digital.

En este negociado no se genera la cartografía en sí misma, si no que se transforma para adaptarla a las distintas aeronaves de nuestros Ejércitos y Armada. El punto de partida es la cartografía en papel, de cualquiera de las escalas que se usan habitualmente para el vuelo, que va desde 1:250 000 hasta 1:5 000 000. La cartografía en papel es, en muchos casos, la única cartografía en lugares remotos del mundo, por lo que su reproducción a formato digital es aún una práctica habitual.

Para poderlas pasar a formato digital lo primero que se hace es escanearlas, con una separación entre puntos de 100 micras, que es la distancia que se estima que el ojo humano es capaz de discriminar (resolución espacial), y con una gama de colores que sea capaz de abarcar todos los tonos de la carta (profundidad del pixel), en este caso el número de colores viene dado como máximo por el número de bytes usados para su representación, con 1 byte (8 bits) podemos representar $2^8=256$ colores, suficiente para la gran mayoría de las cartas, con 2 bytes (16 bits) usados convencionalmente para modelos del terreno podemos representar $2^{16}=65\,536$ valores distintos ó 3 bytes (24 bits) $2^{24}=16\,777\,216$ valores, que es lo que se usa habitualmente para escanear imágenes.

Pues bien, el escaneo que se realiza en el negociado es a 100 micras y 256 colores de manera generalizada, si bien en ciertas ocasiones, como escaneos de fotogramas, se usan mayores resoluciones tanto espaciales como espectrales. Este paso, con el avance del tiempo, se utiliza cada vez menos, pues casi toda la información ya está disponible en formato digital, con lo que la tarea se agiliza, y únicamente se tienen que reali-

zar las transformaciones para las distintas aplicaciones que se vayan a necesitar.

Una vez que disponemos de las cartas digitales, el paso siguiente es el de situar la carta en el espacio (georreferenciar), de manera que a cada pixel de la carta le corresponda una coordenada en el planeta. Esto se realiza situando en el mapa una serie de puntos de los cuales conocemos las coordenadas, el número de puntos a dar viene determinado por el estado del original, a saber si la carta escaneada esta arrugada, doblada o no tiene ningún pliegue.

De esta forma a mayores deformaciones mayor número de puntos, pues de lo que se trata es de «estirar» la carta para que se parezca lo más posible al estado en que se generó. No solo se tienen que asignar los puntos conocidos sino que se deben conocer otros parámetros como proyección y elipsoide, pues como es sabido las cartas, son una representación de la tierra y como tal tiene unas deformaciones inherentes del paso de una forma esférica a un plano dependiendo de factores como: el o los puntos de tangencia, el punto de vista, etc., y al igual que se usaron estos datos para generar la carta se tienen que volver a usar para realizar la función inversa, esto es, situar el mapa en el espacio.

Hoy en día cada vez se escanea menos debido a que la producción de cartografía es casi toda digital, y mediante convenios con otros países se pueden conseguir muchas de las cartas que se precisan de los distintos países en los que se está destacados o se realiza algún tipo de ejercicio. Aun así no se debe olvidar los planos en papel, pues la experiencia nos enseña que en situaciones de necesidad se puede conseguir cartas o datos de las fuentes más insospechadas. En una ocasión, una misión en el extranjero (Afganistan), lo único que cayó en nuestras manos fue una cartografía que ni estaba en la escala adecuada ni se entendía el idioma (cirílico), pero al ser lo único de lo que disponíamos no tuvimos por más que adaptarlo a nuestros sistemas.

Ya se está situado en el espacio, bueno, más bien en el terreno, y se viaja por el aire, esto significa que vendría también de gran ayuda el conocer la altitud del terreno y la altura de los distintos elementos que sobresalen de este como árboles, antenas o edificios característicos (conocido como obstáculos) que por su tamaño puedan interferir en las misiones, es lo que se conoce como modelo de elevaciones.

Por un lado se obtiene el modelo del terreno (MDT), por diferentes métodos como estereoscopia o imágenes radar principalmente, y por otro las alturas de los obstáculos que se consiguen aparte de por los métodos anteriormente citados también por medición directa en el campo.

En estos modelos del terreno también se tiene en cuenta la resolución, definiendo esta resolución como el espacio de terreno al que representa cada pixel, siendo las más comunes las que vienen dadas por el formato *Digital Terrain Elevation Data* (DTED) a saber DTED0 = 10" de arco, DTED1 = 3" de arco

y DTED2 = 1" de arco, en España serían aproximadamente 300, 90 y 30 metros respectivamente, es decir que tenemos el dato de una altura por cada área de 300*300, 90*90 ó 30*30.

En la actualidad se dispone de modelos del terreno con una resolución inferior al metro. Estos datos, MDT y obstáculos, son actualizados en el sistema de manera diferente ya que como es de entender la geografía terrestre no varía de manera significativa a no ser que haya un terremoto o cualquier otra catástrofe natural que haga variar la orografía del terreno. No ocurre lo mismo con los obstáculos, sabemos que a diario derriban y construyen edificios, antenas, grúas, etc., los obstáculos son actualizados una vez al mes. La actualización del MDT se realiza a demanda, si la zona se ha visto afectada por algún desastre o se han mejorado la calidad de los datos.

A la hora de trabajar con estos datos tenemos que llegar a un compromiso entre la calidad de los datos y los medios de que se disponen, de esta manera podemos imaginar que a mejor calidad, mejor resolución espacial y espectral, los sistemas de armas que se van a encargar de tratarlos tendrán por necesidad que ser más potentes. Lo cierto es que los sistemas actuales al igual que ocurre con el resto de la sociedad, va evolucionando y mejorando con lo que los datos que usan son cada día más exactos.

Ya se dispone de la cartografía y el modelo del terreno en formatos digitales estándar para poder trabajar con ellos. Ahora bien, los distintos sistemas de armas tanto en tierra para la planificación de la misión como los montados en las diferentes aeronaves precisan de esta información de manera diferente y con diferentes características, que vienen dadas por las diferentes configuraciones de las naves como velocidad, techo de vuelo, uso (caza o transporte), alcance, etc.

En tierra los sistemas están montados en ordenadores potentes que son capaces de almacenar grandes cantidades de información y su manejo no es crítico, lo cual quiere decir que si el ordenador no responde o responde de manera lenta, se tiene tiempo de reacción para poder planificar la misión bien arreglando el problema en esa máquina como usando otra con el mismo *software*.

Sin embargo esto no puede ocurrir en el aire, pues en el mejor de los casos volaríamos sin la información y en el peor

podría ocurrir que la información suministrada afecte al resto de los componentes electrónicos de la aeronave, provocando graves incidencias en su correcto funcionamiento. Esto nos ocurrió en una misión en Líbano, una falta de entendimiento entre las especificaciones del avión y las de la cartografía enviada genero un mal funcionamiento del sistema provocando el mal menor. Es decir que hasta que no se solucionó la incidencia en tierra las aeronaves volaron sin la cartografía de la zona.

Es por esto que si bien los formatos utilizados para planificar la misión son de uso comercial, tanto militar como civil (*Compressed Arc Digital Raster Product (CADRG)*, *Arc Standart Raster Product (ASRP)*, Geotiff, DTED, Formato Raster Español (FRE)...), los formatos que van dentro de las diferentes aeronaves son más complejos y robustos y deben estar certificados por las empresas que lo proporcionan debido a que estos datos no deben interferir en el resto de sistemas.

El Ejército del Aire proporciona toda esta cartografía tanto a las unidades de caza, como de transporte del Ejército del Aire, del Ejército de Tierra (FAMET), Armada (ROTA), Ministerio de Defensa (UME), así como a la Policía Nacional. Es en función de las misiones y de las naves el que se de cartografía de distintas escalas y de distintos lugares, así para las unidades de caza las escalas más usadas son las *Enroute Charts* de Alta y Baja Cota, junto con la Escala 1:1 000 000 y 1:500 000, las unidades de transporte utilizan las anteriores y también la 1:250 000. En casos de zonas muy concretas hay también posibilidad de introducir dentro de las misiones otras escalas como 1:50 000 e incluso fotografías para un mejor reconocimiento de los objetivos finales.

Para todo esto se requiere de un *hardware* potente al igual que de programas específicos para cada ocasión, entre los más populares se dispone de Erdas, Global Mapper, Photoshop, Adobe, etc., a parte de otros que son de carácter específico y propios de cada sistema.

En la actualidad casi todas las aeronaves modernas, civiles y militares, disponen del equipamiento necesario para una mejor navegación, sintiéndose más cómodos y seguros al disponer de una referencia espacial en la que situarse. Aun así no se puede olvidar que es una ayuda más, y que los sistemas de navegación, tanto los de toda la vida (brújula, aerovías, radioayudas), como los más modernos (GPS), son insustituibles.



Figura 1. Vista 3D de cartografía asociada a un modelo del terreno

Sobre el autor

Brigada Miguel Cruz Martos

Brigada del Cuerpo General, Escala Básica del Ejército del Aire, es especialista en Cartografía e Imagen. Está destinado en el CECAF desde el año 1991.



Geointeligencia y aeronaves pilotadas a distancia. Un nuevo reto para la formación

*Geointelligence and remotely pilot aircraft system.
A new challenge for training*

Brigada Pedro Luis Angulo Sánchez

REVISTA **MAPPING**
Vol. 26, 185, 28-31
septiembre-octubre 2017
ISSN: 1131-9100

Resumen

La adquisición de sistemas de captura de imágenes embarcados en aeronaves tripuladas remotamente cambia radicalmente la forma de trabajar para explotar las imágenes de zona de operaciones. El vídeo y la premura de tiempo obligan al operador de la carga de pago a realizar su misión sin margen de error.

La necesidad de incorporar los avances de la tecnología a la formación del personal que la utiliza, obliga al Escuadrón de Enseñanza del CECAF a afrontar este reto. La formación del profesorado y la modernización del material docente son clave para disponer de personal altamente cualificado para realizar la misión encomendada.

Abstract

The acquisition of image capture systems shipped on remotely manned aircraft changes radically the way of working to exploit the operations area images. The video and the time constraint force the payload operator to carry out its mission without margin of error. The need to incorporate the technology advances in the training of the personnel who use it forces the CECAF Teaching Squadron to face this challenge. The teachers training and the learning materials modernization are key to having highly qualified personnel to carry out the assigned mission.

Palabras clave: Geointeligencia, reconocimiento aéreo, análisis de imágenes, formación.

Keywords: Geointelligence, aerial reconnaissance, image analysis, training.

Escala básica del Ejército del Aire
pangsan@ea.mde.es

Recepción 22/04/2017
Aprobación 26/06/2017

1. INTRODUCCIÓN

La capacidad de despliegue de los ejércitos en conflictos internacionales y la evolución de la tecnología son dos hechos que van de la mano. La necesidad de información y la geolocalización son elementos imprescindibles para el desarrollo de las misiones que realizan las fuerzas armadas. Surge el concepto Geointeligencia y con él la necesidad de formar al militar en el uso de la tecnología que le proporcione en el menor tiempo posible información imprescindible para el desarrollo de su misión.

La utilización de sistemas de información geográficos (SIG) junto con bases de datos actualizadas suponen una herramienta básica para las unidades militares. Poco a poco vamos dejando atrás el manejo de cartografía en papel. La cartografía digital se utiliza cada vez más, teléfonos inteligentes, vehículos dotados de GPS, utilidades web de navegación y por supuesto esto ocurre en todos los ámbitos de la defensa. Las aeronaves llevan años utilizando estos sistemas cartográficos digitales y el uso de GPS es habitual como ayuda a la navegación.

La información visual proporcionada por sensores embarcados en satélites, aunque imprescindible, supone un problema por la resolución temporal y sobre todo por disponibilidad y coste de esta plataforma. Cuando estas imágenes son captadas desde aeronaves convencionales, es decir, tripuladas por personas, supone un riesgo elevado para éstas. Los drones o los RPAS (*Remotely Piloted Aircraft Systems*, sistemas aéreos pilotados a distancia) han revolucionado el concepto de reconocimiento aéreo táctico y proporcionan imágenes en tiempo real, en diferentes bandas del espectro electromagnético, desde cualquier parte del mundo y con seguridad total para la tripulación que lo opera.

El Ejército del Aire cuenta en la actualidad con el Escuadrón de Enseñanza del CECAF (Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército del Aire) como centro militar de formación en las disciplinas de fotografía, cartografía y Análisis de Imagen o Fotointerpretación. Con la evolución de esta última hacia la geointeligencia se abre una ventana compleja que exige una adecuación y modernización de la forma-



Figura 1. The Multi-Spectral Targeting System is a turreted electro-optical and infrared sensor used in maritime and overland intelligence, surveillance and reconnaissance missions. (Raytheon photo illustration created by Grant Parsley)

ción del personal que imparte clases y del material utilizado para ello.

La próxima incorporación del RPAS de la compañía General Atomics, el MQ-9 Reaper, a la plantilla de aeronaves del Ejército del Aire supone dotar a la defensa nacional de la capacidad de utilizar este sistema de armas, que proporciona imágenes de zona de operaciones en infrarrojo, radar y óptico en tiempo real; es posible obtener imágenes fijas y vídeo.

2. ANTECEDENTES

En un reconocimiento aéreo, hasta hace relativamente poco tiempo, lo habitual era disponer de imágenes fijas, verticales u oblicuas procedentes de diferentes plataformas y en distintas bandas espectrales. Salvo las imágenes que procedían de plataformas satelitales, no estaban disponibles hasta que la aeronave no aterrizaba y se descargaba el almacén de película química o el disco duro donde estaban almacenadas. Su estudio y explotación se realizaba, según los tipos de informes que se requiriesen, en un gabinete de fotointerpretación y disponiendo de más o menos tiempo, pero no se tenía que hacer en tiempo real.

Utilizando estereoscopia, métrica y otros métodos de análisis y explotación, se conseguía extraer información a la imagen y por observación directa, utilizando técnicas de fotointerpretación, se localizaban objetivos militares para facilitar al siguiente escalón en inteligencia los datos de interés para que el mando pudiera tomar las decisiones correspondientes. La georreferenciación o situación espacial

era un dato imprescindible.

La información es poder. cuanto más sepamos sobre lo que rodea a la misión que debemos realizar más posibilidades de éxito tenemos. La inteligencia de imágenes IMINT es una pieza clave para obtener información vital del objetivo encomendado por el mando. Las células de inteligencia se apoyan cada vez más en las aportaciones de datos extraídos de los reconocimientos aéreos.

La pertenencia de España a la OTAN determinó los estándares de trabajo a utilizar. Parece lógico que formando parte de la Alianza, España normalice sus procedimientos según lo dictado por ésta. Toda la normativa y doctrina en vigor en materia de inteligencia y análisis de imágenes pasó a formar parte de las materias a impartir a los alumnos que cursan estudios de perfeccionamiento en fotointerpretación en el CEEAF.

3. EVOLUCIÓN

La necesidad de obtener información en tiempo real que ayude a tomar decisiones inmediatas sobre la misión que realizan las unidades de las Fuerzas Armadas puede ser cubierta con el análisis de las imágenes obtenidas por los sensores del RPAS.

Misiones de reconocimiento, búsqueda y salvamento, apoyo a escoltas y convoyes, control de manifestaciones, seguimiento de objetivos en movimiento, vigilancia, adquisición de blancos, evaluación de objetivos, control de daños, etc. son las tareas principales de este tipo de aeronaves.

El MOV (*Motion Video Explotation*) ha cambiado totalmente la manera de manejar las misiones. El operador de la carga de pago, es decir, de los sensores que obtienen las imágenes en tiempo real, se enfrenta a un reto importante. El análisis de la imagen en movimiento y la premura de tiempo para facilitar la información hacen muy difícil el desempeño de su trabajo.

Desde una cabina de control situada incluso a miles de kilómetros la tripulación sitúa la aeronave en el lugar preciso para que el encargado del reconocimiento capture las imágenes. Puede ser visualizado simultáneamente en otra localización, como un cuartel general, pero el análisis de la imagen debe ser realizado por personal experto en Análisis de Imágenes. Detalles insignificantes para unos puede aportar información vital para el éxito de la misión. El entrenamiento



Figura 2. Ground Control Station of the Predator B UAV (Photo: GA-ASI)

de este personal debe ser continuo. Debe disponer de información previa que le familiarice con el entorno que observa. Conoce a tu enemigo y tendrás media batalla ganada.

Es de vital importancia que informe solamente de lo que ve, y no aventurarse en informar sobre objetivos que no sean identificables con un nivel alto de probabilidad. Los me parece o podría ser pueden generar graves errores en el apoyo a la toma de decisiones del mando. Además, el siguiente escalón en el ciclo de inteligencia puede que no disponga de las imágenes para corroborar la información. Un informe claro y conciso es preferible a uno con mucho detalle pero impreciso.

4. CONCLUSIÓN

La formación del alumno requiere de personal docente fotointérprete experto, conocedor de las nuevas tecnologías y con experiencia en las materias que enseña.

El reto didáctico que supone la incorporación de los sensores de captación de imágenes del Reaper al Ejército del Aire lo recoge el CECAF como centro docente militar. Conscientes de la importancia de las misiones a desarrollar con esta plataforma, el personal docente ha iniciado una serie de visitas a unidades españolas de las Fuerzas Armadas y Cuerpos de Seguridad del Estado que disponen de sensores con imágenes en movimiento para perfeccionar sus conocimientos sobre la forma en que estas desarrollan sus misiones e incorporarlas a los cursos ofertados en geointeligencia. Es importante señalar que los profesores de CECAF se enfrentan a un doble desafío, debido a que la labor docente la compaginan con otro destino en secciones del CECAF en la que desarrollan trabajos relacionados con producción cartográfica y fotográfica.

Unidades dotadas de RPAS del Ejército de Tierra y de la Armada nos han transmitido su experiencia en las misiones que han desarrollado estando desplegadas en el extranjero. Unidades de la Guardia Civil destinadas al control de fronteras, tráfico de estupefacientes o vigilancia marítima han colaborado con nuestros profesores en las visitas realizadas a sus unidades. También hemos contactado y visitado las instalaciones del ámbito civil, como la empresa TECNAM en la que pudimos ver los métodos de trabajo y la tecnología que se utilizan en las aeronaves de la Agencia Europea para la Gestión de la Cooperación Operativa en las Fronteras Exteriores de los Estados miembros de la Unión (FRONTEX).

Diferentes empresas han sido invitadas a participar como expositores de sus productos durante las cuatro

ediciones del Trofeo de Fotointerpretación del Ejército del Aire, TROFEA, en las que hemos tenido contacto con lo último en avances tecnológicos, sistemas de trabajo, plataformas y sensores.

También se ha procedido a realizar cursos de perfeccionamiento en otras escuelas de las Fuerzas Armadas para alcanzar mejor nivel académico, como el curso de Analista Geógrafo y el de Auxiliar de Analista Geógrafo impartido en la Escuela de Guerra del Ejército de Tierra. Igualmente se ha formado personal de este escuadrón de enseñanza en Alemania en análisis de imágenes radar. En la actualidad se forma a profesores en ARCGIS DESKTOP II.

En la parte tecnológica se está evaluando la posible utilización de sistemas audiovisuales dotados de gafas VR e imágenes de video 360° como prácticas de las materias impartidas, que facilitarían el aprendizaje a los alumnos al disponer de material con mayor capacidad de interacción.

Al regreso de las primeras tripulaciones del sistema REAPER una vez terminada su formación en Estados Unidos se procederá a una puesta en común de conocimientos para su incorporación a los planes de estudios de los cursos ofertados por el CECAF en materia de fotointerpretación y geointeligencia.

REFERENCIAS

- Fotointerpretación de Objetivos (2014). Escuela de Guerra del Ejército.
- Fundamentos de Teledetección Espacial (2000). Emilio Chuvieco.
- Manual of Remote Sensing (1975). American Society of Fotogrammetry.
- Reconocimiento Aéreo (1990). Teniente Coronel Cándido Mena Altamirano.
- Remote Sensing and Image Interpretation (1987). Thomas M, Lillesand & Ralph W, Kiefer.

Sobre el autor

Brigada Pedro Luis Angulo Sánchez
Brigada del Cuerpo General, Escala Básica del Ejército del Aire, es especialista en Cartografía e Imagen. Está destinado en el CECAF desde el año 1992. Negociado de Fotointerpretación del Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército del Aire.





El CECAF en el Tratado de Cielos Abiertos

The CECAF in the Open Skies Treaty

Brigada José Joaquín Abellán Sánchez

REVISTA **MAPPING**
Vol. 26, 185, 34-39
septiembre-octubre 2017
ISSN: 1131-9100

Resumen

El Tratado de Cielos Abiertos es el resultado del esfuerzo internacional dirigido a mejorar la confianza y el entendimiento entre las naciones participantes proporcionándoles un medio eficaz de recoger información de fuerzas y actividades militares. El tratado entra en vigor el 1 de enero de 2002.

Promover una mayor apertura y transparencia en sus actividades militares y reforzar la seguridad, contribuyendo al desarrollo por la paz, la estabilidad y la seguridad, mediante la creación de un régimen de cielos abiertos para la observación aérea.

A través del mismo se permite que, entre sus estados signatarios, se pueden efectuar vuelos de observación sobre la totalidad del espacio aéreo de soberanía nacional. Las disposiciones del tratado establecen limitaciones en cuanto a los sensores susceptibles de ser empleados, así como en la resolución máxima de las imágenes obtenidas. La información obtenida mediante el análisis de dichas imágenes se pondrá a disposición de todos los países firmantes del tratado.

Abstract

The Open Skies Treaty is the result of an international effort aimed at improving trust and understanding among participating nations by providing an effective means of collecting information from military forces and activities. The treaty enters into force on January 1, 2002.

Promote greater openness and transparency in its military activities and reinforce security, contributing to development for the peace, the stability and the security, through an open skies regime creation for aerial observation.

Through the same one, it is possible to carry out observation flights among its signatory states on the entire airspace of national sovereignty. The treaty dispositions establish limitations related to the sensors susceptible of being employed, as well as in the maximum resolution of the obtained images. The information obtained through the analysis of these images will be made available to all the countries that signed the treaty.

Palabras clave: Cielos abiertos, tratado, vuelo de observación, misiones.

Keywords: Open skies, treated, observation flight, missions.

Cuerpo de especialistas en Cartografía e imagen
jabesan@ea.mde.es

Recepción 05/05/2017
Aprobación 29/06/2017

1. INTRODUCCIÓN

En una misión del Tratado de Cielos Abiertos del año 2008 liderada por España y compartida por Noruega y Canadá sobre la Federación Rusa en la que por circunstancias políticas del momento entre la Federación Rusa y Chechenia se nos expulsó del país al considerar los rusos que no podíamos bajo ningún concepto sobrevolar su espacio aéreo con la frontera chechena, en ese momento en máximo conflicto militar por razones obvias estratégicas



Figura 1. Antonov 30 ucraniano de Open Skies



Figura 2. Tupolev 154 de la Federación Rusa de Open Skies.



Figura 3. Hércules C-130 del Grupo del Pod de Open skies

por lo cual se inventaron razones técnicas que en ningún momento fueron verdad. Creo que ha sido la única misión en el Tratado de Cielos Abiertos y nosotros como país anfitrión en que se ha producido esta circunstancia.

2. TRATADO DE CIELOS ABIERTOS

El Tratado de Cielos Abiertos fue firmado en Helsinki el 24 de marzo de 1992, entrando en vigor el 1 de enero de 2002.

El Tratado de Cielos Abiertos establece un sistema de realización de vuelos de observación y recogida de datos e informaciones a través de películas de video, fotografías, imágenes en infrarrojo y radar y actualmente con sistemas digitales de unos países sobre otros según unas reglas y procedimientos establecidos.

Toda la información obtenida podrá ser utilizada por los países miembros previa petición.

La Comisión Consultiva de Cielos Abiertos es el órgano que realiza el seguimiento de la aplicación del Tratado, introduciendo normativa para hacer más efectivos los vuelos, actualizando normas o reglamentando el uso de nuevas tecnologías. Este órgano ha celebrado distintas reuniones y conferencias con el fin de adaptarse y actualizarse a los distintos cambios tecnológicos y estratégicos del momento.

El 12 de julio de 2010, la Comisión Consultiva de Cielos Abiertos, tras múltiples encuentros destinados a tal fin, aprobó el paso a la tecnología digital de sensores lo que supuso un grandísimo avance y desatascó en una tecnología muy anticuada con pocos recursos de materiales y muy costosa.

Actualmente muy pocos países miembros disponen de plataforma con sensores digitales, debido a la gran inversión y a los recursos que hay que emplear en esta transformación.

España pertenece al Grupo de los Estados Parte de la Unión Europea Occidental (UEO) del Tratado de Cielos Abiertos, que es como sigue conociéndose aún al Grupo, a efectos de Tratado, a pesar de la desaparición de la organización defensiva europea.

Nuestro país dispone de una cuota de cuatro vuelos anuales que ejerce de forma compartida con otros aliados sobre la Federación Rusa y Bielorrusia, Bosnia Herzegovina, Georgia y Ucrania.

España, pertenece, además, al Grupo denominado «POD», que es un equipo que contiene los instrumentos de observación permitidos por el Tratado. El equipo se coloca en un ala del avión (un C-130 Hércules) y no precisa que en la aeronave se realicen modificaciones per-

manentes para su uso. Además de España, integran este grupo Bélgica, Holanda, Luxemburgo, Canadá, Francia, Grecia, Italia y Portugal.

Las responsabilidades del Ejército del Aire dentro del Tratado varían según se trate de misiones activas o pasivas. Se definen como misiones activas aquellas en las que una aeronave del E.A. (Ejército del Aire) se desplaza a un país signatario con el fin de obtener imágenes para su posterior análisis. Por otro lado misiones pasivas son aquellas en las que una aeronave de un país signatario realiza vuelos de observación sobre cualquier punto del territorio de soberanía española.

Tanto en las misiones activas como en las pasivas el CECAF colabora con dos personas para el desarrollo de las misiones.

El CECAF en las **misiones activas** se encarga de:

- Designar al personal que ha de participar en cada misión (2 personas más dos reservas). Será responsabilidad de este Centro que dicho personal esté debidamente instruido en los aspectos técnicos y operativos de la misión y que esté incluido en las listas de personal de Cielos Abiertos.
- Mantener actualizadas las listas de personal de Cielos Abiertos.
- Obtener la cartografía necesaria del país a sobrevolar para el planeamiento de la misión.
- Obtener la película necesaria para cada misión a realizar, almacenarla y, manipularla adecuadamente.
- Participar con la UVE (Unidad de Verificación Española) en el planeamiento del vuelo de observación, determinando los ejes óptimos de pasada, la superficie cubierta por los sensores a las alturas de vuelo que se determinen, el tipo de película, la superposición fotográfica recomendable así como cualesquiera otros parámetros que influyan en la calidad de las fotografías obtenidas.
- Determinar en función de la misión a realizar, la cantidad de película necesaria para completar la misión, así como los químicos a utilizar en caso de que fuera necesario su transporte. Sellar y etiquetar los contenedores de los rollos de película y custodiarlos debidamente durante su transporte al lugar del procesado siguiendo las disposiciones del Tratado.
- Supervisar el procesado de la película fotográfica o, en su caso, realizar el mismo en instalaciones del CECAF si extraordinariamente así se determinase. En este caso será su responsabilidad el conseguir una calidad óptima, siguiendo las recomendaciones del Documento Guía de Sensores y las disposiciones del Tratado.
- Tras la misión, realizar un análisis fotográfico inicial

de las imágenes obtenidas, almacenar los negativos y obtener los duplicados de primera generación según establece el Tratado y las Decisiones de la Comisión Consultiva de Cielos Abiertos.

- Una vez en territorio nacional, realizar la foto interpretación de las imágenes obtenidas y remitir dichos informes a la Célula de Verificación del Ejército del Aire.
- Efectuar un duplicado para la UVE de aquellos negativos que sean seleccionados para dicha unidad.

El CECAF en las **misiones pasivas** se encarga de:

- Designar al personal que ha de participar en cada misión (2 personas más 2 reservas). Será responsabilidad de este Centro que dicho personal esté debidamente instruido en los aspectos técnicos y operativos de la misión.
- Distribuir la cartografía necesaria para el planeamiento de la misión.
- Realizar el procesado de la película fotográfica en las instalaciones del CECAF o supervisarlos en otra instalación distinta. Durante el procesado será su res-



Figura 4. Densitómetros para la medición y lectura de las distintas tiras sensitométricas imprescindibles para la obtención del gamma correcto para el revelado de las distintas películas expuestas en las misiones



Figura 5. Procesadora Versamat 11CL en la que se revelan los rollos de película de las distintas misiones del Tratado de Cielos Abiertos

ponsabilidad el que se consiga una calidad óptima siguiendo las recomendaciones del Documento Guía de Sensores y las disposiciones del Tratado.

- Tras la misión, realizar un análisis fotográfico inicial de las imágenes obtenidas y almacenar los duplicados de primera generación según establece el Tratado.
- Realizar la foto interpretación de las imágenes obtenidas y remitir los informes a la célula de verificación del Ejército del Aire.

2.1. Ejecución de un vuelo de observación

2.1.1. Procedimientos en el punto de entrada

El jefe de misión:

- Dirigirá la realización de los trámites correspondientes establecidos en el tratado (trámites aduaneros e inspección de cubiertas e inhibidores de sensores) en coordinación con los representantes del estado parte observado.
- Verificará que se cumple lo dispuesto en el tratado en relación con las sesiones informativas que ha de impartir la parte observada sobre reglas y estructura del espacio aéreo e información meteorológica.



Figura 6. Instalación y desmontaje de los distintos almacenes de las cámaras insertadas en el depósito de combustible del C-130, así como comprobación de las distintas ópticas



Figura 7. Montaje y desmontaje de los distintos almacenes de película

El comandante de la aeronave de observación:
- Gestionará con las autoridades del punto de entrada los apoyos necesarios para la aeronave.

2.1.2. Inspección prevuelo

Para la comprobación de los sensores previa al vuelo de observación el jefe de misión, auxiliado por el resto



Figura 8. Montaje y desmontaje de los distintos almacenes de película



Figura 9. Comprobación y observación de la aeronave, para ver que se cumple estrictamente con las exigencias del tratado



Figura 10. Operando desde la consola donde se ejecutan las órdenes de disparo de los distintos sensores instalados en la aeronave

del equipo de observación, se asegurará de que se efectúan adecuadamente:

- Las explicaciones sobre los procedimientos de seguridad, inventario y explicaciones con respecto a los sensores y equipo conexo.
- El comandante de la aeronave, o quien designe entre su tripulación imparte la preceptiva sesión informativa sobre procedimientos de seguridad en el interior y exterior del avión.
- Los procedimientos de inspección del material para la inspección pre-vuelo de la aeronave y los sensores.
- El inventario de material a utilizar durante dicha inspección.
- Que una vez finalizada la inspección pre-vuelo, todo el material introducido en el avión ha salido del mismo, confirmando este extremo con la tripulación.
- Se elabora el informe de inspección previa, firmado por ambas partes, donde conste la conformidad de los sensores y la aeronave con lo establecido al respecto en el Tratado.

2.1.3. Presentación del plan de misión

El jefe de misión entregará al responsable del estado observado el plan de misión previsto. Si finalizado el periodo de 4 horas que el estado observado tiene para la comprobación del plan de misión previsto, éste comunicará alguna discrepancia con el mismo, el jefe de misión, asesorado por los distintos miembros de su equipo, procurará llegar a un acuerdo con los representantes del estado observado. Si las discrepancias fueran tales que desvirtuaran totalmente el plan de misión previsto, determinará la cancelación o no del vuelo de observación, solicitando, en su caso, establecer contacto con las autoridades españolas a fin de comunicar su decisión.

Una vez alcanzado un acuerdo sobre el plan de misión la tripulación elaborará el plan de vuelo correspondiente, entregándolo a los responsables del estado observado.

2.1.4. Vuelo de observación

El jefe de misión se asegurará que la tripulación y el resto del equipo reciben una sesión informativa previa sobre las condiciones climatológicas previstas en la ruta de vuelo y normas de control de tráfico aéreo del estado observado.

El vuelo no podrá comenzar, salvo acuerdo distinto de la parte observadora, hasta 24 horas después de la presentación del plan de misión.

El jefe de misión;

- Será responsable de comprobar que el vuelo de observación se lleva a cabo de acuerdo a las normas del

tratado y al plan de misión acordado. A este efecto se efectuará un seguimiento del mismo utilizando los medios propios independientes de los de la aeronave.

- Designará el representante en vuelo que observará las operaciones en cabina en caso de que la aeronave de observación fuera proporcionada por el estado observado.
- A la finalización del vuelo elaborará, auxiliado por los miembros de su equipo, el informe de misión correspondiente entregándolo a los representantes del estado observado para su firma, conservando un original del mismo.
- En el caso de efectuarse el procesado en instalaciones de la parte observada designará los escoltas de la película, así como los especialistas en procesado de revelado de los datos suministrados por los sensores durante el vuelo de observación.

El comandante de la aeronave:

- Será la única autoridad para la realización del vuelo en condiciones de seguridad.
- Será responsable del cumplimiento del plan de vuelo establecido.
- De cualquier desviación respecto al plan de vuelo acordado solicitada por las autoridades de tránsito aéreo dará cuenta inmediata al jefe de misión, quien decidirá en última instancia.

El coordinador de sensores:

- Será responsable de la activación y desactivación de los sensores de acuerdo a lo establecido en el plan de misión, así como del correcto funcionamiento de los sensores y equipos auxiliares. De cualquier novedad al respecto dará cuenta inmediata al jefe de misión. En el caso de que el punto de salida del estado observado difiera del aeródromo de cielos abiertos donde ha finalizado el vuelo de observación, el comandante de aeronave elaborará el plan de vuelo correspondiente para trasladarse al punto de salida.

2.1.5. Procesado (CECAF)

Una vez concluido el vuelo de observación se efectuará el procesado y duplicado de las películas obtenidas en las instalaciones de la parte observada, salvo que existiesen impedimentos técnicos para hacerlo con la suficiente garantía de obtener resultados de calidad.

En el caso de efectuar en España el procesado de las películas obtenidas en el vuelo de observación, esta será responsabilidad del CECAF del Ejército del Aire. En este caso, de acuerdo con lo establecido en el tratado, al procesado podrán asistir representantes de la parte observada y se efectuará un duplicado de primera ge-

neración de las películas obtenidas para su remisión a la parte observada.

El CECAF será así mismo responsable del archivo en buenas condiciones de las películas obtenidas durante el vuelo de observación, así como la realización de las copias que pudieran ser solicitadas por otros estados firmantes del tratado, de acuerdo a lo establecido en el mismo.

3. RESULTADOS

El desarrollo y los mecanismos del Tratado de Cielos Abiertos es, sin duda, algo muy particular, novedoso y sin precedentes por su carácter político y diplomático. No obstante, y sin desmerecer las partes positivas del tratado en cuanto a la transparencia y seguridad de los países miembros y todo lo que esto conlleva, no resulta incierto pensar que un régimen de observación como este es incapaz de detectar y controlar la capacidad bélica así como los movimientos militares de un Estado, principalmente de las principales potencias mundiales, ya que en esta sociedad dominada por la revolución tecnológica constante, no se plasma con observaciones visuales desde su espacio aéreo.

Pero a pesar de lo antiguo y desfasado que pueda parecer esta forma de control en este siglo ayuda a mantener un clima de confianza entre los países miembros que, en definitiva, importa más que el control propiamente del armamento, por lo menos a efectos de la Organización para la cooperación y seguridad en Europa (OSCE).

4. CONCLUSIONES

Una vez disuelto el grupo del Pod el año pasado, cada país asume sus distintas cuotas de vuelos con sus distintas aeronaves y compartiendo cuotas para abaratar gastos. Cabe destacar la implantación de los sensores digitales por parte de algunos países del Tratado en una nueva era asumiendo nuevos costes que no pueden ser compartidos por muchos de los países signatarios.

En un pos de la crisis mundial que nos afecta llegará el momento del paso a la digitalización de todos los sistemas y de todos los países miembros con sus correspondientes tecnologías, hasta lo cual aún se continúa con la película fotográfica en la mayoría de los casos.

En relación a la importantísima función del CECAF en este tipo de misiones cabe destacar que por muchos miles de kilómetros recorridos y volados en las distintas misiones, por muy lejanos que estén los países en los que debemos de localizar los distintos objetivos, sin el



Figura 11. Configuración de lentes en el dispositivo de la cámara del avión ruso TU-152 de Open Skies



Figura 12. Imagen de la cámara sita en el avión ruso y su imagen posterior para la detección de distintos objetivos

buen procesado de las distintas películas expuestas en los distintos vuelos y haciéndolo pulcramente tal y como exige el tratado, sin esto, todo lo anterior no vale para nada, no habría imágenes.

De ahí la gran importancia de la preparación del personal de nuestra unidad en este tipo de misiones.

REFERENCIAS

Documentación personal.

Sobre el autor

Brigada José Joaquín Abellán Sánchez

Brigada del Ejército del Aire y perteneciente al cuerpo de especialistas en Cartografía e Imagen.

Cursos: Fotointerpretación de imágenes, fotointerpretación de imágenes infrarrojas, fotointerpretación de imágenes radar.





Estudio de precision en la aerotriangulacion de bloques de imágenes obtenidas con UAV

Study of precision in the images blocks aerotriangulation obtained with UAV

Capitán Miguel Ángel López González

REVISTA **MAPPING**
Vol. 26, 185, 42-54
septiembre-octubre 2017
ISSN: 1131-9100

Resumen

Este artículo trata sobre el uso de plataformas no tripuladas inferiores a los 2 kg de peso para la adquisición de imágenes aéreas, su posterior procesamiento y el estudio de las precisiones alcanzadas en la aerotriangulación, paso previo a la obtención de los productos finales.

Para ello se utiliza un vuelo realizado sobre las ruinas del monasterio de Tom Roden en Höxter, Alemania. Se realiza la aerotriangulación del vuelo con *software* fotogramétrico en diez supuestos distintos con el objetivo de comprobar la calidad de la aerotriangulación de bloques de imágenes capturadas con sistemas fotogramétricos RPAS con cámaras estándar no métricas, se estudia la precisión del procesado de la aerotriangulación sin puntos de control en el campo, se estudia si el uso de cámaras no métricas afecta a la precisión de los productos, se comprueba la calidad de los modelos digitales de superficie generados a partir de la nube de puntos densa y se estudian los ámbitos de uso de los sistemas RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) fotogramétricos. Como principales conclusiones se puede destacar que, con el *software* empleado se obtienen mejores resultados en la aerotriangulación y en los productos finales aumentando el solape al 80 % y que el uso de cámaras no métricas no afecta a la precisión.

Abstract

This article deals with the use of unmanned platforms of less than 2 kg in weight for the aerial image acquisition, its subsequent processing and the study of the precision reached in aerotriangulation, a step prior to obtaining the final products.

This is done using a flight made on the ruins of the monastery of Tom Roden in Höxter, Germany. The aerotriangulation of the flight with photogrammetric software is carried out in ten different assumptions in order to verify the aerotriangulation quality of blocks of images captured with RPAS photogrammetric systems with standard nonmetric cameras, the accuracy of aerotriangulation processing without points of control in the field, it is studied if the use of non-metric cameras affects the accuracy of the products, the quality of the digital surface models generated from the dense cloud of points is checked and the scopes of use of the photogrammetric RPAS systems (Remotely Piloted Aircraft System). As main conclusions can be highlighted that, with the software used, better results are obtained in the aerotriangulation and in the final products increasing the overlap to 80% and that the use of non-metric cameras does not affect the accuracy.

Palabras clave: RPAS, UAV, aerotriangulación, ortofoto, calibración, recubrimiento, punto de control, GCP, GPS/IMU, par estereoscópico, MDS.

Keywords: RPAS, UAV, aerotriangulation, orthophoto, calibration, coating, control point, GCP, GPS / IMU, esterscopic pair, MDS.

Jefe de la Sección de Cartografía General
mlopgon@ea.mde.es

Recepción 05/05/2017
Aprobación 29/06/2017

1. INTRODUCCIÓN

Los vehículos aéreos no tripulados, llamados UAV / UAS (*Unmanned Aerial Vehicle / System*) y actualmente con más frecuencia RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*) y de forma coloquial, dron (forma admitida por la RAE procedente del vocablo inglés *drone*), han sufrido en los últimos años una gran expansión tanto en su desarrollo como en sus aplicaciones. Impulsados inicialmente por sus potencialidades en el uso militar, se han extendido sus innumerables aplicaciones al entorno civil donde pueden prestar servicio en campos como las Emergencias y la Seguridad, Agricultura, Ganadería, Medio Ambiente, Deportes, Eventos, Televisión, Cine, Arquitectura, Ingeniería, Arqueología, Infraestructuras y por supuesto también en Fotogrametría.

El uso de sistemas RPAS en el campo de la fotogrametría se ha generalizado en el mundo empresarial civil mientras que apenas está introduciéndose, por ahora, en las unidades con competencias en Sistemas de Información Geográficos de las Fuerzas Armadas. En el mundo especializado se tiene consciencia de que es inevitable que tarde o temprano estos sistemas sean una fuente muy importante de captura de información geoespacial y aunque se conoce cuáles son sus limitaciones y usos adecuados, es necesario hacer un estudio profundo que quizá nos haga cambiar de opinión sobre algún aspecto. Uno de estos aspectos es el uso de cámaras no métricas para trabajos fotogramétricos. ¿Pueden ser sustituidas las costosísimas cámaras fotogramétricas de gran formato por otras cámaras no métricas y mucho más baratas?, es una pregunta difícil de responder sin tener en cuenta para qué se va a emplear esa cámara. Hoy en día, la fotogrametría de grandes extensiones de terreno necesita estas cámaras fotogramétricas, pero más que por su calidad métrica es porque las aeronaves que las utilizan son aeronaves tripuladas de alto coste por kilómetro y las cámaras métricas permiten abarcar grandes extensiones y no necesitan superar el 60% de recubrimiento para obtener resultados de calidad. Sí hay acuerdo sobre que los sistemas RPAS están cerca de eliminar casi totalmente la topografía tradicional, en fotogrametría de corto alcance las cámaras no métricas son calibradas sin ningún problema usando las propias imágenes tomadas, de manera que se eliminan casi totalmente las distorsiones, «*The tremendous development of cheap high quality digital camera and computational power of personnel computers has led, in the past decade, to a very active community of research in photogrammetry and computer vision. According, to the current literature, the «old cartographic dream» of modeling the world in 3D at*

scale one using only photo seems now almost affordable, at least from the algorithmic point of view...». (Pierrot-De-seilligny y Cléry (2011)). En este trabajo estudiaremos si es posible abandonar totalmente el trabajo de campo o todavía hay dependencia de él para comprobar los resultados, estudiaremos si la aerotriangulación sin puntos de control en el terreno es lo suficientemente precisa con algoritmos actuales de correlación de imágenes como para prescindir de ellos.

La Fotogrametría aérea tradicional utiliza aeronaves tripuladas y sistemas de adquisición de imágenes costosos y de gran calidad con cámaras métricas calibradas, con capacidad de toma de imágenes a gran altitud, por encima de los 40 000 pies. Los drones han entrado en el mundo de la Fotogrametría aérea principalmente para intentar reducir costes con respecto a la tradicional. Utilizan vehículos de pequeño tamaño, generalmente de peso inferior a los 25 kg, pero las alturas de vuelo para estos pequeños RPAS están restringidas por ley en España a los 400 pies, por lo que el ámbito en el que son usados abarca escalas grandes y por lo tanto áreas y distancias pequeñas. Los sensores que llevan a bordo pueden ser desde una cámara de un teléfono móvil o una cámara fotográfica tradicional para capturar imágenes en el espectro visible, hasta sensores multiespectrales, hiperespectrales, térmicos o incluso activos como el LiDAR. La única limitación es el peso del sensor, es por ello que no pueden montar cámaras fotogramétricas, grandes y pesadas. El uso de cámaras fotográficas no métricas puede parecer un problema para obtener productos de calidad ya que no se conocen con exactitud los parámetros del objetivo ni sus distorsiones. Esta circunstancia puede afectar a los errores cometidos en la aerotriangulación y en los posteriores productos y se solventa utilizando modelos matemáticos generales de la distorsión de los objetivos y métodos de ajuste que calculan simultáneamente la aerotriangulación y los parámetros de calibración de la cámara. Otro paso adelante en el abaratamiento de costos podría ser la disminución al mínimo o incluso la desaparición del apoyo de campo, que puede pasar por disponer de unos sistemas GPS/IMU a bordo de alta precisión. En este trabajo sólo se dispone de un proyecto en el que se tiene datos de campo pero se desconocen las coordenadas y orientación de los fotocentros, pero se simularán calculándolos en la propia aerotriangulación para después aplicarlos a distintos supuestos de cálculo.

El uso de cámaras no métricas en los RPAS fotogramétricos requiere de la ejecución de un proceso de calibración previo o posterior al vuelo para minimizar los errores debidos a la distorsión del objetivo y a la falta de conocimiento de la geometría de la cámara. Se expone una breve introducción teórica a la calibración de cámaras y

al tipo de calibración que se emplea en el vuelo que se analiza en este artículo.

1.1. Calibración de la cámara

La calibración se define en Martín et al. (2004) como «el proceso en el que tratan de determinarse los parámetros geométricos (distancia focal y coordenadas del punto principal) y físicos (parámetros de la distorsión radial y tangencial) de la toma de las fotografías. También puede incluirse en éstos últimos la falta de planaridad del plano imagen y del plano focal».

Una de las razones por las que la fotogrametría con RPAS es mucho más barata que la tradicional es que no utiliza cámaras métricas para realizar la toma de imágenes, sino que hace uso de cámaras fotográficas convencionales no profesionales. Estas cámaras, de precio infinitamente menor, adolecen de varias características técnicas que sí cumplen las cámaras métricas:

- Geometría interna de la cámara estable y conocida. La construcción de la óptica de focal fija y foco en el infinito hace que tenga una distancia focal muy estable y que se determina con exactitud a través de calibraciones en fábrica y posteriores. También se determina con exactitud el punto principal sobre el plano focal.
- En la construcción de los objetivos se minimizan las distorsiones de todo tipo que sufren las imágenes tomadas a través de ellos. Las distorsiones radiales y tangenciales que no se pueden corregir en la fase de construcción son calibradas a fin de conocer su magnitud.

El uso de cámaras no métricas requiere pues emplear algún método que permita calcular los parámetros geométricos de la cámara y los parámetros de distorsión de las lentes que son desconocidos.

1.1.1. Modelización de la cámara y lentes

Para calcular los parámetros antes mencionados se emplean modelos matemáticos de la geometría de la

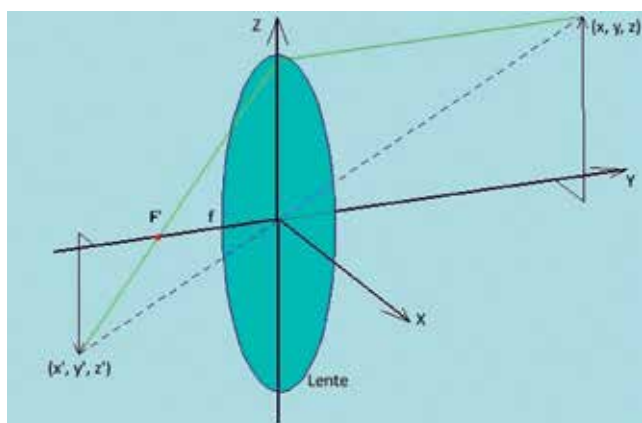


Figura 1.1

cámara y de las distorsiones de las lentes que se aplican en distintos procesos para resolver el problema, como se verá más adelante.

a) Modelo geométrico de la cámara

Se trata de encontrar la transformación que permite obtener a partir de las coordenadas de un objeto fotografiado (x, y, z) las coordenadas de su imagen (x', y', z') o viceversa, basándose en el modelo más básico de cámara fotográfica, que cumple las leyes de la proyección perspectiva.

Siguiendo el razonamiento hecho en Botero (2005), de la figura 1.1 deducimos que se cumplen las siguientes razones:

$$\frac{z}{y} = \frac{z'}{y'}$$

$$\frac{x}{y} = \frac{x'}{y'}$$

$$\frac{z}{f} = \frac{z'}{y' + f}$$

$$\frac{x}{f} = \frac{x'}{y' + f}$$

Despejando x', y' y z' en función de x, y, z y f se obtiene

$$\begin{cases} x' = \frac{x}{1 - y/f} \\ y' = \frac{y}{1 - y/f} \\ z' = \frac{z}{1 - y/f} \end{cases}$$

«La introducción de coordenadas homogéneas facilita la simplificación de la formulación de las propiedades de las cámaras» Olivier D. Faugeras (2005). Usando coordenadas homogéneas con las que a cada punto en \mathbb{R}^3 se le añade una cuarta coordenada que representa el factor de peso, y que se relacionan de la siguiente manera, siendo w dicho factor de peso

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} x/w \\ y/w \\ z/w \\ w \end{pmatrix}$$

podemos construir la matriz de transformación homogénea que nos permita obtener las coordenadas imagen a partir de las coordenadas objeto o viceversa. Esta matriz

es de la forma⁽¹⁾

$$T = \begin{pmatrix} R_{3 \times 3} & P_{3 \times 1} \\ f_{1 \times 3} & w_{1 \times 1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{Rotación} & \text{Traslación} \\ \text{Perspectiva} & \text{Escalado} \end{pmatrix}$$

así pues, considerando el eje óptico en el sentido del eje Y, como se puede ver en la figura 1.1, dado un punto (x, y, z) la transformación toma la forma

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 - \frac{y}{f} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{f} & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

en la que el punto transformado sería

$$\left(\frac{x}{1 - \frac{y}{f}}, \frac{y}{1 - \frac{y}{f}}, \frac{z}{1 - \frac{y}{f}} \right),$$

como se ha visto anteriormente, que depende del valor de la focal f, de aquí la necesidad de conocer su valor con la máxima precisión.

Por otro lado, los objetos situados a distancia mayor que la hiperfocal se transforman siempre, en este modelo, sobre el plano focal, con lo que se utiliza un sistema de referencia bidimensional para el espacio imagen. Este sistema de referencia toma su origen o bien en función del formato del sensor (esquina superior izquierda), o bien respecto a la posición del punto principal (punto de corte entre el eje óptico y el plano focal). De esta manera la posición del punto principal sería el segundo parámetro del modelo a determinar con precisión.

b) Modelo de la distorsión de las lentes

La distorsión de las lentes consiste en que los rayos de luz que llegan desde un objeto al punto nodal incidente con una determinada dirección salen de la lente o conjunto de lentes por el punto nodal emergente con una dirección distinta, de manera que por lo general el rayo incidente y el emergente no son coplanarios (Figura 1.2). Al llegar el rayo al plano focal incide en un punto que se encuentra a una cierta distancia del punto teórico de incidencia para el modelo de cámara oscura (*pinhole*). El vector que une estos dos puntos sobre el plano focal tiene dos componentes, la componente radial ρ , en dirección radial desde el punto de corte entre el eje óptico y el plano focal, y la componente tangencial τ , perpendicular respecto a la dirección radial. El módulo

de estos dos vectores nos proporciona la distorsión radial y la distorsión tangencial en ese punto respectivamente, que son parámetros físicos internos de la cámara a determinar en el proceso de calibración.

Si se quiere obtener las coordenadas no distorsionadas (\hat{x}, \hat{y}) a partir de las coordenadas imagen distorsionadas (x, y) utilizamos la expresión

$$\begin{cases} \hat{x} = x + \rho_x + \tau_x \\ \hat{y} = y + \rho_y + \tau_y \end{cases} \quad (1.1)$$

con lo que es necesario encontrar expresiones que aproximen tanto la distorsión radial ρ , como la tangencial τ .

Distorsión radial.

La distorsión de unas lentes perfectamente centradas y cuyo eje es normal al plano fotográfico es simétrica alrededor del punto principal y es, consecuentemente, función sólo de la distancia radial (Brown (1964)), luego

$$\rho = \Delta r = F(r)$$

siendo r la distancia al punto principal, $\rho = \Delta r = r' - r$ la distorsión radial (ver figura 1.3).

La distorsión radial se aproxima generalmente a través del modelo introducido por (Brown (1971))

$$\begin{pmatrix} \hat{x} - x_c \\ \hat{y} - y_c \end{pmatrix} = L(r) \begin{pmatrix} x - x_c \\ y - y_c \end{pmatrix} \quad (1.2)$$

donde (x, y) son las coordenadas imagen del punto distorsionado, (\hat{x}, \hat{y}) son las coordenadas imagen no distorsionadas, (x_c, y_c) son las coordenadas del punto principal, $r = \sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2}$ es la distancia euclídea entre el punto (x, y) y el punto principal, y $L(r)$ es la función que se usa para aproximar el comportamiento de la distorsión radial. La clave, pues, es la selección que se haga de esta función. Entre las más usadas están las siguientes (Lahoz et al. (2003)) (donde k_i son los coeficientes de distorsión radial):

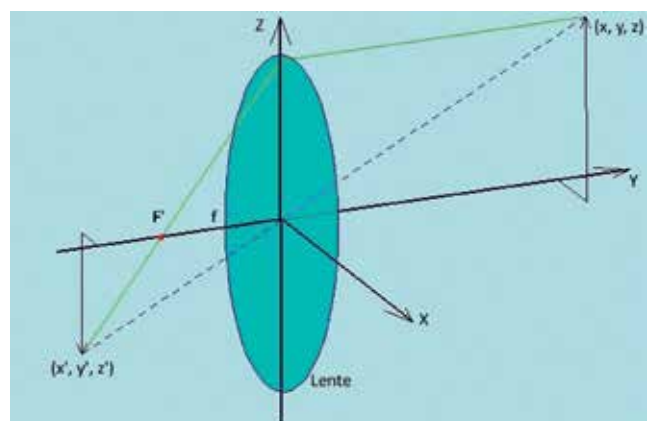


Figura 1.2

⁽¹⁾http://icaro.eii.us.es/descargas/tema_4_parte_2.pdf

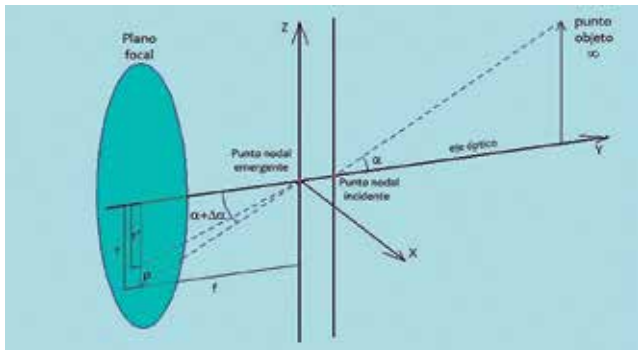


Figura 1.3

Modelo de Brown

$$L(r) = k_1 r^3 + k_2 r^5 + k_3 r^7$$

Modelo de USGS⁽²⁾

$$L(r) = k_0 r + k_1 r^3 + k_2 r^5 + k_3 r^7$$

Modelo de la ISPRS⁽³⁾

$$L(r) = k_1 r(r^2 - r_0^2) + k_2 r(r^4 - r_0^4) + k_3 r(r^6 - r_0^6)$$

Otro modelo polinomial usado es el modelo de potencias de orden par (Faisal Bukhari (2013))

$$L(r) = 1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6 + \dots$$

Hay objeciones a los modelos anteriores, estos modelos funcionan bien con pequeñas distorsiones, pero no tan bien cuando las distorsiones son importantes, Fitzgibbon (2001) propuso el modelo de división, que es una aproximación más precisa y más adecuada a sistemas con distorsión radial importante:

$$L(r) = \frac{1}{1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + \dots}$$

Una simplificación de éste último modelo es el modelo de división de parámetro único (*single-parameter division model*), en el que sólo se considera el parámetro k_1 , en este caso el modelo introducido por Brow queda

$$\begin{pmatrix} \hat{x} - x_c \\ \hat{y} - y_c \end{pmatrix} = \frac{1}{1 + k_1 r^2} \begin{pmatrix} x - x_c \\ y - y_c \end{pmatrix}$$

o lo que es lo mismo

$$\begin{cases} \hat{x} = x_c + \frac{x - x_c}{1 + k_1 r^2} \\ \hat{y} = y_c + \frac{y - y_c}{1 + k_1 r^2} \end{cases}$$

Distorsión tangencial.

Es una distorsión menos importante, en general, que la radial. Se produce cuando el conjunto de lentes no está exactamente centrado con el eje óptico. Brown (1971) modela la distorsión radial mediante las siguientes expresiones:

$$\begin{cases} \tau_x = P_1(r^2 + 2(x - x_c)^2) + 2P_2(x - x_c)(y - y_c) \\ \tau_y = 2P_1(x - x_c)(y - y_c) + P_2(r^2 + 2(y - y_c)^2) \end{cases} \quad (1.3)$$

en las que τ_x y τ_y son las componentes de la distorsión tangencial o descentrada, (x, y) son las coordenadas imagen distorsionadas, (x_c, y_c) son las coordenadas del punto principal y P_1 y P_2 son los coeficientes de distorsión tangencial.

Finalmente a partir de las ecuaciones (1.1), (1.2) y (1.3) obtenemos una expresión que nos da las coordenadas no distorsionadas de un punto imagen:

$$\begin{cases} \hat{x} = x_c + L(r)(x - x_c) + P_1(r^2 + 2(x - x_c)^2) + 2P_2(x - x_c)(y - y_c) \\ \hat{y} = y_c + L(r)(y - y_c) + 2P_1(x - x_c)(y - y_c) + P_2(r^2 + 2(y - y_c)^2) \end{cases} \quad (1.4)$$

1.1.2. Método de calibración basado en triangulación, Auto-calibración.

Una vez analizados los modelos de cámara y distorsiones hay que aplicar algún procedimiento que mida físicamente o calcule los parámetros internos de la cámara. Se puede consultar una clasificación extensa de técnicas de calibración en Reznicek (2014), pero en el presente artículo nos centraremos en el método de auto-calibración, que es el que emplea el software usado en los cálculos.

La Auto-calibración (*self-calibration*) es el método en el que <<se utiliza la información presente en las imágenes tomadas desde la cámara no calibrada para determinar sus parámetros de calibración a la vez que se determinan sus parámetros de orientación externa>> (Fraser (1997)). Se basa en el método de haces de rayos (*bundle adjustment*) en el que se añaden parámetros adicionales, los parámetros de calibración, a las ecuaciones de colinealidad.

Partiendo de las ecuaciones de colinealidad (Broncano Mateos (2009)):

$$\begin{cases} x_a - x_c = -f \cdot \frac{r_{11}(X_A - X_0) + r_{21}(Y_A - Y_0) + r_{31}(Z_A - Z_0)}{r_{13}(X_A - X_0) + r_{23}(Y_A - Y_0) + r_{33}(Z_A - Z_0)} \\ y_a - y_c = -f \cdot \frac{r_{12}(X_A - X_0) + r_{22}(Y_A - Y_0) + r_{32}(Z_A - Z_0)}{r_{13}(X_A - X_0) + r_{23}(Y_A - Y_0) + r_{33}(Z_A - Z_0)} \end{cases} \quad (1.5)$$

siendo

- Coordenadas imagen $(x_a, y_a, -f)$
- Coordenadas del centro de proyección (X_0, Y_0, Z_0)

⁽²⁾(U.S. Geological Survey) www.usgs.gov

⁽³⁾International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. www.isprs.org

- Coordenadas del punto objeto (X_A, Y_A, Z_A)
- Coordenadas del punto principal (x_c, y_c)
- Matriz de rotación

$$\begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix}$$

en la que están implícitos los elementos de rotación (ω, φ, κ).

Introducimos en la ecuación (1.5) los parámetros adicionales Δx e Δy , siendo

$$\begin{cases} \Delta x = \hat{x} - x_c \\ \Delta y = \hat{y} - y_c \end{cases}$$

donde (\hat{x}, \hat{y}) son las coordenadas no distorsionadas que aparecen en la expresión (1.4) y (x_c, y_c) son las coordenadas del punto principal, con lo que

$$\begin{cases} \Delta x = L(r)(x - x_c) + P_1(r^2 + 2(x - x_c)^2) + 2P_2(x - x_c)(y - y_c) \\ \Delta y = L(r)(y - y_c) + 2P_1(x - x_c)(y - y_c) + P_2(r^2 + 2(y - y_c)^2) \end{cases}$$

donde podemos elegir como función de distorsión radial $L(r)$ el modelo de Brown:

$$L(r) = k_1 r^3 + k_2 r^5 + k_3 r^7$$

Finalmente obtenemos las ecuaciones de colinealidad con los parámetros adicionales de orientación interna y distorsiones de la cámara:

$$\begin{cases} x_a - x_c + \Delta x = -f \cdot \frac{r_{11}(X_A - X_0) + r_{21}(Y_A - Y_0) + r_{31}(Z_A - Z_0)}{r_{13}(X_A - X_0) + r_{23}(Y_A - Y_0) + r_{33}(Z_A - Z_0)} \\ y_a - y_c + \Delta y = -f \cdot \frac{r_{12}(X_A - X_0) + r_{22}(Y_A - Y_0) + r_{32}(Z_A - Z_0)}{r_{13}(X_A - X_0) + r_{23}(Y_A - Y_0) + r_{33}(Z_A - Z_0)} \end{cases}$$

Se ha empleado el conjunto de parámetros adicionales más comunes para compensar los errores sistemáticos en las cámaras CCD, que son los definidos por Brown (1971), estos parámetros son la distancia principal f , el punto principal (x_c, y_c), así como tres coeficientes de distorsión radial k_1 , k_2 y k_3 y dos de la distorsión tangencial P_1 y P_2 . El modelo se puede ampliar con dos parámetros adicionales como son la distorsión dentro del plano imagen del tamaño del pixel en x y en y , B_1 y B_2 , o la falta de planicidad del sensor (Fraser (1997)), estos términos son raramente significativos en las cámaras digitales modernas (Remondino y Fraser (2006)), pero se suelen calcular en los *software* comerciales como PhotoScan de Agisoft u ortoDrone de SRMConsulting.

2. MATERIAL Y MÉTODO

No se dispone de ningún sistema RPAS por lo que la única opción es conseguir un vuelo realizado anteriormente

con las características necesarias para poder estudiar la calidad de la aerotriangulación. La situación ideal es conseguir un vuelo realizado con sistema GPS/IMU del cual obtener coordenadas de los fotocentros así como orientación de la cámara en cada toma, y por otro lado medir en el terreno una serie de puntos de control y de chequeo.

La empresa SRM Consulting⁽⁴⁾ se presta amablemente a colaborar proporcionando un proyecto de vuelo sobre las ruinas del monasterio de Tom Roden en Höxter, Alemania. Este proyecto se realizó colocando dianas sobre el terreno de las que se dispone de coordenadas. El único problema es que las imágenes se tomaron sin GPS/IMU por lo que no tenemos coordenadas ni orientación de los fotocentros. El vehículo aéreo empleado fue un cuadrocóptero con una cámara Sigma DP1 Merrill con un sensor tipo CMOS y formato APS-C (23.5mm x 15.7mm) de 14,8 Mpixel.

Se dispone de una licencia de un mes del software de SRM Consulting sobre dos de sus módulos, ortoDrone para cálculo de aerotriangulación y obtención de nube de puntos y ortoSky para la captura estereoscópica de información vectorial. Se realiza de nuevo la aerotriangulación con PhotoScan de Agisoft, con el fin de tener una confirmación de resultados.

Se han creado planificaciones ficticias a fin de estudiar y comparar los proyectos tradicionales de fotogrametría



Figura 2.1. Vuelo escala 1:30 000 sobre Zaragoza (pasadas en verde). Se representa un vuelo del Gatewing X-100 de Trimble (rojo) de 400 imágenes

⁽⁴⁾<http://srmconsulting.es/>

con aeronaves tripuladas frente al uso de RPAS. Para ello se parte de un supuesto en el que se pretende cubrir un área de 31 km x 34 km aproximadamente, tanto por un vuelo tradicional con un recubrimiento longitudinal del 60 % y transversal del 30 %, como por vuelos con los RPAS Gatewing X-100 y UX5 de Trimble tanto con recubrimiento 60/30 como 80/40. Se ha utilizado el software GSD Calculator V4.23 para realizar la simulación.

En la figura 2.1 están representadas las pasadas realizadas por un vuelo a escala 1:30 000 sobre una zona cercana a Zaragoza, y también se aprecia una pequeña zona que se voló con el Gatewing X-100 en 2013 en el que se realizó un total de 400 imágenes. Se calcula adicionalmente el mismo vuelo con un recubrimiento del 80% para el Gatewing X-100, pues los sistemas RPAS suelen emplear este recubrimiento o superior.

A fin de poder comparar los proyectos volados con aeronaves tripuladas y con RPAS se ha partido de valores de GSD muy bajos, que son los obtenidos con sistemas RPAS volados a 120 metros de altura, máxima actualmente permitida para sistemas RPAS de menos de 25 kg de MTOW según la normativa actual⁽⁵⁾. Estos valores no son aplicables a vuelos con aeronaves tripuladas pues éstas deben volar a una altura mínima de 500 metros sobre el nivel del suelo aproximadamente. Pero con el objeto de comparar ambos sistemas se consideran valores extremos de GSD y, por lo tanto, alturas de vuelo que normalmente no se usan. Se asigna a los sistemas RPAS una velocidad de 80 km/h y a los tripulados 185 km/h.

En la Tabla 2.1 se resumen los cálculos fijando el foco en el número de fotogramas necesarios para cubrir la zona representada en la figura 2.1 con un solape 60/30 y con un tamaño de pixel determinado.

Usando el Gatewing X-100, para cubrir la zona con un GSD de 3,82 cm necesitamos 266 006 fotogramas, 163,3 horas de vuelo, 218 ciclos de batería (lo que requiere rea-

| GSD(m) | Gatewing X-100 | Gatewing UX5 | Ultracam EAGLE UCE80 |
|--------|----------------|--------------|----------------------|
| 3,82 | 266006 | 164923 | 10026 |
| 5,13 | 144976 | 91019 | 5541 |
| 9,55 | 42102 | 26238 | 1613 |
| 10,25 | 36363 | 22672 | 1440 |
| 14,65 | 17804 | 11161 | 696 |
| 23,8 | 6771 | 4244 | 264 |
| 31,75 | 2799 | 2356 | 157 |

Tabla 2.1 Comparación GSD - número de imágenes

⁽⁵⁾http://www.seguridadaaerea.gob.es/lang_castellano/cias_empresas/trabajos/rpas/marco/default.aspx

lizar un mínimo de 218 vuelos). Con el modelo Gatewing UX5, modelo posterior al X-100 en el que se mejoran las prestaciones, necesitamos 164 923 fotogramas, 121 horas de vuelo, 161 ciclos de batería. Por último, de realizar este hipotético vuelo con una aeronave tripulada utilizando la cámara Ultracam Eagle UCE80, necesitamos 10 026 fotogramas y 15,6 horas de vuelo.

En la Figura 2.2 se representan las gráficas que relacionan el GSD con el número de imágenes para estos sistemas y se puede apreciar como aumenta el número de fotogramas en los sistemas RPAS de forma exponencial al disminuir el GSD. Si se tiene en cuenta las limitaciones legales en la altura de vuelo de los sistemas RPAS de menos de 25 kg de MTOW y las limitaciones físicas de las aeronaves tripuladas para bajar de determinada altura de vuelo en función, principalmente, de la capacidad del sistema FMC⁽⁶⁾ de corregir la imagen por el movimiento de la aeronave, se llega a la conclusión de que las escalas de utilización de ambos sistemas son prácticamente disjuntas.

2.1 Procesamiento de las imágenes

Una vez obtenidas las imágenes se tratan con un software de procesamiento disponible. Como se ha indicado anteriormente se han empleado ortoDrone de SRMConsulting y Photoscan de Agisoft.

Con ortoDrone se sigue el siguiente flujo de procesamiento:

- **Paso 0:** se añade una cámara y se introducen los datos básicos de la cámara, tamaño del sensor y distancia focal, o bien se extraen de los metadatos de la imagen a través del formato EXIF (Exchangeable image file format, ver especificaciones en JEI-TA (2002)) o se importan de fuentes externas. Ver figura 2.3. A continuación se cargan las imágenes pinchando en el botón correspondiente en el panel derecho.

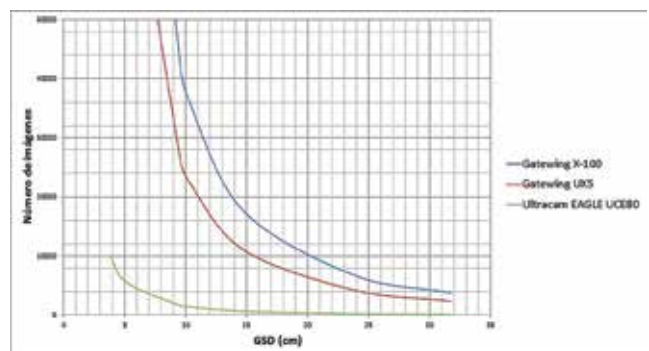


Figura 2.2. Gráficas que relacionan el GSD deseado con el número de imágenes necesarias para abarcar el área de estudio

⁽⁶⁾Forward Motion Compensation: sistema mecánico o digital de compensación del movimiento de la aeronave que asegura que la imagen no salga «movida»

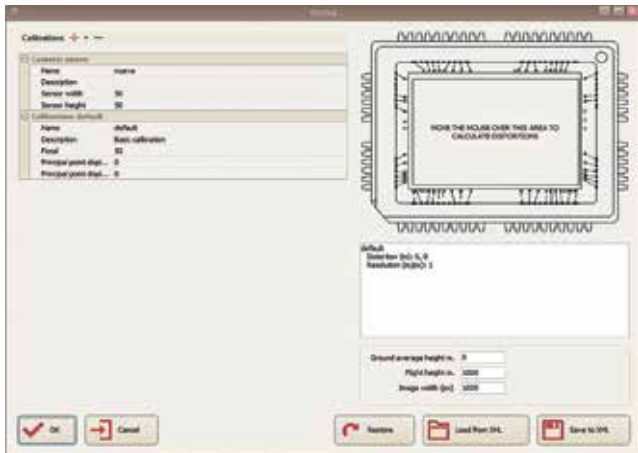


Figura 2.3. OrtoDrone, formulario para introducir datos de la cámara

- **Paso 1:** se abre el formulario de flujo de trabajo en el que aparecen el resto de pasos (Figura 2.4). Se realiza la orientación interna y relativa de las imágenes calculando una nube de puntos de paso. En la figura 2.5 se puede ver el resultado de este proceso por el que se consiguen una mayor o menor cantidad de puntos de paso en función del número de píxeles con el que se trabaje (utiliza algoritmos de la herramienta APERO, *Aérotriangulation Photogrammétrique Expérimentale Relativement Opérationnelle*, Pierrot-Deseilligny y Cléry (2011) que, para la búsqueda de estos puntos, emplea imágenes piramidales).

- **Paso 2:** aerotriangulación, genera las orientaciones absolutas de los focoscentros y una nube de puntos de paso. En esta fase se debe cargar el fichero de coordenadas de los puntos de control en el terreno (GCP) y se deben señalar éstos sobre las imágenes. Tiene tres modos de procesamiento:

1. Utilizando solo GCP. Por lo general se despliegan una serie de dianas sobre la zona a fotografiar de las que se obtienen coordenadas precisas.
2. Utilizando solo fichero de orientación. Se captura en vuelo por el sistema GPS/IMU y se almacena en los metadatos (EXIF) de la imagen.
3. Utilizando fichero de orientación y puntos de control.

- **Paso 3:** obtención de productos

1. Ortofoto de baja resolución.
2. Ortofoto de alta resolución.
3. Nube de puntos densa.

Los pasos 2 y 3 se basan en la utilización de los algoritmos desarrollados por el programa MICMAC (*Multi Image Matches for Auto Correlation Methods*) del laboratorio MATIS, Pierrot-Deseilligny (2015).

Con PhotoScan se sigue el siguiente flujo de procesamiento:

- **Paso 0:** se cargan las imágenes en el menú *Flujo de trabajo/Añadir fotos*, el programa lee del EXIF automáticamente los datos de la cámara (distancia focal, dimensiones del sensor y tamaño de píxel).
- **Paso 1:** orientar las fotos. Si las imágenes traen información de orientación en el EXIF se cargan automáticamente, si se ha obtenido esta información con herramientas externas, como es este caso (se han calculado las coordenadas de los focoscentros y las orientaciones de las imágenes en la prueba 4 con ortoDrone), se carga el fichero de orientaciones y en todo caso se introduce el sistema de coordenadas (Gauss-Kruger zone 3 EPSG: 31467). A continuación se ejecuta el proceso que calcula la calibración de la cámara y la orientación externa de forma simultánea.
- **Paso 2:** crear la nube de puntos densa, que se utilizará posteriormente para generar un Modelo Digital de Superficie (MDS) con el que se construirá la ortofoto.
- **Paso 3:** crear malla de polígonos como paso previo al modelo digital de superficie.



Figura 2.4. OrtoDrone, formulario del flujo de trabajo

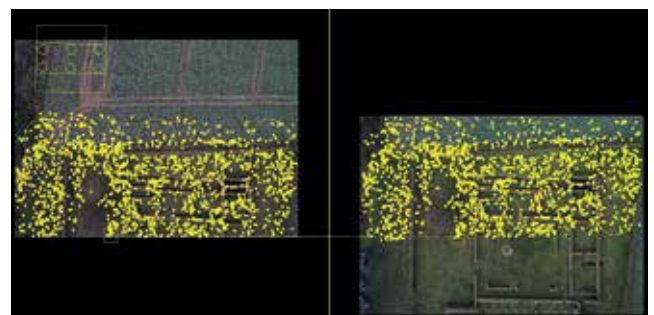


Figura 2.5. Paso 1. Cálculo de la orientación interna y relativa determinando puntos de paso (tie points)

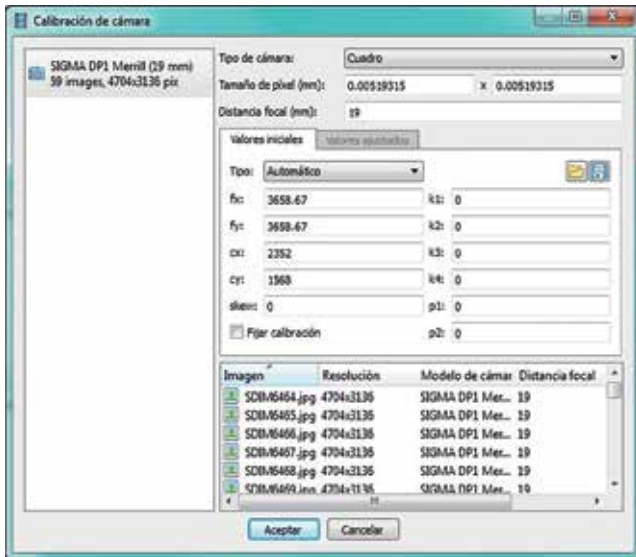


Figura 2.6. Formulario de calibración de la cámara



Figura 2.8. Ortofoto de las ruinas de Tom Roden

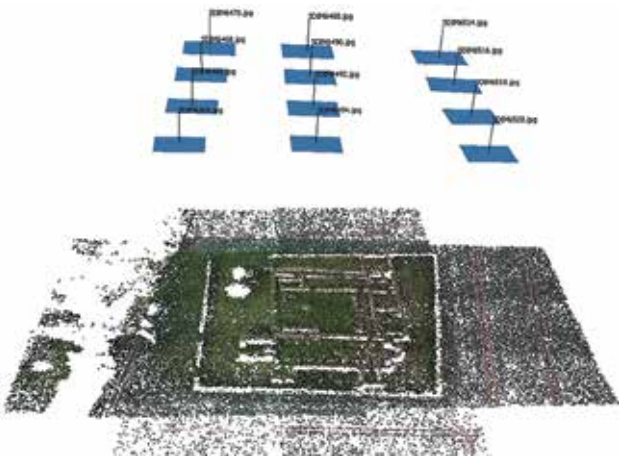


Figura 2.7. Resultado de la orientación de las imágenes con la nube de puntos de paso empleada

- **Paso 4:** exportar la ortofoto y el modelo digital de superficie.

2.2. Metodología de investigación

Se parte de las 59 imágenes ofrecidas por SRM Consulting sobre las ruinas de Tom Roden (Figura 2.8).

En este proyecto se toman las imágenes con una cámara Sigma DP1 Merrill sobre las ruinas en las que previamente se han medido con precisión topográfica sobre el terreno 9 Puntos en la proyección 3-degree Gauss-Kruger zone 3 (EPSG 31467). El proyecto de vuelo tiene un recubrimiento medio tanto longitudinal como transversal superior al 80 %. Se decide hacer pruebas con todas las imágenes y recubrimiento del 80 % y con un subconjunto de ellas con un recubrimiento aproximado del 60 %.

Se harán tres pruebas para cada recubrimiento y con cada software de procesamiento disponible, a

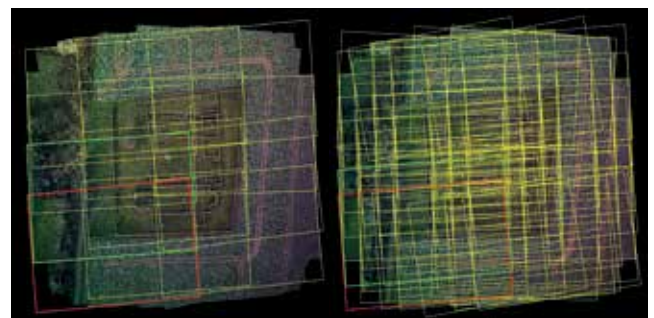


Figura 2.9. Huellas de los dos recubrimientos

saber, ortoDrone de SRM Consulting y PhotoScan de Agisoft. A continuación se especifica cada prueba:

- Pruebas con el software ortoDrone

1. Imágenes con 60 % de recubrimiento y utilizando solo puntos de control en el terreno (GCP).
2. Imágenes con 60 % de recubrimiento y utilizando solo fichero de orientación.
3. Imágenes con 60 % de recubrimiento y utilizando GCP y fichero de orientación.
4. Imágenes con 80 % de recubrimiento y utilizando solo puntos de control en el terreno (GCP).
5. Imágenes con 80 % de recubrimiento y utilizando solo fichero de orientación.
6. Imágenes con 80 % de recubrimiento y utilizando GCP y fichero de orientación.

Posteriormente a cada prueba de este primer grupo se mide en OrtoSky estereoscópicamente los puntos de chequeo, números 104, 106, 108 y 110, y se comparan con los valores tomados en campo a fin de valorar la calidad de la aerotriangulación. También se medirán valores x e y de esos puntos en la ortofoto de

| Archivo | Edición | Formato | Ver | Ayuda | | | | | |
|--------------|-------------|-------------|------------|-----------|-----------|------------|--|--|--|
| SDIM6464.jpg | 3527621.552 | 5739181.045 | 153.93968 | -1.05461 | -0.469376 | -15.349258 | | | |
| SDIM6466.jpg | 3527617.243 | 5739204.794 | 153.928143 | -0.79164 | -0.054734 | -14.030042 | | | |
| SDIM6468.jpg | 3527612.63 | 5739228.467 | 153.944399 | -0.287405 | -0.127209 | -13.74584 | | | |
| SDIM6470.jpg | 3527608.083 | 5739251.372 | 154.262236 | 0.189232 | -0.150382 | -14.326465 | | | |
| SDIM6488.jpg | 3527635.755 | 5739260.768 | 153.506204 | 0.923777 | 0.406143 | -14.640175 | | | |
| SDIM6490.jpg | 3527640.671 | 5739238.071 | 153.326426 | 1.037833 | 0.195279 | -13.025776 | | | |
| SDIM6492.jpg | 3527645.774 | 5739215.115 | 152.976872 | -0.455953 | 0.364403 | -14.632904 | | | |
| SDIM6494.jpg | 3527650.731 | 5739191.074 | 153.596329 | -0.33229 | 0.338557 | -14.09068 | | | |
| SDIM6514.jpg | 3527674.704 | 5739269.742 | 153.137131 | 1.165924 | 0.810895 | -15.280145 | | | |
| SDIM6516.jpg | 3527680.046 | 5739246.455 | 152.791509 | 0.164958 | 0.747016 | -11.573648 | | | |
| SDIM6518.jpg | 3527685.429 | 5739222.992 | 152.742395 | -0.026061 | 0.498837 | -16.703265 | | | |
| SDIM6520.jpg | 3527689.913 | 5739199.718 | 152.625422 | -0.425808 | 0.347412 | -15.443311 | | | |

Figura 2.10. Fichero de orientación para las pruebas con solape del 60 %

alta calidad generada. En todos los casos se ejecuta el paso 1 con los parámetros *Detection quality = High* y *Working width (pixels) = Small (1176)*.

- Pruebas con el software PhotoScan
 7. Imágenes con 60 % de recubrimiento y utilizando GCP y fichero de orientación.
 8. Imágenes con 60 % de recubrimiento y utilizando solo fichero de orientación.
 9. Imágenes con 80 % de recubrimiento y utilizando GCP y fichero de orientación.
 10. Imágenes con 80 % de recubrimiento y utilizando solo fichero de orientación.

En cada prueba de este segundo grupo se realizará el modelo digital de superficie (MDS) y la ortofoto de alta calidad, y sobre ellos se medirán los puntos de chequeo haciendo uso del software QGIS Desktop V. 2.12.1, para valorar la calidad de la aerotriangulación. Con este software no es posible realizar la prueba de cálculo solo con GCP sin fichero de orientación.

El fichero de orientación es un fichero de texto que contiene el nombre de la imagen, las coordenadas de los fotocentros y los valores de ω , φ y κ (Figura 2.10). Estos valores son obtenidos con el sistema GPS/IMU del sistema RPAS o bien, como en este caso, calculados en la Prueba 4 con ortoDrone.

Los puntos de control (GCP) se proporcionan también como un fichero de texto. Están numerados desde el 102 al 108. En todos los casos en los que se utiliza GCP se toman como puntos de control los GCP número 102, 103, 105, 107 y 109, distribuidos como se puede ver en la figura 2.11 y el resto de puntos de control, es decir, el 104, 106, 108 y 110, distribuidos como se ve en la figura 2.12 se usan como puntos de chequeo o independientes para poder controlar las calidad de la aerotriangulación. El fichero de orientación debe contener las coordenadas aproximadas de los fotocentros y la orientación de cada imagen obtenidas de los sistemas GPS/IMU a bordo del sistema RPAS. Como se ha comentado anteriormente no disponemos de estos datos por lo que se propone simularlos a partir del resultado de la aerotriangulación obtenida con los GCP.

El intento de abarcar grandes superficies y con un recubrimiento superior al 60% hace que se eleve de forma exponencial el número de imágenes y por consiguiente el tiempo de procesamiento, que en muchos casos se haría

inabordable o como mínimo requeriría dividir el área en zonas más pequeñas que se puedan procesar por separado. Se ha reflejado en la tabla 2.2 el tiempo de procesado para cada una de las pruebas que se especifican en esta sección realizadas con el software PhotoScan. Puede constatarse como se eleva el tiempo de proceso significativamente aumentando el recubrimiento del 60 % al 80 %.

3. RESULTADOS

En la tabla 3.1 se presenta un resumen de los resultados de cada una de las pruebas, La prueba 6 no



Figura 2.11. Localización de los puntos de control



Figura 2.12. Localización de los puntos de chequeo

| Prueba | Orientación | Nube densa | Malla poligonal | Ortofoto |
|-----------|-------------|------------|-----------------|----------|
| Prueba 7 | 8 | 220 | 3 | 8 |
| Prueba 8 | 8 | 63 | 4 | 8 |
| Prueba 9 | 56 | 1806 | 7 | 24 |
| Prueba 10 | 58 | 1470 | 8 | 25 |

Tabla 2.2. Tiempo de procesamiento de las pruebas realizadas con PhotoScan (minutos)

aparece en la tabla debido a que no se ha podido terminar pues el software sufre un error en la ejecución de la segunda calibración y detiene el proceso. Se presentan los errores en X, Y y Z, el error absoluto en metros y en pixeles. Estos mismos errores se presentan de forma visual en la figura 3.1. Se han colocado en ella a la izquierda las pruebas en las que se emplea para el cálculo GCP o GCP más fichero de orientación de las cámaras y a la derecha las pruebas en las que solo se emplea fichero de orientación. Se aprecia claramente como las pruebas realizadas usando puntos de control en el terreno son las que mayor calidad han conseguido. Solo hay dos pruebas que hayan obtenido unos errores inferiores al tamaño de pixel de 0,02 m, la prueba 7 y la prueba 9 realizadas con el software de Photoscan, pero hay que recordar que para realizar estas pruebas se intentó mejorar el fichero de orientación que se calculó en la prueba 4, por lo que quizá ha influido en un mejor resultado. Las pruebas con ortoDrone no se han realizado con este fichero mejorado pero aun así obtienen errores ligeramente por encima del pixel que pueden considerarse válidos con calidad topográfica teniendo en cuenta que la precisión de los puntos de control es aproximadamente el tamaño de pixel. La prueba 3 obtiene unos errores extrañamente altos sobretodo en Z que pueden ser debidos a la influencia en el cálculo de la mala calidad de los datos

del fichero de orientación.

En las pruebas en las que sólo se ha empleado fichero de orientación se observa que se han obtenido mejores resultados con ortoDrone a pesar de emplear el fichero sin modificaciones (el calculado en la prueba 4), sin embargo ninguna prueba ha alcanzado resultados satisfactorios, los errores han sido muy elevados salvo para

la prueba 5, realizada con el 80 % de solape con ortoDrone con un error total de 6,1 cm que está por encima del píxel pero que para muchas aplicaciones podría considerarse válido (aunque sin el uso de puntos de chequeo se mantendría la incertidumbre sobre la calidad). Analizando con mayor profundidad la prueba 5 vemos que los errores en X y en Y se mantienen por debajo del pixel con desviación típica pequeña y es en la coordenada Z donde se comete mayor error. Otra observación que se puede hacer sobre estas pruebas es que el aumento del solape desde el 60% al 80% ha disminuido mucho los errores en las pruebas en ambos software, como se puede apreciar en la Figura 3.2.

Entre los productos obtenidos a partir de la aerotriangulación cabe destacar la nube de puntos densa que sirve para realizar un modelo digital de superficie de una elevada calidad. Para cada una de las pruebas con PhotoScan se ha calculado una nube de puntos densa y obtenido el modelo poligonal correspondiente comprobando visualmente la capacidad de reproducir los objetos situados sobre el terreno en el momento de las tomas. Los objetos sólidos como muros, vehículos, montículos en el terreno, etc son bien detectados por la correlación de imágenes, sin embargo le cuesta detectar elementos menos sólidos como árboles o arbustos poco frondosos (Figura 3.3).

| | X (m) | Y (m) | Z (m) | Total (m) | Total (pix) |
|--------------------------|---------|---------|---------|-----------|-------------|
| Prueba1 - GCP 60% | -0,0127 | -0,0203 | -0,0249 | 0,0346 | 1,7285 |
| Prueba 2 - ORI 60% | -0,0696 | 0,2103 | -0,4697 | 0,5193 | 25,9668 |
| Prueba 3 - GCP + ORI 60% | 0,0300 | -0,0017 | 0,2581 | 0,2598 | 12,9904 |
| Prueba 4 - GCP 80% | 0,0302 | 0,0282 | 0,0323 | 0,0525 | 2,6229 |
| Prueba 5 - ORI 80% | -0,0176 | 0,0139 | 0,0567 | 0,0610 | 3,0503 |
| Prueba 7 - GCP + ORI 60% | -0,0025 | 0,0011 | 0,0113 | 0,0116 | 0,5806 |
| Prueba 8 - ORI 60% | -0,0157 | -0,2264 | -1,4062 | 1,4243 | 71,2172 |
| Prueba 9 - GCP + ORI 80% | -0,0004 | 0,0009 | 0,0048 | 0,0049 | 0,2462 |
| Prueba 10 - ORI 80% | 0,0024 | -0,2374 | -0,0700 | 0,2475 | 12,3734 |

Tabla 3.1. Errores absolutos obtenidos en cada prueba

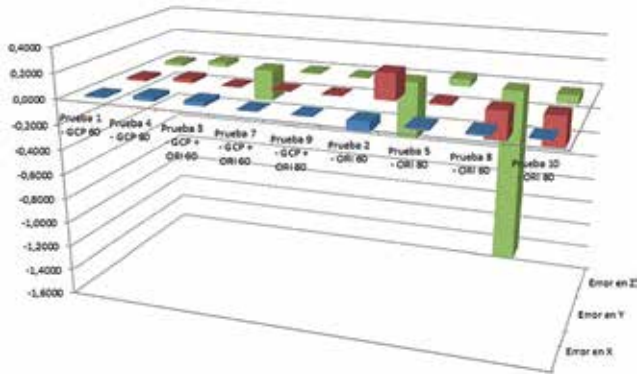


Figura 3.1. Errores cometidos en X, Y y Z en cada una de las pruebas

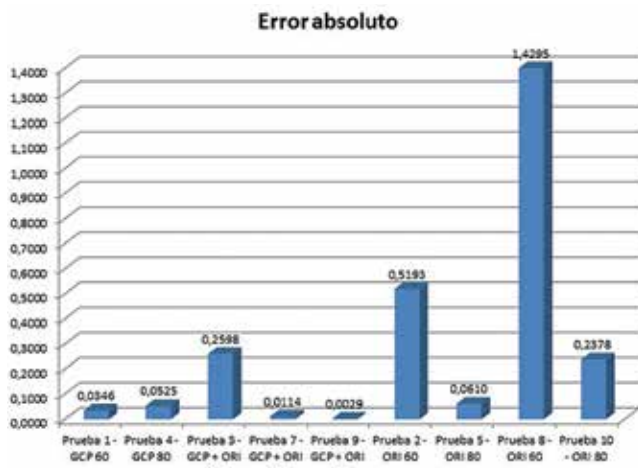


Figura 3.2. Error total cometido en cada prueba



Figura 3.3. La nube densa no detecta árboles sin hojas

3. CONCLUSIONES

Atendiendo a los objetivos marcados, las conclusiones son las siguientes:

- Las pruebas realizadas con PhotoScan usando para el cálculo de la aerotriangulación tanto los puntos de control como el fichero de orientación (pruebas 7 y 9) son totalmente satisfactorias obteniendo un

error inferior al píxel con una desviación típica pequeña. Las pruebas realizadas con ortoDrone usando para el cálculo solo puntos de control (pruebas 1 y 4) han obtenido unos errores ligeramente superiores al tamaño de píxel, puede considerarse válido siempre que estos errores sean aceptables para el objetivo del trabajo. Se podrían mejorar aumentando el número de píxeles con los que se calculan los puntos de paso en el paso 1 de orientación de las cámaras. En los casos en los que solo se usa fichero de orientación la precisión aumenta al aumentar el solape pero no se alcanzan valores aceptables salvo para la prueba 5 que obtiene un error de 6 cm, que es superior al píxel solo en Z. Por último la prueba 3 con ortoDrone en la que se emplean tanto puntos de control como fichero de orientación el resultado no ha sido satisfactorio debido probablemente a la poca precisión de éste último.

- El uso de cámaras no métricas no ha afectado a la precisión de la aerotriangulación pues se compensa con los actuales algoritmos de ajuste empleados.
- Los modelos digitales de superficie generados a partir de las nubes densas de puntos obtienen resultados muy precisos para estructuras sólidas del terreno pero son poco fiables para representar vegetación poco frondosa.
- Actualmente los sistemas RPAS de menos de 25 kg de MTOW son útiles para zonas poco extensas como apoyo o sustitución de la topografía clásica, en primer lugar porque la ley no permite superar los 120 metros de altura de vuelo a estos sistemas y por consiguiente, como se ha visto en la sección 2, hacer una planificación de vuelo sobre un área extensa requiere una cantidad de imágenes muy grande difícil de procesar con el software comercial, y por otro lado son sistemas con poca autonomía lo que implica dividir la zona a fotografiar en muchas pequeñas zonas.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al Teniente Coronel Carlos Javier Broncano Mateos, destinado como profesor en el Departamento de Geodesia de la Escuela de Guerra del Ejército, el apoyo que me ha brindado para la realización de este trabajo. También quiero agradecer a la empresa SRM Consulting y específicamente a José Santiso, Luis Murat y Luis Izquierdo que me acogieron en sus oficinas y gastaron parte de su valioso tiempo en explicarme el software OrtoDrone y OrtoSky y me

proporcionarán una licencia temporal y un proyecto fotogramétrico para poder hacer el estudio expuesto en este trabajo.

REFERENCIAS

- Botero, A. J. (2005). Robótica, capítulo Descripciones y Transformaciones Espaciales, páginas 28–30. Obtenido en mayo de 2016 en www.wag.caltech.edu. (http://www.wag.caltech.edu/home/ajaramil/libro_robotica/transformaciones_espaciales.pdf)
- Broncano Mateos, C. J. (2009). Apuntes de Fotogrametría. Curso de Geodesia. Escuela de Guerra del Ejército de Tierra. Mando de Adiestramiento y Doctrina.
- Brown, D. C. (1964). An advanced reduction and calibration for photogrammetric cameras. Informe técnico, Defense Documentation Center. Obtenido en mayo de 2016 en <http://dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=AD0431886>.
- Brown, D. C. (1971). Close-range camera calibration. Photogrammetric engineering. Obtenido en mayo de 2016 en http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/papers/Brown71.pdf, vol. 37(8), páginas 855–866.
- Faisal Bukhari, M. N. D. (2013). Automatic radial distortion estimation from a single image. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*. Obtenido en mayo de 2016 en http://vgl-ait.org/mdailey/uploads/publication_file/filename/89/Bukhari-RadialDistortion.pdf.
- Fitzgibbon, A. (2001). Simultaneous linear estimation of multiple view geometry and lens distortion. En *Proceedings / CVPR, IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Obtenido en mayo de 2016 en <https://www.researchgate.net/publication/3940560>.
- Fraser, C. S. (1997). Digital camera self-calibration. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*. Obtenido en mayo de 2016 en https://www.researchgate.net/publication/223175665_Digital_camera_selfcalibration, (52), páginas 149–159.
- JEITA. (2002). Exchangeable image file format for digital still cameras: Exif version 2.2, obtenido el 20 de abril de 2017 en <http://www.exiv2.org/Exif2-2.PDF>. Informe técnico, Japan Electronics and Information Technology Industries Association.
- Lahoz, J. G., Méndez, O. C. y Rubio, J. M. (2003). Lens distortion simulation. An application for understanding geometric distortion. *Proceedings of the XIXth International CIPA Symposium*, 30 September–4 October 2003, Antalya (Turkey), pp. 1–7. Obtenido el 22 de junio de 2016 en ria.asturias.es, 2003. (http://ria.asturias.es/RIA/bitstream/123456789/5741/1/CIPA2003_94.pdf)
- Martín, N. S., B., A. P., D., G. A. y J., G. L. (2002). Análisis aplicado de métodos de calibración de cámaras para usos fotogramétricos. VIII Congreso Nacional de Topografía y Cartografía Obtenido en mayo de 2016 en <http://www.cartesia.org/geodoc/topcart2004/conferencias/38.pdf> Informe técnico, Japan Electronics and Information Technology Industries Association.
- Olivier D. Faugeras, Q.-T. L. (2005). The fundamental matrix: theory, algorithms, and stability analysis. *International Journal of Computer Vision*, accedido el 22 de junio de 2016 en <http://www.researchgate.net>.
- Pierrot-Deseilligny, M. y Cléry, I. (2011). Apero, an open source bundle adjustment software for automatic calibration and orientation of a set of images, accedido el 15 de junio de 2016 en http://recherche.ign.fr/labos/matis/pdf/articles_conf/2011/pierrot_clery.pdf En *Proceedings of the ISPRS Commission V Symposium, Image Engineering and Vision Metrology*.
- Pierrot-Deseilligny, M. (2015). Micmac, apero, pastis and other beverages in a nutshell!, obtenido el 15 de junio 2016 en <http://logiciels.ign.fr/img/pdf/docmicmac-2.pdf>. Informe técnico, IGN France.
- Remondino, F. y Fraser, C. (2006). Digital camera calibration methods: Considerations and comparisons. *ISPRS Commission V Symposium 'Image Engineering and Vision Metrology'*. Accedido el 22 de junio de 2016 en www.icsd.aegean.gr.
- Reznicek, J. (2014). Method for measuring lens distortion by using pinhole lens.
- The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5 Obtenido en mayo de 2016 en www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net.

Sobrel el autor

Capitán Miguel Ángel López González

Capitán del Cuerpo General Escala de Oficiales del Ejército del Aire, diplomado en Geodesia Militar y Licenciado en Ciencias Matemáticas, especialidad en Ciencias de la Computación, por la Universidad Complutense de Madrid. Jefe de la sección de Cartografía general del CECAF.



Sensor fotogramétrico digital del CECAF

CECAF digital photogrammetric sensor

Capitán Agustín Martín Paniagua

REVISTA **MAPPING**
Vol. 26, 185, 56-58
septiembre-octubre 2017
ISSN: 1131-9100

Resumen

El artículo intenta exponer la firmeza mostrada en los últimos años por el CECAF (Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército del Aire), con el fin de la adquisición del nuevo sistema fotogramétrico digital.

Se especificarán las características principales del sistema, así como las nuevas capacidades adquiridas con este salto tecnológico.

Abstract

The article tries to expose the firmness shown in recent years by the CECAF (Cartographic and Photographic Center of the Air Force), with the aim of acquiring the new digital photogrammetric system.

The main characteristics of the system will be specified, as well as the new capabilities acquired with this technological leap.

Palabras clave: RPAS, UAV, aerotriangulation, orthophoto, calibration, coating covering, control point, GCP, GPS / IMU, esterscopic pair, SDM.

Keywords: Digital photogrammetric sensor, aerial photography, aeronautical data, geospatial products, Ultracam Eagle, airspace..

Jefe de Sección de Fotogrametría y Topografía
ampaniagua@ea.mde.es

Recepción 05/05/2017
Aprobación 29/06/2017

1. INTRODUCCIÓN

El pasado 13 de diciembre de 2016, se firmó el acta de recepción del nuevo sensor fotogramétrico digital adquirido por el CECAF (Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército del Aire). Ese día finalizó una larga andadura sobre la adquisición de un sensor para el CECAF, que comenzara allá por el año 2006, y que por diferentes motivos (principalmente económicos) impidieron su adquisición hasta 10 años después.

2. MISIONES CARTOGRÁFICAS Y FOTOGRAFICAS DEL CECAF

El CECAF cuenta con aviones específicamente preparados para fotografía aérea, pero en los últimos años había perdido la capacidad de obtención de imágenes fotogramétricas por obsolescencia de las cámaras aéreas existentes y de los procesos de producción analógicos. Por ello era necesaria la adquisición de un sistema de obtención de imágenes que, en su conjunto, permitiera la realización de las siguientes misiones:

- Adquisición de imágenes fotogramétricas digitales para la producción de cartografía aeronáutica militar y para otros organismos e instituciones del Estado, aprovechando sinergias, evitando dualidades y costes duplicados.
- Cumplimiento con lo dispuesto en el Real Decreto 1545/2007 que regula el Sistema Cartográfico Nacional, referente a los vuelos sobre áreas prohibidas: «Disposición adicional cuarta. Autorización de vuelos para trabajos cartográficos. 2. El vuelo con finalidades cartográficas sobre las zonas prohibidas, en los términos del Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Aérea, sólo podrá ser realizado, salvo otras posibilidades que contemple el procedimiento previsto en el apartado anterior, por el Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército del Aire».
- Capacidad de generar productos geoespaciales de calidad que permitan, de manera semiautomática, la detección de obstáculos puntuales (farolas, postes, antenas, etc.) para la producción de datos e información aeronáutica para las cartas y bases de datos aeronáuticas: DTDB-C del A400 (*Digital Terrain Database Converter*), eTOD (*Electronic Terrain and Obstacle Data*), AIXM 5.1 (*Aeronautical Information Exchange Model*), AOC (*Aerodrome Obstacle Chart*), vulneraciones de servidumbres aeronáuticas, etc.)
- Obtención de productos fotogramétricos en tiempo casi-real para situaciones de emergencia, desastres naturales y aplicaciones militares específicas. Para ello el sistema cuenta con un sistema de geoposicionamiento directo, basado en GNSS (*Global Navigation Satellite System*) e IMU (*Inertial Measurement Unit*).

El trabajo administrativo y técnico realizado para licitar la «Adquisición de un sistema de captura de imágenes digitales métricas para las aeronaves del CECAF» ha sido coordinado por el CECAF, el CIFAS (Centro de Inteligencia de las Fuerzas Armadas) y el MALOG (Mando de Apoyo Logístico del EA).

3. ULTRACAM EAGLE

Una vez resuelta la licitación, el sistema seleccionado fue «Ultracam Eagle» Mark 2; y como bien está expresado, la adquisición ha sido de un «sistema» integral y completo, que va desde el sensor y sus medios auxiliares (plataforma giroestabilizada, sistema FMS (*Flight Management System*) para la ayuda a la navegación, sistema IMU/GNSS, doble focal, etc.), pasando por el *software* para planificación de los vuelos, procesado de la información y generación de productos geoespaciales, y finalizando por todo el *hardware* requerido (estaciones de trabajo, sistemas de visión estereoscópica, y servidores de proceso y almacenamiento escalables) para proporcionar un entorno de producción de información geográfica de alto rendimiento y calidad.

El sistema mencionado ha sido suministrado por la empresa GTBI (GeoToolBox Ibérica), como distribuidor regional de *Vexcel Imaging GmbH* para España. GTBI cumplía con todos los requisitos técnicos específicos exigidos en el correspondiente Pliego de Prescripciones Técnicas.

Dentro de los mencionados requisitos específicos exigidos, cabe destacar:

- a) Ser un sensor que pudiera operar en las dos plataformas existentes en el CECAF con misiones de vuelos fotogramétricos: CN235 (TR19A) y Cessna Citation V/V-560 (TR20).
- b) Cumplir con todas las «Especificaciones Técnicas para Vuelo PNOA (Básico 25 cm), de fecha 18/12/2015, confeccionadas por el Instituto Geográfico Nacional (Ministerio de Fomento)».



Figura 1. Acto de recepción



Figura 2. Ultracam Eagle montada en el TR.19



Figura 3. Plataformas aéreas con misiones fotográficas

- c) Sensor fotogramétrico de gran formato, tipo *frame* y de alta resolución; con capacidad multispectral PAN (*Panchromatic*) + RGB (*Red Green Blue*) + NIR (*Near Infrared*) y sistema IMU/GNSS de alta precisión.
- d) Capacidad de intercambio de focales (normal y teleobjetivo), sin necesidad de una recalibración del sensor. De esta forma, el Ejército del Aire tendrá la capacidad de obtener imágenes de la más alta calidad, incluso a la altitud máxima operativa del TR20, 43 000 pies (13.106,4 m) AGL (*Above Ground Level*), para situaciones de emergencia y/o desastres naturales, con la obtención de productos fotogramétricos en tiempo casi-real, y para otras aplicaciones militares específicas como levantamientos de escenarios, incluso en ambientes potencialmente hostiles.
- e) Generación automática de productos geoespaciales de gran calidad y con un alto rendimiento: «*true orto*», ortofotografía, nubes de puntos de alta densidad (1 punto por 1 píxel), MDS (Modelo Digital de Superficies) y MDT (Modelo Digital del Terreno).

4. CONCLUSIONES

Por todo lo expuesto, el CECAF vuelve a la senda del progreso y del desarrollo tecnológico, pilar fundamental en el desarrollo de sus cometidos cartográficos, de la seguridad aeronáutica y de la defensa nacional. El control del espacio aéreo, cada vez más transitado, su gestión y su seguridad, es una de las misiones más complejas de



Figura 4. True orto, MDS y escenario 3D

las asignadas al Ejército del Aire y autoridades civiles, responsables de estas funciones. Para llevar a cabo esta tarea, los medios aéreos y terrestres (sistemas de control y de diseño de procedimientos instrumentales para la navegación aeronáutica), deben disponer de una información geoespacial aeronáutica, adecuada y precisa.

Con el nuevo sistema adquirido por el CECAF, se podrá continuar con las misiones cartográficas y fotográficas asignadas desde su creación, pero con una mayor capacidad, precisión e integridad en los datos aeronáuticos, que posteriormente serán utilizados en los múltiples productos geoespaciales generados.

Sobre el autor

Capitán Agustín Martín Paniagua

Capitán de la Escala de Oficiales del Cuerpo General del Ejército del Aire (Especialidad de Cartografía e Imagen).
Ingeniero Técnico en Topografía.
Jefe Sección de Fotogrametría y Topografía del CECAF.



JIIDE 2017

VIII Jornadas Ibéricas de
**Infraestruturas
de Dados Espaciais**

Lisboa | 15 - 17 novembro 2017

V Trofeo de Fotointerpretación del Ejército del Aire

REVISTA **MAPPING**
Vol. 26, 185, 60-63
septiembre-octubre 2017
ISSN: 1131-9100

Escuadrón de enseñanza

El pasado 5 de octubre, se celebró en la Base Aérea de Cuatro Vientos el V Trofeo de Fotointerpretación del Ejército del Aire (TROFEA), organizado por el Escuadrón de Enseñanza del Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército del Aire (CECAF).

Participaron en el mismo diferentes Unidades del Ejército del Aire (CESAEROB, CECAF y ALA 12), del Ejército de Tierra (REGIMIENTO DE INFANTERÍA MECANIZADA SABOYA VI, BRIGADA PARACAIDISTA, CENTRO GEOGRÁFICO DEL EJERCITO y REGIMIENTO DE INTELIGENCIA NÚM 1), EMAD-CIFAS y personal de países amigos y aliados como los representantes del ALA TÁCTICA 51 de la LUFTWAFFE. Como quedó demostrado en el desarrollo del trofeo, todas estas Unidades disponen de personal muy cualificado y experimentado en materia de interpretación militar de imágenes aéreas (fotointerpretación).

El concurso tiene dos modalidades, individual y por equipos; La estructura del concurso se desglosa en tres tandas, las dos primeras de 30 preguntas cada una con imágenes aéreas electroópticas, infrarrojas, radar, satelitales y procedentes de plataformas aéreas no tripuladas y una tanda final fuera de concurso de imágenes aéreas curiosas en las que se invita a

participar a todos los asistentes.

Al igual que en ediciones pasadas, los ejes centrales sobre los que gira la celebración de este concurso son el desarrollo del entrenamiento específico del analista de imágenes, el intercambio de experiencias entre el personal militar y la industria del sector y una mayor comprensión de la labor del fotointérprete.

El término fotointérprete alude al personal cuyas tareas están específicamente orientadas al reconocimiento e identificación de materiales. Para ello cuenta con imágenes que provienen de sensores electroópticos que operan en la banda del espectro visible, del infrarrojo, multispectrales e incluso SAR (*Synthetic Aperture Radar*).

La información visual que proporcionan los sensores, depende de la tecnología del propio sensor, de la plataforma en la que va embarcado y de las condiciones meteorológicas y ambientales. Por tanto, aspectos clave como la formación, las técnicas de fotointerpretación, el adiestramiento, la experiencia y la capacidad visual son elementos esenciales en la forja de un buen fotointérprete.

La labor del fotointérprete es clave para dar apoyo tanto a las unidades operativas como a la ayuda en la toma de decisiones del Mando.



Figura 1. Imagen RADAR del aeropuerto de Asturias y alrededores



Figura 2. Imagen IR de una instalación industrial

V TROFEO DE FOTOINTERPRETACIÓN DEL EJÉRCITO DEL AIRE 2017



CENTRO CARTOGRÁFICO Y FOTOGRÁFICO
DEL EJÉRCITO DEL AIRE



TROFEA
2017

*V Trofeo de
Fotointerpretación
del Ejército del Aire*



Concurso de
identificación de
material militar

Modalidad individual o
por equipos (2 personas)

Puede participar personal
de los tres Ejércitos,
Fuerzas y Cuerpos de Segu-
ridad del Estado y personal
militar de otros países de
nuestro entorno geográfico

5 de octubre de 2017
en las instalaciones
del CECAF en la B.A. de
Cuatro Vientos (Madrid)

Patrocinado por:



Para más información:
cecaf_cdm@ea.mde.es

EL TROFEA ES EL NEXO DE UNIÓN DE TODOS LOS ANALISTAS DE
IMÁGENES DE LAS FUERZAS ARMADAS

El Concurso tiene la finalidad de alcanzar los siguientes objetivos:

- Adquirir entrenamiento específico en el área de fotointerpretación militar junto a profesionales militares de países aliados.
- Establecer un punto de encuentro de personal experto e intercambio de experiencias a nivel nacional e internacional.
- Mejor comprensión de la labor del fotointérprete y su repercusión en el ámbito internacional.
- Fomentar las relaciones entre las Fuerzas Armadas y la industria del sector.

Actuaron como empresas colaboradoras Revista MAPPING y SEBASDRON. MAPPING es una publicación técnico-científica de reconocido prestigio, con 26 años de historia que tiene como objetivo la difusión de las investigaciones, proyectos y trabajos que se realizan en el marco de las disciplinas que componen la Geomática aplicadas en el ámbito de las Ciencias de la Tierra, próximamente hará una edición especial sobre el CECAF. Por otro lado SEBASDRON, empresa especializada en trabajos aéreos fotogramétricos y escenarios 3D con el uso de drones, dio una conferencia que fue complementada con una

exposición estática de los mismos.

Tras las diferentes actividades programadas a lo largo de la jornada, tuvo lugar una copa de vino español en el Pabellón Histórico de la Base Aérea de Cuatro Vientos, presidido por el General de Brigada 2º Jefe del MAGEN Excmo. Sr. D. Lucas Manuel Muñoz Bronchales, quien efectuó la entrega de premios a los ganadores de esta quinta edición.

Primer Premio individual:

Sargento 1º D. Juan Manuel Berrocal Hernández,
(Regimiento de Infantería Mecanizada Saboya VI)

Segundo Premio individual:

Sargento 1º D. Raúl Rivilla Galache, (BRIPAC)

Primer Premio por equipos:

Sargento 1º D. Raúl Rivilla Galache, (BRIPAC)
Cabo Mayor D. Luis Antonio Miguel Rojo, (BRIPAC)

Segundo Premio por equipos:

Sargento 1º D. Roberto Carlos Delgado Martín, (CECAF)
Sargento D. Santiago Santos Lozano, (CECAF)



Figura 3. Imagen electroóptica de un asentamiento de misiles SA-300







1. Información general

MAPPING es una revista técnico-científica que tiene como objetivo la difusión y enseñanza de la Geomática aplicada a las Ciencias de la Tierra. Ello significa que su contenido debe tener como tema principal la Geomática, entendida como el conjunto de ciencias donde se integran los medios para la captura, tratamiento, análisis, interpretación, difusión y almacenamiento de información geográfica, y su utilización en el resto de Ciencias de la Tierra. Los trabajos deben tratar exclusivamente sobre asuntos relacionados con el objetivo y cobertura de la revista.

Los trabajos deben ser originales e inéditos y no deben estar siendo considerados en otra revista o haber sido publicados con anterioridad. MAPPING recibe artículos en español y en inglés. Independientemente del idioma, todos los artículos deben contener el título, resumen y palabras claves en español e inglés.

Todos los trabajos seleccionados serán revisados por los miembros del Consejo de Redacción mediante el proceso de «Revisión por pares doble ciego».

Los trabajos se publicarán en la revista en formato papel (ISSN: 1131-9100) y en formato electrónico (eISSN: 2340-6542).

Los autores son los únicos responsables sobre las opiniones y afirmaciones expresadas en los trabajos publicados.

2. Tipos de trabajos

- **Artículos de investigación.** Artículo original de investigaciones teóricas o experimentales. La extensión no podrá ser superior a 8000 palabras incluyendo resumen, tablas y figuras, con un máximo de 40 referencias bibliográficas. Cada tabla o figura será equivalente a 100 palabras. Tendrá la siguiente estructura: título, resumen, palabras clave, texto (introducción, material y método, resultados, discusión y conclusiones), agradecimientos y bibliografía.
- **Artículos de revisión.** Artículo detallado donde se describe y recopila los desarrollos más recientes o trabajos publicados sobre un determinado tema. La extensión no podrá superar las 5000 palabras, incluyendo resumen, tablas y figuras, con un máximo de 25 referencias bibliográficas.
- **Informe técnico.** Informe sobre proyectos, procesos, productos, desarrollos o herramientas que no supongan investigación propia, pero que sí muestren datos técnicos interesantes y relevantes. La extensión máxima será de 3000 palabras.

3. Formato del artículo

El formato del artículo se debe ceñir a las normas

expuestas a continuación. Se recomienda el uso de la plantilla «Plantilla Texto» y «Recomendaciones de estilo». Ambos documentos se pueden descargar en la web de la revista.

- A. Título.** El título de los trabajos debe escribirse en castellano e inglés y debe ser explícito y preciso, reflejando sin lugar a equívocos su contenido. Si es necesario se puede añadir un subtítulo separado por un punto. Evitar el uso de fórmulas, abreviaturas o acrónimos.
- B. Datos de contacto.** Se debe incluir el nombre y 2 apellidos, la dirección, el correo electrónico, el organismo o centro de trabajo. Para una comunicación fluida entre la dirección de la revista y las personas responsables de los trabajos se debe indicar la dirección completa y número de teléfono de la persona de contacto.
- C. Resumen.** El resumen debe ser en castellano e inglés con una extensión máxima de 200 palabras. Se debe describir de forma concisa los objetivos de la investigación, la metodología empleada, los resultados más destacados y las principales conclusiones.
- D. Palabras clave.** Se deben incluir de 5-10 palabras clave en castellano e inglés que identifiquen el contenido del trabajo para su inclusión en índices y bases de datos nacionales e internacionales. Se debe evitar términos demasiado generales que no permitan limitar adecuadamente la búsqueda.
- E. Texto del artículo de investigación.** La redacción debe ser clara y concisa con la extensión máxima indicada en el apartado «Tipos de trabajo». Todas las siglas citadas deben ser aclaradas en su significado. Para la numeración de los apartados y subapartados del artículo se deben utilizar cifras arábigas (1. Título apartado; 1.1. Título apartado; 1.1.1. Título apartado). La utilización de unidades de medida debe seguir la normativa del Sistema Internacional.

El contenido de los artículos de investigación puede dividirse en los siguientes apartados:

- **Introducción:** informa del propósito del trabajo, la importancia de éste y el conocimiento actual del tema, citando las contribuciones más relevantes en la materia. No se debe incluir datos o conclusiones del trabajo.
- **Material y método:** explica cómo se llevó a cabo la investigación, qué material se empleó, qué criterios se utilizaron para elegir el objeto del estudio y qué pasos se siguieron. Se debe describir la metodología empleada, la instrumentación y sistemática, tamaño de la muestra, métodos estadísticos y su justificación. Debe presentarse de la forma más conveniente para que el lector comprenda el desarrollo de la investigación.

- **Resultados:** pueden exponerse mediante texto, tablas y figuras de forma breve y clara y una sola vez. Se debe resaltar las observaciones más importantes. Los resultados se deben expresar sin emitir juicios de valor ni sacar conclusiones.
- **Discusión:** en este apartado se compara el estudio realizado con otros que se hayan llevado a cabo sobre el tema, siempre y cuando sean comparables. No se debe repetir con detalle los datos o materiales ya comentados en otros apartados. Se pueden incluir recomendaciones y sugerencias para investigaciones futuras.
En algunas ocasiones se realiza un único apartado de resultados y discusión en el que al mismo tiempo que se presentan los resultados se va discutiendo, comentando o comparando con otros estudios.
- **Conclusiones:** puede realizarse una numeración de las conclusiones o una recapitulación breve del contenido del artículo, con las contribuciones más importantes y posibles aplicaciones. No se trata de aportar nuevas ideas que no aparecen en apartados anteriores, sino recopilar lo indicado en los apartados de resultados y discusión.
- **Agradecimientos:** se recomienda a los autores indicar de forma explícita la fuente de financiación de la investigación. También se debe agradecer la colaboración de personas que hayan contribuido de forma sustancial al estudio, pero que no lleguen a tener la calificación de autor.
- **Bibliografía:** debe reducirse a la indispensable que tenga relación directa con el trabajo y que sean recientes, preferentemente que no sean superiores a 10 años, salvo que tengan una relevancia histórica o que ese trabajo o el autor del mismo sean un referente en ese campo. Deben evitarse los comentarios extensos sobre las referencias mencionadas.
Para citar fuentes bibliográficas en el texto y para elaborar la lista de referencias se debe utilizar el formato APA (*American Psychological Association*). Se debe indicar el DOI (*Digital Object Identifier*) de cada referencia si lo tuviera. Utilizar como modelo el documento «**Como citar bibliografía**» incluido en la web de la revista. La exactitud de las referencias bibliográficas es responsabilidad del autor.
- **Currículum:** se debe incluir un breve Currículum de cada uno de los autores lo más relacionado con el artículo presentado y con una extensión máxima de 200 palabras.

En los **artículos de revisión e informes técnicos** se debe incluir título, datos de contacto, resumen y palabras claves, quedando el resto de apartados a

consideración de los autores.

F. Tablas, figuras y fotografías. Se deben incluir solo tablas y figuras que sean realmente útiles, claras y representativas. Se deben numerar correlativamente según la cita en el texto. Cada figura debe tener su pie explicativo, indicándose el lugar aproximado de colocación de las mismas. Las tablas y figuras se deben enviar en archivos aparte, a ser posible en fichero comprimido. Las fotografías deben enviarse en formato JPEG o TIFF, las gráficas en EPS o PDF y las tablas en Word, Excel u Open Office. Las fotografías y figuras deben ser diseñadas con una resolución mínima de 300 pixel por pulgada (ppp).

G. Fórmulas y expresiones matemáticas. Debe perseguirse la máxima claridad de escritura, procurando emplear las formas más reducidas o que ocupen menos espacio. En el texto se deben numerar entre corchetes. Utilizar editores de fórmulas o incluirlas como imagen.

4. Envío

Los trabajos originales se deben remitir preferentemente a través de la página web <http://www.mappinginteractivo.es> en el apartado «**Envío de artículos**», o mediante correo electrónico a info@mappinginteractivo.es. El formato de los archivos puede ser Microsoft Word u Open Office y las figuras vendrán numeradas en un archivo comprimido aparte.

Se debe enviar además una copia en formato PDF con las figuras, tablas y fórmulas insertadas en el lugar más idóneo.

5. Proceso editorial y aceptación

Los artículos recibidos serán sometidos al Consejo de Redacción mediante «**Revisión por pares doble ciego**» y siguiendo el protocolo establecido en el documento «**Modelo de revisión de evaluadores**» que se puede consultar en la web.

El resultado de la evaluación será comunicado a los autores manteniendo el anonimato del revisor. Los trabajos que sean revisados y considerados para su publicación previa modificación, deben ser devueltos en un plazo de 30 días naturales, tanto si se solicitan correcciones menores como mayores.

La dirección de la revista se reserva el derecho de aceptar o rechazar los artículos para su publicación, así como el introducir modificaciones de estilo comprometiéndose a respetar el contenido original.

Se entregará a todos los autores, dentro del territorio nacional, la revista en formato PDF mediante enlace descargable y 1 ejemplar en formato papel. A los autores de fuera de España se les enviará la revista completa en formato electrónico mediante enlace descargable.

Suscripción a la revista MAPPING

Subscriptions and orders

Datos del suscriptor / Customer details:

Nombre y Apellidos / Name and Surname: _____
Razón Social / Company or Institution name: _____ NIF-CIF / VAT Number: _____
Dirección / Street address: _____ CP / Postal Code: _____
Localidad / Town, City: _____ Provincia / Province: _____
País - Estado / Country - State: _____ Teléfono / Phone: _____
Móvil / Mobile: _____ Fax / Fax: _____
e-mail: _____ Fecha / Order date: ____/____/____

PAPEL

SUSCRIPCIÓN ANUAL / SUBSCRIPTION:

- España / Spain : 60€
- Europa / Europe: 90€
- Resto de Países / International: 120€

Precios de suscripción por año completo 2017 (6 números por año) *Prices year 2017 (6 issues per year)*

NÚMEROS SUELTOS / SEPARATE ISSUES:

- España / Spain : 15€
- Europa / Europe: 22€
- Resto de Países / International: 35€

Los anteriores precios incluyen el IVA. Solamente para España y países de la UE *The above prices include TAX Only Spain and EU countries*

DIGITAL

SUSCRIPCIÓN ANUAL / ANNUAL SUBSCRIPTION:

- Internacional / International : 25€

Precios de suscripción por año completo 2017 (6 números por año) en formato DIGITAL y enviado por correo electrónico / *Prices year 2017 (6 issues per year)*

NÚMEROS SUELTOS / SEPARATE ISSUES:

- Internacional / International : 8€

Los anteriores precios incluyen el IVA. Solamente para España y países de la UE *The above prices include TAX Only Spain and EU countries*

Forma de pago / Payment:

Transferencia a favor de eGeoMapping S.L. al número de cuenta CAIXABANK, S.A.:

2100-1578-31-0200249757

Bank transfer in favor of eGeoMapping S.L., with CAIXABANK, S.A.:

IBAN nº: ES83-2100-1578-3102-0024-9757 (SWIFT CODE: CAIXAESBXXX)

Distribución y venta / Distribution and sale:

Departamento de Publicaciones de eGeoMapping S.L.

C/ Linneo 37. 1ºB. Escalera central. 28005-Madrid

Tels: (+34) 91 006 72 23; (+34) 655 95 98 69

e-mail: info@mappinginteractivo.es

www.mappinginteractivo.es

Firma _____

CONTIGO TODO EL CAMINO



PLANIFICACIÓN > PROSPECCIÓN > DISEÑO > ORGANIZACIÓN > EJECUCIÓN > INSPECCIÓN

Sea cual sea el tipo de proyecto, el tamaño de su empresa o la aplicación específica, ponemos a su disposición una amplia gama de soluciones de medición y posicionamiento de precisión para satisfacer sus necesidades.

Descubra lo que otros profesionales como usted están logrando con la tecnología de Topcon.

topconpositioning.com/es-es/insights

MINISTERIO DE FOMENTO
INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL
CENTRO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

cartografía digital



Oficina central y comercialización:
General Ibáñez de Ibero, 3 • 28003 MADRID
Teléfono: +34 91 597 94 53 • Fax: +34 91 553 29 13
e-mail: consulta@cnig.es

CENTRO DE DESCARGAS DE DATOS

<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

BASE CARTOGRÁFICA NUMÉRICA (BCN 1000, 50, 200, 25),

MAPA TOPOGRÁFICO NACIONAL (MTN50,25),

MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT1000, 200, 25),

LÍNEAS LÍMITE, BASE DE DATOS DE POBLACIÓN, MAPA DE USOS DEL SUELO,
ATLAS NACIONAL DE ESPAÑA, CARTOGRAFÍA TEMÁTICA.