

Resumen

El transporte aéreo de pasajeros o mercancías es un sector en continuo crecimiento y fundamental en la economía. Europa concentra más de la cuarta parte del tráfico mundial de pasajeros. Para la gestión del transporte aéreo se requiere de una información geoespacial precisa y accesible. La información geoespacial aeronáutica es un elemento esencial en la planificación y seguridad de la navegación aérea. La gestión y distribución de la información aérea es responsabilidad de los Estados. Depende de la normativa internacional publicada por organismos como OACI. La información geoespacial para la navegación no es estática. Puede variar debido a factores como la meteorología, la densidad del tráfico aéreo, la categoría de la aeronave, características del aeropuerto, las restricciones de espacios aéreos, la orografía, los obstáculos del terreno, etc.

Los datos aeronáuticos están presentes en todas las fases del vuelo de las aeronaves, desde el despegue hasta el aterrizaje y estacionamiento. En particular, es durante esta fase del vuelo cuando la información aeronáutica es crítica, ya que en ellas se concentran el mayor porcentaje de incidencias y accidentes aéreos.

Abstract

The air transportation of passengers or merchandise is a sector in continuous growth and fundamental in the economy. Europe concentrates more than a quarter of the world's passenger traffic. Precise and accessible geospatial information is required for air transport management. Aeronautical geospatial information is an essential element in the planning and safety of air navigation. Management and distribution of aerial information national responsibility. It depends on the international regulations published by organizations such as ICAO.

Geospatial information for navigation is not static. It may vary due to factors such as meteorology, air traffic density, aircraft category, airport characteristics, airspace restrictions, orography, terrain obstacles, etc.

Aeronautical data is present in all phases of the flight of the aircraft, from takeoff to landing and parking. In particular, it is during these phases of the flight that aeronautical information is critical, since it is where the highest percentage of incidents and air accidents is concentrated.

Palabras clave: OACI, IGN, ENAIRE, CECAF, STANAG, Ejército del Aire, INSPIRE, transporte, navegación aérea, cartografía aeronáutica.

Keywords: OACI, IGN, ENAIRE, CECAF, STANAG, Spanish Air Force, INSPIRE, transport, aeronautical navigation, aeronautical chart.

1. INTRODUCCIÓN

Vuelo IB-610 con despegue a las 7:47 del Aeropuerto de Madrid Barajas y destino Bilbao, aeropuerto de Sondika. La siguiente conversación queda grabada en la caja negra del avión a las 8:17:

IB-610 «Vamos a hacer la maniobra estándar»

TWR «Recibido. Notifique pasando el VOR»

TWR: «siete mil pies sobre el VOR, Iberia seis uno cero iniciando maniobra».

IB-610 «Señores pasajeros, abróchense los cinturones»

Cuando la aeronave inicia las maniobras de aproximación al aeropuerto de Sondika, se interrumpen las comunicaciones entre el Boeing 727-256, con cinco

años de antigüedad, y la torre de control. Eran las 8:27, martes de carnaval de 1985.

Un accidente aéreo se produce por la concatenación de errores y fallos. Aquel 19 de febrero la visibilidad era mínima en las proximidades del aeropuerto de Bilbao. Una densa niebla cubría el área de aproximación al aeropuerto. Según las investigaciones de la Comisión de Investigación de Accidentes de Aviación Civil, hubo también una mala interpretación del altímetro, por lo que se voló por debajo de los mínimos para la aproximación.

El ala izquierda y parte inferior del fuselaje de la aeronave golpearon una antena de televisión situada en el Monte Oiz (1025 m) en Vizcaya, a unos 26 kilómetros de distancia de Sondika. Tras el impacto con la antena, el Boeing 727 pierde el ala izquierda y 900 metros después se precipita en la ladera noreste del monte, a más de 300 kilómetros por hora. Los 141 pasajeros y 7 tripulantes fallecieron en el accidente.

Una antena de televisión de 52 metros, situada en la senda de aproximación de un aeropuerto, es información aeronáutica. Se denomina «obstáculo para la navegación aérea». La antena de televisión del Monte Oiz no estaba representada en las cartas de navegación



Figura 1. Situación Monte Oiz y Aeropuerto de Bilbao (Fuente Iberpix)



Figura 2. Antena de televisión en el monte Oiz tras el impacto (Fuente Ministerio de Fomento)



Figura 3. Trayectoria de la aeronave sobre el Monte Oiz (Fuente Ministerio de Fomento)

ción el día del accidente. La antena era un obstáculo determinante para calcular la altitud de seguridad del área de protección de la maniobra de aproximación.

En el siguiente artículo se darán a conocer aquellos organismos responsables de la información aeronáutica y la normativa de referencia. Respecto a la información geoespacial aeronáutica, se citarán aplicaciones de la misma y se señalarán aquellos aspectos que la caracterizan.

2. LOS ANTECEDENTES

Los primeros vuelos con aviones (hermanos Wilbur y Orville Wright el 17 de diciembre de 1903) y la creación de la normativa y organizaciones internacionales para el uso y gestión del espacio aéreo, se desarrollan durante el siglo XX

En 1944, poco antes del final de la Segunda Guerra Mundial, se reúnen en Chicago representantes de 52 Estados. El objetivo, promovido por Estados Unidos, era el de normalizar las reglas de navegación aérea, un sector que había logrado un gran avance tecnológico en los últimos años. Se establece el Convenio sobre Aviación Civil Internacional o Convenio de Chicago. Es el origen de la agencia de la ONU denominada Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

3. ORGANISMOS EN LA GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN AERONÁUTICA

OACI es la principal fuente de normativa en relación con la navegación aérea. Sus definiciones, usos y normas se desarrollan en 18 anexos. La normativa relevante en relación con la información geoespacial, se recoge en el anexo 4 de Cartas Aeronáuticas, el anexo 6 sobre Operación de Aeronaves y el anexo 15 sobre Servicios de Información Aeronáutica o *Aeronautical Information Service* (AIS). Es también un documento de referencia de OACI, el Doc. PANS-OPS 8168 para operaciones aéreas. Se definen en él las reglas para el diseño de procedimientos instrumentales para la llegada y salida a aeropuertos.

En el del Convenio de Chicago se indica que un estado es soberano sobre su espacio aéreo, aunque está permitido que aeronaves civiles de otros estados puedan sobrevolar y realizar escalas técnicas.

También un estado es responsables de la infor-

mación aeronáutica, su veracidad, integridad, gestión y distribución. En España, la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA), perteneciente al Ministerio de Fomento, así como la entidad pública empresarial ENAIRE, son los organismos con responsabilidad en la gestión del tráfico aéreo, donde se incluye la gestión de la información aeronáutica.

Agencias como *European Aviation Safety Agency* (EASA) de la UE y EUROCONTROL son también entidades reguladoras de información aeronáutica en Europa en el marco de la UE, la red de transporte aéreo pertenece al Anexo 1, conjunto de datos de red de transporte de la Directiva INSPIRE.

Las operaciones aéreas de aeronaves militares cumplen con la normativa de las organizaciones y agencias citadas y del Reglamento de Circulación Aérea. Además, por sus peculiaridades, adoptan también la normativa que genera el Ministerio de Defensa y la OTAN para vuelos militares.

Los 29 países pertenecientes a la OTAN (21 de ellos pertenecen también a la UE), deciden, de forma soberana, la ratificación e implantación de normas de estandarización, denominadas STANAG. En general, los STANAG están coordinados con los estándares y normativa de organizaciones como OGC, OACI e INSPIRE de la UE. Se suelen añadir a los STANAG atributos relacionados con la clasificación de la información.

España cuenta con 59 aeropuertos, 38 de uso civil, 8 de uso militar y 13 de uso conjunto. La coordinación entre el Ministerio de Fomento y Ministerio de Defensa en todo lo relativo a los aeropuertos y espacio aéreo de España, se lleva a cabo en la Comisión Interministerial Defensa Fomento (CIDFEO). Corresponde al Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército del Aire (CECAF) el diseño y certificación de los procedimientos de salida y llegada a los aeropuertos conjuntos y militares.

3.1. EL CECAF

El Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército del Aire (CECAF), perteneciente al Ejército del Aire, tiene sus instalaciones en la Base Aérea de Cuatro Vientos (Jefatura, Cartografía, Escuela, Apoyo) y en la Base Aérea de Getafe (Fuerzas Aéreas).

Entre los cometidos relacionados con la información aeronáutica están la producción de cartas para la navegación, estudio de servidumbres aeronáuticas y el diseño y evaluación de procedimientos de salida y llegada a los aeropuertos conjuntos y militares de España.

Los productos geoespaciales aeronáuticos publicados por el CECAF cumplen con la normativa y requerimientos definidos por organismos internacionales.



Figura 4. Medios aéreos del CECAF para fotografía e inspección de procedimientos instrumentales

les, tanto civiles como militares, así como las normas, reales decretos y leyes de nuestro país.

La cartografía producida en el CECAF es coordinada con la producida por otros organismos de la Administración General del Estado por el Plan Cartográfico Nacional y Plan Cartográfico de las Fuerzas Armadas.

El CECAF participa en grupos de trabajo de la OTAN relacionados con la información geoespacial. Estos grupos son el *Joint Geospatial Standards Working Group (JGSWG)*, *Geospatial Aeronautics Working Group (GAWG)*, *Airfield Services Procedures Panel (ASPP)*, *Military Instrument Procedures Standardization Team (MIPST)*.

El grupo de trabajo JOINT GEOSPATIAL STANDARDS (JGSWG) es el encargado de publicar los estándares OTAN, denominados STANAG en el dominio geoespacial. Los más significativos son el 2592, NATO GEOSPATIAL INFORMATION FRAMEWORK (NGIF), el 2586, NATO GEOSPATIAL METADATA PROFILE y el 6523, DEFENCE GEOSPATIAL WEB SERVICES.

4. APLICACIONES

Los datos crean información, y la información aeronáutica se materializa en productos como cartas de navegación o en información necesaria para la gestión del tráfico aéreo.

4.1. CARTAS PARA LA NAVEGACIÓN AÉREA

Las cartas aeronáuticas en papel o formato digital, tienen unas características comunes y diferenciadoras de otros mapas temáticos.

Las proyecciones en las cartas de navegación son conformes, conservan los rumbos. Su origen y finalidad son las mismas que ideó Gerardus Mercator con su proyección cartográfica.

La proyección Mercator, junto con la Cónica Conforme de Lambert, son proyecciones cartográficas habituales en el dominio aeronáutico. Las aerovías, o rutas con rumbo determinado que siguen las aeronaves, se representan como líneas rectas en la proyección Mercator, tal como aparecen las rutas de los navegantes desde el siglo XVI.

Si bien es cierto que rutas loxodrómicas no son el camino más corto para desplazarse, navegar por ellas es relativamente sencillo. Para la planificación de vuelos de larga distancia, se usarán líneas ortodrómicas o combinación de rutas loxodrómicas que permiten un ahorro de costes y tiempo en dichos vuelos.

Con los sistemas GNSS y los avances en la aeronáutica, las aeronaves ya no se ven sujetas a seguir rumbos de aerovías. Se asignan aquellas rutas que optimizan el tráfico aéreo. Surge así el concepto de navegación basada en capacidades o *performance-based navigation (PBN)*.

Las escalas de las cartas aeronáuticas, debido a la



Figura 5. Carta Low Flying Chart (LFC) 1:500.000 para vuelo visual. (Fuente CECAF)

velocidad del medio aéreo, son pequeñas si se comparan con cartografía de uso para el transporte terrestre o marítimo. La normativa internacional requiere de cartas con escalas 1:250.000, 1:500.000 para vuelos en modo visual y escalas 1:1.000.000 y 1:2.000.000 para vuelos instrumentales.

Las escalas en un vuelo irán modificándose según las distintas fases del mismo. En las fases de despegue y aterrizaje se usaran fichas del manual de piloto con escala grande; la escala irá disminuyendo hasta 1:2.000.000 cuando el vuelo sea de tipo instrumental.

En las cartas instrumentales con escala 1:2.000.000, los elementos geográficos son casi inexistentes, representándose casi exclusivamente información aeronáutica.

En escalas cuya principal utilidad es el vuelo en

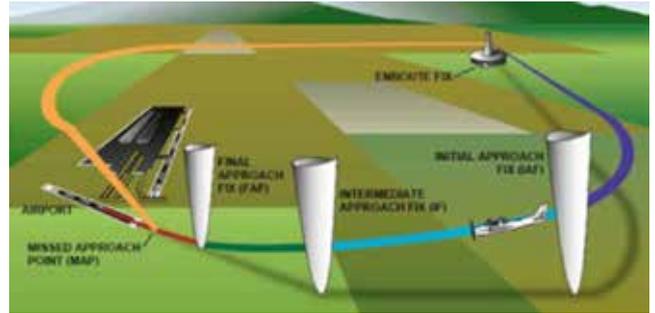


Figura 7. Fases de aproximación instrumental a un aeropuerto. (Fuente <https://skybrary.aero>)

modo visual (1:250.000 y 1:500.000) adquieren especial importancia elementos geográficos que constituyen tanto un elemento de riesgo para la navegación como una referencia para la misma.

El manual del piloto es la publicación en la que, de forma esquemática, se representan las maniobras que el piloto realiza para aterrizar y despegar. Tiene la dificultad de representar en dos dimensiones información sobre perfiles, tiempos de espera, maniobras frustradas y ángulos de aproximación. La información representada depende de variables como la orografía, obstáculos, longitud de la pista, radioayudas disponibles, y de variables dinámicas como la categoría del avión y del aeropuerto. La categoría es una variable que dependerá del avión, siendo habituales la I, II y III. Cuanto mayor es la categoría, más capacidad tiene el avión para aterrizar con requerimientos más restrictivos.

4.2. CONTROL AÉREO, SISTEMAS DE NAVEGACIÓN

Quizás la aplicación más importante de la información aeronáutica es la de uso en los sistemas de mando y control que gestionan el tráfico aéreo y la de la carga de la información en los sistemas de planificación de vuelo de las aeronaves.

La cantidad y complejidad de datos aeronáuticos y variables que afectan a la planificación de un vuelo (meteorología, capacidades de la aeronave, los medios disponibles en aeropuertos de salida y destino, etc.), implica que la gestión del tráfico aéreo y la planificación de los vuelos sea llevada a cabo por medios informáticos.

Son elementos habituales, para la carga en los sistemas de navegación de las aeronaves, los modelos digitales del terreno, base

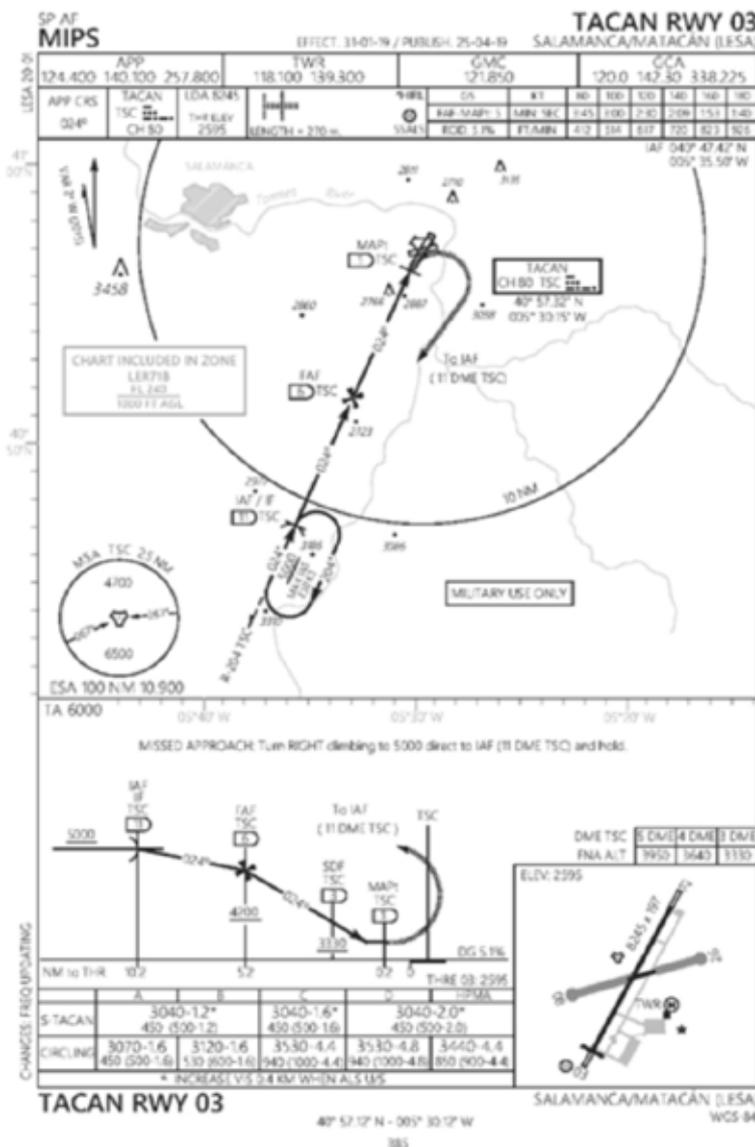


Figura 6. Ficha aeropuerto de Matacán, Salamanca (Fuente CECAF)

de datos de obstáculos, espacios aéreos protegidos, información de radioayudas, puntos de notificación y en general toda la información aeronáutica de utilidad para el vuelo.

5. ELEMENTOS SIGNIFICATIVOS DE LA INFORMACIÓN AERONÁUTICA

5.1. TERMINOLOGÍA

Los conceptos y terminología de la navegación aérea provienen de los primeros navegantes en el medio marino. Los usos y finalidades de las cartas aeronáuticas y los sistemas de gestión del tráfico aéreo son los mismos que necesitaban los navegantes que surcaban los mares cuando perdían de vista la costa.

Los actuales sistemas de navegación aérea tienen su origen en los instrumentos que han usado los navegantes de todos los tiempos: brújula, astrolabio, sonda, sextante y relojes para situar la longitud en las cartas náuticas. También las unidades de medidas, el uso de las principales proyecciones cartográficas o la terminología en el medio aéreo, son comunes en ambos medios, el marino y el aéreo.

5.2. EL PROCESO CARTOGRÁFICO, SISTEMAS DE REFERENCIA.

El proceso de elaboración de cartas aeronáuticas es similar a cualquier otro proceso de producción cartográfica. Se utilizan sistemas de información geográficos (GIS), herramientas de gestión de la información geoespacial y programas para la edición, generalización y etiquetado de los mapas.

La cartografía aeronáutica pertenece a la categoría de la cartografía temática. La información aeronáutica, junto con aquellas entidades geográficas significativas para la navegación, adquieren mayor relevancia en una carta para la navegación aérea.

La cartografía aeronáutica puede abarcar grandes extensiones de terreno, y es habitual que su cobertura pueda incluir países limítrofes y que pertenezcan a distintos continentes. Ello hace necesario el uso de

un único y común sistema geodésico de referencia geocéntrico. En el dominio aeronáutico, este sistema geodésico es WGS84.

En relación con el datum vertical, aspecto fundamental en la navegación aérea, se usará el oficial de cada país. Allí donde no se disponga de esta información, se deducirá de modelos como EGM2008.

Otra peculiaridad en el dominio aeronáutico es que la referencia de altura de vuelo no siempre es determinada por el nivel del mar o del terreno. Se usa como referencia la presión atmosférica a nivel del mar, unos 1 013,25 hPa. Las aeronaves cuentan con barómetros para medir la presión atmosférica (la presión atmosférica disminuye con la altura). Hoy en día, los sistemas GNSS, sistemas inerciales junto con modelos digitales del terreno y de superficie, proporcionan otra referencia más de altura a los aviones respecto de la superficie.

En las cartas aeronáuticas la simbología y edición de los datos, para que sean legibles e interpretables, adquieren especial importancia. Se usan con colores determinados por normativa, que en general serán rojo y azul. Para cartas aeronáuticas cuyo objetivo es el vuelo visual, se incluyen además las tintas hipsométricas y sombreado para realzar la sensación de relieve en las zonas montañosas. Se trata de que los tripulantes identifiquen el terreno y elementos peligrosos durante el vuelo.

5.3. UNIDADES

Aunque oficialmente las unidades de medida son las del Sistema Internacional (SI), son de uso exten-

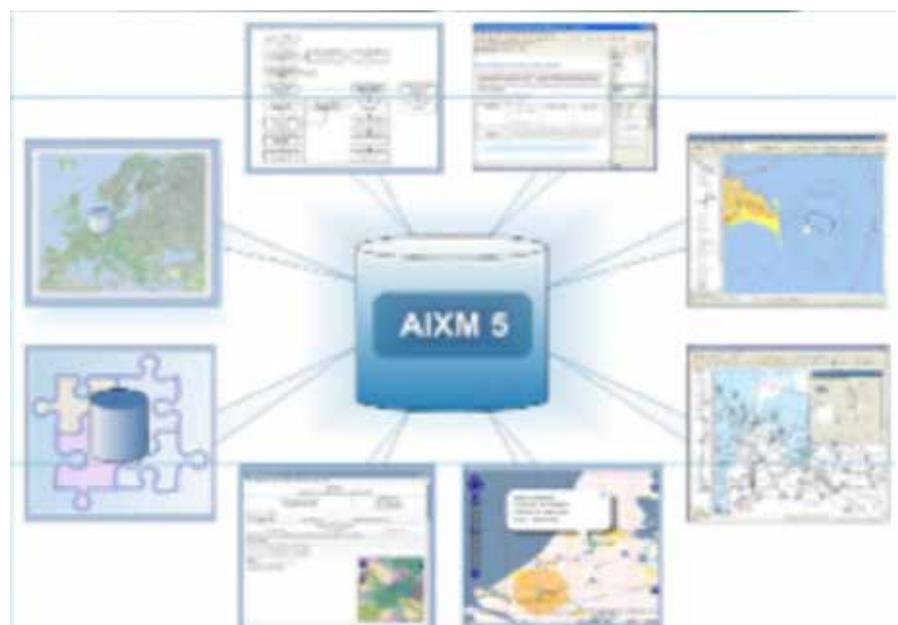


Figura 8. AIXM modelo de datos aeronáuticos. (Fuente <http://www.aixm.aero>)

didado las del sistema anglosajón, con origen en la navegación marítima. La unidad para medir longitudes es el minuto de círculo máximo, la milla náutica (NM). Una NM equivale a 1852 m. El uso de pies (ft) es habitual para indicar la altura de vuelo y también para representar en las cartas las longitudes de las pistas de aterrizaje (1 pie equivalente a 30,48 cm).

La velocidad se mide en nudos (kt). Un nudo es una milla por hora, esto es, 1 852 m por hora. El término nudo tiene su origen en las cuerdas con nudos a distancias regulares y usadas por los marinos, junto con un reloj de arena, para medir la velocidad de los barcos.

5.4. ESTRUCTURA DE LOS DATOS

Los datos aeronáuticos se gestionan en base de datos, con la característica de que estos disponen de un modelo conceptual propio. Aunque no es el único, el modelo que actualmente se impone es el *Aeronautical Information Exchange Model* (AIXM).

El modelo AIXM es usado además como modelo de intercambio de datos y servicios aeronáuticos. AIXM está basado en *Geography Markup Language* (GML) y es el estándar de facto reconocido por organismos como EUTROCONTROL, *Federal Aviation Administration* (FAA) y la *National Geospatial Intelligence Agency* (NGA) de Estados Unidos.

5.5. TEMPORALIDAD, PUBLICACIONES

La información aeronáutica se distribuye en un documento denominado *Aeronautical Information Publication* (AIP), con actualizaciones periódicas cada 28 días. Este espacio de tiempo se denomina ciclo AIRAC y determinan la vigencia de un dato. Un ciclo AIRAC empieza siempre en jueves, y un año tiene trece ciclos AIRAC.

Para cambios de información aeronáutica que, por su inmediatez o por ser inesperados, no se ajusten a los ciclos AIRAC, las autoridades aéreas publican los denominados NOTAM o *Notices to Airmen*. Sería, por



Figura 9. Carta de navegación instrumental 1:2.000.000 del CECAF. Observe que la información geográfica representada se limita al contorno de la costa.

ejemplo, el aviso de cierre de un aeropuerto por meteorología adversa o el levantamiento de una grúa de forma temporal en las proximidades de una instalación aeroportuaria.

5.6. PRECISIÓN DE LOS DATOS

Cualquier dato que se refiera a una medida está sujeto a errores, ya sean sistemáticos o aleatorios. En el dominio geoespacial aeronáutico, el atributo que indica la precisión de las medidas de un elemento viene determinado por las consecuencias de un mal posicionamiento del mismo. Así, según el Anexo 4 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional, los datos aeronáuticos se clasifican de acuerdo con su integridad en:

- Datos ordinarios: muy baja probabilidad de que, utilizando datos ordinarios alterados, la continuación segura del vuelo y el aterrizaje de una aeronave corran riesgos graves que puedan originar una catástrofe.
- Datos esenciales: baja probabilidad de que, utili-

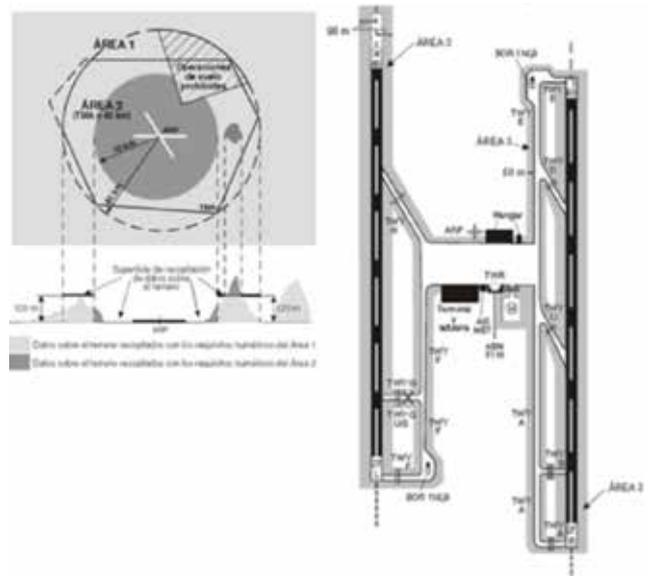


Figura 10. Áreas 1, 2, 3 para obstáculos. Fuente OACI Anexo 15.

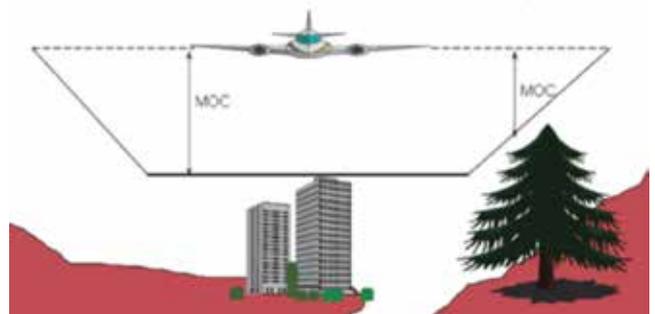


Figura 11. Márgenes de seguridad en vuelo MOC. (Fuente UPM)

zando datos esenciales alterados, la continuación segura del vuelo y el aterrizaje de una aeronave corren riesgos graves que puedan originar una catástrofe.

- Datos críticos: alta probabilidad de que, utilizando datos críticos alterados, la continuación segura del vuelo y el aterrizaje de una aeronave corran riesgos graves que puedan originar una catástrofe.

5.7. ELEMENTOS DIFERENCIADORES

Información aeronáutica representada en una carta aeronáutica es, en su mayoría, abstracta. Espacios aéreos protegidos o controlados como los FIR, TMA, CTA, TSA, aerovías, puntos de notificación, donde el piloto transmite su posición a los controladores, es información abstracta y definida por coordenadas y alturas de manera precisa.

Las aerovías son segmentos identificados por su rumbo, altura, punto de inicio y final. Son líneas loxodrómicas. Las aerovías pueden ser de un único sentido o de doble sentido. En estas últimas, las aeronaves usan distintos niveles de vuelo para evitar colisiones.

Elementos habitualmente representados en las cartas aeronáuticas son aeropuertos, pistas, radioayudas, límites de espacio aéreo, puntos de notificación, aerovías, obstáculos etc.

Los aeropuertos se representan con sus pistas de aterrizaje, con su longitud, rumbo, y material con el que está hecho el pavimento (asfalto, hormigón, macadam, grava, etc.)

Las radioayudas son sistemas que emiten señales electromagnéticas. Según el tipo de radioayuda, su emisión indica a la aeronave el rumbo y distancia. Las radioayudas más habituales son el VOR, DME, NDB y TACAN para uso de aeronaves militares.

Uno de los elementos críticos en los sistemas de navegación son los obstáculos. Un obstáculo para la navegación aérea lo es por su situación y altura, cuando supone un peligro. OACI determina áreas disjuntas y definidas respecto de una instalación aeroportuaria. Existen áreas 1, 2 y 3. El área 3 es la más cercana a la pista del aeropuerto. En ella, los obstáculos son datos críticos.

En el área 1, la más alejada de los aeropuertos, son obstáculos aquellos que tienen más de 100 metros respecto del terreno. En España, es habitual que estos coincidan con aerogeneradores.

En general, los obstáculos se representan en color rojo en las cartas aeronáuticas. También se representan su elevación respecto del nivel del mar y sobre el terreno, *Mean Sea Level* (MSL) y *Above Ground Level* (AGL) respectivamente.

6. CONCLUSIONES

La cartografía aeronáutica tiene su origen en la cartografía náutica, de la que adquiere elementos tan significativos como las proyecciones, terminología y unidades de medida.

En las cartas para la navegación aérea, las entidades geoespaciales aeronáuticas adquieren especial significación, y su representación, simbología e interpretación convierten a la cartografía aeronáutica en una cartografía temática con entidad propia.

Respecto a la información aeronáutica, los Estados son responsables de la integridad y calidad de dicha información, de su publicación, difusión y actualización. El CECAF es el Centro productor de cartografía temática aeronáutica. Son de aplicación en su producción las normas y directrices del Plan Cartográfico Nacional y de las Fuerzas Armadas y de organismos internacionales como OACI o la OTAN

AGRADECIMIENTOS

A mis compañeros del CECAF por su apoyo en la elaboración de este y otros muchos trabajos y a la comunidad IDE como ejemplo y referencia de interoperabilidad.

REFERENCIAS

- OACI. (julio de 2016). ANEXO 11 al Convenio sobre Aviación Civil: Servicios de tránsito aéreo.
- OACI. (julio de 2016). ANEXO 14 al Convenio sobre Aviación Civil: Aeródromos.
- OACI. (julio de 2016). ANEXO 15 al Convenio sobre Aviación Civil: Servicios de información aeronáutica.
- Ministerio de Fomento. https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/pdf/6D834A8D-FEF6-45A2-880A-B5099F1C-B968/13042/1985_009_A.pdf

Sobre el autor

Comandante D. Miguel Ángel Zazo González

Jefe del Escuadrón de Cartografía del CECAF. Es Licenciado en Matemáticas, Diplomado en Estadística e Ingeniero en Informática de Sistemas. Posee un Máster de Estadística y título de especialización de Cartografía del Ejército del Aire para Oficiales. En la actualidad es el Secretario en el componente nacional del grupo de trabajo de la OTAN JGSWG.