



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,  
Canales y Puertos

Comparación y futuros desarrollos de sistemas de  
posicionamiento de navegación aérea

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Sistemas Inteligentes de Transporte

AUTOR/A: Sanchis Marco, Francisco Javier

Tutor/a: Balbastre Tejedor, Juan Vicente

CURSO ACADÉMICO: 2024/2025



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,  
Canales y Puertos

Comparación y futuros desarrollos de sistemas de  
posicionamiento de navegación aérea

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Sistemas Inteligentes de Transporte

AUTOR: Sanchis Marco, Francisco Javier

TUTOR: Balbastre Tejedor, Juan Vicente

CURSO ACADÉMICO: 2024 - 2025

## Índice

|              |                                                                                |           |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|              | <b>Introducción</b>                                                            | <b>3</b>  |
| <b>1</b>     | <b>Objeto del trabajo</b>                                                      | <b>4</b>  |
| <b>2</b>     | <b>Organizaciones de la Aviación Civil</b>                                     | <b>6</b>  |
| <b>2.1</b>   | <b>OACI. Organización de la Aviación Civil Internacional</b>                   | <b>6</b>  |
| <b>2.2</b>   | <b>EASA. European Union Aviation Safety Agency</b>                             | <b>7</b>  |
| <b>2.3</b>   | <b>EUROCONTROL. European Organisation for the Safety of Air Navigation</b>     | <b>8</b>  |
| <b>2.4</b>   | <b>EUROCAE. European Organisation for Civil Aviation Equipment</b>             | <b>9</b>  |
| <b>2.5</b>   | <b>AESA. Agencia Estatal de Seguridad Aérea</b>                                | <b>9</b>  |
| <b>2.6</b>   | <b>AENA. Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea</b>                          | <b>10</b> |
| <b>2.7</b>   | <b>ENAIRE Entidad Pública Empresarial</b>                                      | <b>11</b> |
| <b>2.8</b>   | <b>FAA. Federal Aviation Administration</b>                                    | <b>12</b> |
| <b>2.9</b>   | <b>RTCA. Radio Technical Commission for Aeronautics</b>                        | <b>12</b> |
| <b>2.10</b>  | <b>Resumen de las Organizaciones de la Aviación Civil</b>                      | <b>13</b> |
| <b>3</b>     | <b>Estado del arte de la vigilancia y la navegación aérea</b>                  | <b>14</b> |
| <b>3.1</b>   | <b>El estado del arte en los orígenes de la aviación</b>                       | <b>14</b> |
| <b>3.2</b>   | <b>El estado del arte de los primeros medios de navegación aérea</b>           | <b>14</b> |
| <b>3.3</b>   | <b>El estado del arte de los medios de navegación aérea convencionales</b>     | <b>17</b> |
| <b>3.3.1</b> | <b>VOR, Very High Frequency Omnidirectional Range</b>                          | <b>22</b> |
| <b>3.3.2</b> | <b>DME, Distance Measuring Equipment</b>                                       | <b>22</b> |
| <b>3.3.3</b> | <b>NDB, Non Directional Beacon</b>                                             | <b>23</b> |
| <b>3.3.4</b> | <b>ILS, Instrument Landing System</b>                                          | <b>23</b> |
| <b>3.3.5</b> | <b>MLS, Microwave Landing System.</b>                                          | <b>24</b> |
| <b>3.4</b>   | <b>La altitud de presión. Presión atmosférica. Atmósfera ISA</b>               | <b>25</b> |
| <b>4</b>     | <b>Espacio aéreo</b>                                                           | <b>28</b> |
| <b>4.1</b>   | <b>Espacios aéreos controlados, A, B, C, D, y E, y no controlados, F, y G.</b> | <b>31</b> |
| <b>4.2</b>   | <b>Estructuras del espacio aéreo. AWY, CTA, TMA, CTR, ATZ</b>                  | <b>31</b> |
| <b>4.3</b>   | <b>Cartas de navegación aérea. AIP. ENAIRE</b>                                 | <b>33</b> |
| <b>4.4</b>   | <b>Plan de Vuelo. Tracks. Waypoints</b>                                        | <b>36</b> |
| <b>5</b>     | <b>Cielo único europeo. SESAR. ASTERIX</b>                                     | <b>39</b> |
| <b>5.1</b>   | <b>Cielo único europeo. Single European Sky</b>                                | <b>39</b> |
| <b>5.2</b>   | <b>SESAR</b>                                                                   | <b>40</b> |
| <b>5.3</b>   | <b>ASTERIX</b>                                                                 | <b>40</b> |

|              |                                                                                                                                                                                                      |            |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>6</b>     | <b>Tecnología de antenas, Radar, y comunicaciones aeronáuticas</b>                                                                                                                                   | <b>41</b>  |
| <b>7</b>     | <b>Los nuevos sistemas de nueva generación de vigilancia y navegación aérea. Radar Primario PSR. Radar Secundario SSR. Vigilancia Dependiente Automática por Difusión ADS-B. Multilateración WAM</b> | <b>44</b>  |
| <b>7.1</b>   | <b>Definiciones</b>                                                                                                                                                                                  | <b>44</b>  |
| <b>7.2</b>   | <b>Cadena de vigilancia</b>                                                                                                                                                                          | <b>48</b>  |
| <b>7.3</b>   | <b>PSR - Radar Primario de vigilancia</b>                                                                                                                                                            | <b>49</b>  |
| <b>7.4</b>   | <b>SSR - Radar Secundario de vigilancia</b>                                                                                                                                                          | <b>51</b>  |
| <b>7.5</b>   | <b>Vigilancia Dependiente Automática - Radiodifusión ADS-B</b>                                                                                                                                       | <b>57</b>  |
| <b>7.6</b>   | <b>Vigilancia Dependiente Automática - Multilateración</b>                                                                                                                                           | <b>59</b>  |
| <b>8</b>     | <b>Documentos EUROCAE ED-129B y ED-142 de los sistemas de nueva generación de vigilancia y navegación aérea, ADS-B y Multilateración</b>                                                             | <b>61</b>  |
| <b>8.1</b>   | <b>Documento EUROCAE ED-129B / 2016 y ED-129C / 2023</b>                                                                                                                                             | <b>61</b>  |
| <b>8.1.1</b> | <b>Análisis. Documento EUROCAE ED-129B. Capítulo 1</b>                                                                                                                                               | <b>62</b>  |
| <b>8.1.2</b> | <b>Análisis. Documento EUROCAE ED-129B. Capítulo 2</b>                                                                                                                                               | <b>70</b>  |
| <b>8.1.3</b> | <b>Análisis. Documento EUROCAE ED-129B. Capítulo 3</b>                                                                                                                                               | <b>72</b>  |
| <b>8.1.4</b> | <b>Comparación documento EUROCAE ED-129B y ED-129C</b>                                                                                                                                               | <b>76</b>  |
| <b>8.1.5</b> | <b>Empresas de aviónica que fabrican equipos y software para comprobar las especificaciones de la norma ED-129B para ensayo de sistemas ADS-B</b>                                                    | <b>78</b>  |
| <b>8.2</b>   | <b>Documento EUROCAE ED-142 / 2010</b>                                                                                                                                                               | <b>81</b>  |
| <b>8.2.1</b> | <b>Análisis. Documento EUROCAE ED-142. Capítulo 1</b>                                                                                                                                                | <b>81</b>  |
| <b>8.2.2</b> | <b>Análisis. Documento EUROCAE ED-142. Capítulo 2</b>                                                                                                                                                | <b>92</b>  |
| <b>8.2.3</b> | <b>Análisis. Documento EUROCAE ED-142. Capítulo 3</b>                                                                                                                                                | <b>94</b>  |
| <b>9</b>     | <b>Técnicas de supervisión y corrección de errores en datos de comunicación</b>                                                                                                                      | <b>98</b>  |
| <b>10</b>    | <b>Aplicación de las tecnologías satélite y ADS-B al transporte marítimo y al transporte terrestre ferroviario</b>                                                                                   | <b>99</b>  |
| <b>10.1</b>  | <b>Aplicación de las tecnologías satélite y ADS-B al transporte marítimo</b>                                                                                                                         | <b>99</b>  |
| <b>10.2</b>  | <b>Aplicación de las tecnologías satélite al transporte terrestre ferroviario</b>                                                                                                                    | <b>102</b> |
|              | <b>Lista de Figuras</b>                                                                                                                                                                              | <b>103</b> |
|              | <b>Lista de Tablas</b>                                                                                                                                                                               | <b>110</b> |
|              | <b>Bibliografía</b>                                                                                                                                                                                  | <b>111</b> |



## Introducción

El presente Trabajo de Fin de Máster *TFM*, del “*Máster Universitario en Sistemas Inteligentes de Transporte*” (2283) se basa en los temas estudiados en la asignatura (34812) “*Sistemas de posicionamiento, identificación y seguimiento*”, unidad temática “*Gestión del Tráfico Aéreo*” / “*Air Traffic Management*” (ATM), sistemas de posicionamiento y vigilancia ATM. El objetivo principal es que el autor del Trabajo Fin de Máster profundice en el conocimiento del funcionamiento y uso de los sistemas de vigilancia aérea y sea capaz de describir las ventajas operacionales que los sistemas de vigilancia de nueva generación aportan al sistema de transporte aéreo en su conjunto.

La navegación aérea engloba un conjunto de técnicas que permiten que el piloto de una aeronave guíe ésta desde su punto de despegue hasta el aeropuerto de destino. El elevado volumen de tráfico aéreo en regiones como Europa occidental, las costas este y oeste de Estados Unidos, el Sudeste asiático o corredores intercontinentales como el del Atlántico Norte, requiere el uso de procedimientos de vuelo instrumentales basados en sistemas electrónicos para alcanzar unos niveles de seguridad, eficiencia e impacto medioambiental aceptables. En la mayor parte del espacio aéreo donde las aeronaves vuelan aplicando procedimientos de vuelo instrumentales, estas reciben instrucciones desde distintos tipos de centros de control de tráfico aéreo en tierra. Las instrucciones proporcionadas por los controladores aéreos se basan en la información de vigilancia captada por una red de radares primarios y secundarios. Sin embargo, las características inherentes de los sistemas radar (tiempos de actualización altos y precisiones, en especial angulares, mediocres) han llevado a que las autoridades aeronáuticas y las organizaciones que proporcionan servicios de navegación aérea vengan apostando por nuevas tecnologías de vigilancia aérea, como son la vigilancia dependiente automática, “*Automatic Dependent Surveillance*” (ADS) o los sistemas de multilateración (MLAT).

En este trabajo final de máster se lleva a cabo, en primer lugar, una revisión de las tecnologías y procedimientos de navegación aérea basados en sistemas convencionales, se describen los aspectos que limitan su funcionamiento. En segundo lugar, se describen las tecnologías de vigilancia de nueva generación a partir de los borradores de los estándares europeos de aplicación (EUROCAE ED-129C y EUROCAE ED-142A). Por último, se exponen las ventajas operacionales derivadas de uso estos nuevos sistemas, bien por sí mismos, bien combinados con sistemas radar avanzados, como son los secundarios Modos S.

El proyecto de cielo único europeo, mediante aplicación de las técnicas (ADS) y (MLAT), pretende aumentar la seguridad de la navegación aérea y la fiabilidad en la información de la posición en tiempo real para poder reducir el espacio de separación entre aeronaves y con ello aumentar la cantidad de aeronaves que vuelan al mismo tiempo y elevando la eficiencia del transporte aéreo, todo ello sin reducir la seguridad para las personas ni las aeronaves, reduciendo tiempos de viaje y el consumo de combustible con reducción de costes y reducción de la contaminación atmosférica.

---

## Palabras clave:

Vigilancia aérea; aviación; vigilancia automática dependiente; sistemas de multilateración.

## 1.- Objeto del trabajo

El objeto del presente trabajo es mostrar el estado actual y futuro de los sistemas y técnicas de vigilancia aérea que se utilizan en la organización de la aviación civil europea para dar servicio a la navegación del transporte aéreo y a la gestión de su espacio aéreo, todo ello mediante el análisis de dos documentos realizados por la organización EUROCAE “*Organización Europea para el Equipamiento de la Aviación Civil*”.

Los dos documentos estudiados son el Documento ED-129B y el Documento ED-142, que son especificaciones técnicas para equipos y sistemas de comunicación y vigilancia aeronáutica.

- Documento EUROCAE, ED-129B, publicación marzo de 2016:  
**“*Technical Specification for a 1090 MHz Extended Squitter ADS-B Ground System*”.**  
*Especificación Técnica para un Sistema Terrestre ADS-B de Squitter Extendido de 1090 MHz*
- Documento EUROCAE, ED-142, publicación septiembre de 2010:  
**“*Technical Specification for Wide Area Multilateration (WAM) Systems*”.**  
*Especificación Técnica para Sistemas de Multilateración de Área Amplia (WAM)*

Además de estudiar los documentos ED-129B y ED-142 el encargo para la realización del presente Trabajo Fin de Máster también incluye el estudio de la publicación en octubre de 2023 de la modificación del Documento EUROCAE, ED-129B, pasando a ser el Documento ED-129C:

- Documento EUROCAE, ED-129C publicación octubre de 2023:  
**“*Technical Specification for a 1090 MHz Extended Squitter ADS-B Surveillance System*”.**  
*Especificación Técnica para un Sistema de Vigilancia ADS-B de Squitter Extendido de 1090 MHz*

En resumen, en el presente trabajo se han analizado el Documento ED-129B y su actualización ED-129C, junto con el Documento ED-142. Las normas no se estudian de forma completa debido a su gran extensión, el encargo para la realización del presente Trabajo Fin de Máster se centra en estudiar únicamente las siguientes normas y capítulos:

- a) Documento ED-129B, Capítulos 1, 2, 3, hasta 3.3.3.- Accuracy
- b) Documento ED-142, Capítulos 1, 2, 3, hasta 3.4.3.- Target Reports



Fig. 1.1 . Portadas Documentos EUROCAE ED-129B, ED-129C, y ED-142

El sistema de vigilancia aeronáutica ADS-B que especifica el Documento ED-129C se ilustra de forma esquemática en la Figura 1.2 en la cual se muestran dos aeronaves en vuelo al mismo tiempo transmitiendo y recibiendo información vía radio entre ellos y con la antena de tierra conectada al sistema del Centro de Tráfico Aéreo (CTA) donde se visualiza en pantalla la posición en 4D de los aviones

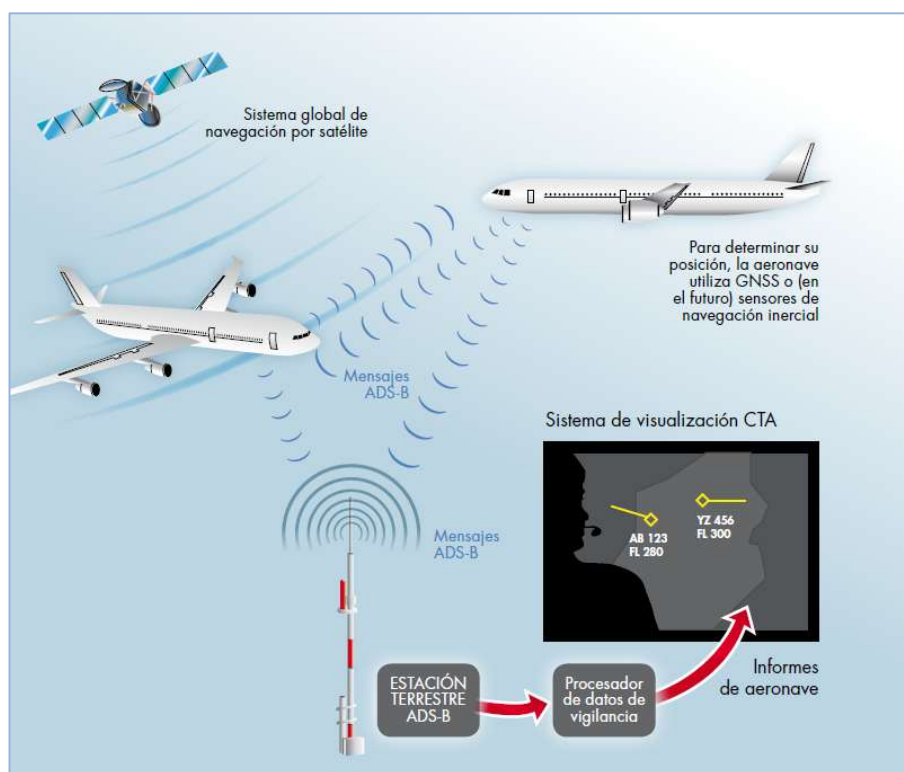


Fig.1.2. Ilustración sistema ADS-B.

El sistema de multilateración de área amplia Wide Amplitude Multilateration WAM descrito en el Documento ED-142 puede comprenderse inicialmente mediante la observación del dibujo de la Figura 1.3 donde se representan dos aeronaves, una en situación de rodadura en pista y otra en fase de aterrizaje, y ambos aviones están comunicándose vía radio con las antenas del aeropuerto ubicadas de forma previamente estudiada para que mediante antenas instaladas en múltiples posiciones, se pueda calcular la distancia del avión a cada una de ellas debido al tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción de la señal de radio, con el fin de obtener el posicionamiento de la aeronave.

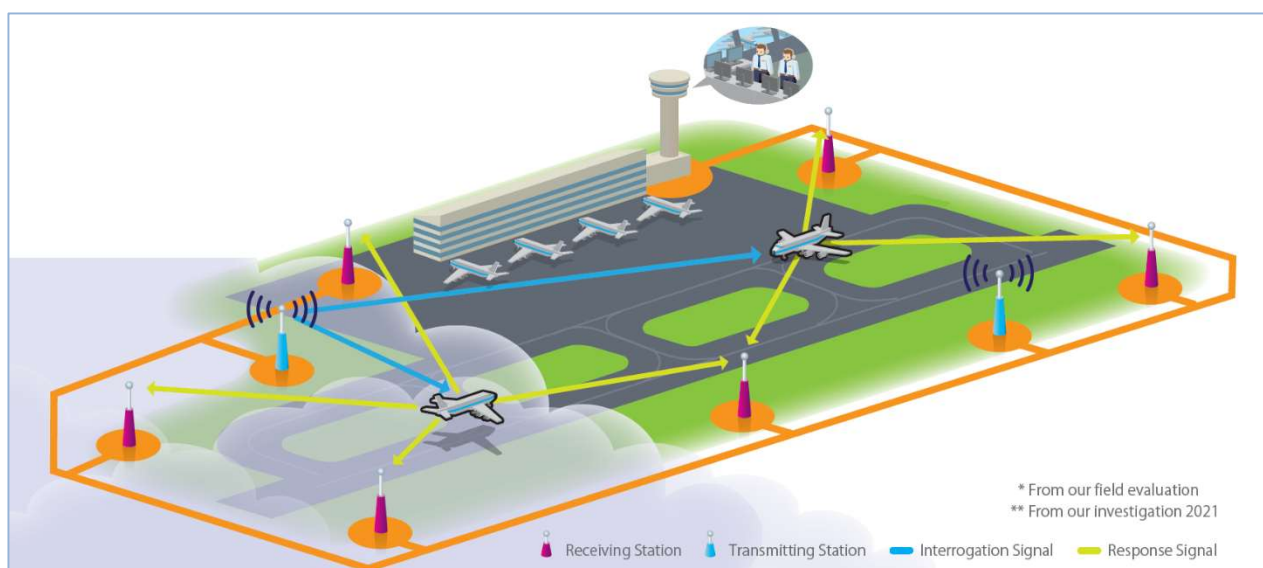


Fig. 1.3. Ilustración del aterrizaje de un avión que comunica vía radio con varias antenas en tierra.

## 2.- Organizaciones de la Aviación Civil

### 2.1.- OACI. Organización de la Aviación Civil Internacional

OACI es la *Organización de la Aviación Civil Internacional* dependiente de Naciones Unidas, en inglés denominada ICAO, *International Civil Aviation Organisation*. Se crea a finales de la segunda guerra mundial con la firma del Convenio sobre Aviación Civil Internacional el 7 de diciembre de 1944 Chicago.



Fig. 2.1. Logotipo de OACI

El Convenio de Chicago de 1944 aprobó una serie de Artículos, entre ellos destacar el Artículo 44:

*“Satisfacer las necesidades de los pueblos del mundo respecto a un transporte aéreo seguro, regular, eficaz y económico”.*



Fig. 2.2. OACI. Convenio de Chicago, 7 de diciembre de 1944. Fuente: OACI

La OACI es el órgano permanente encargado de la administración de los principios establecidos en el Convenio y aprueba normas para la seguridad de la aviación civil por acuerdo de sus estados miembros e introduce métodos para el desarrollo de la aviación civil. Tiene su sede en Montreal, Canadá. La organización se compone de: Asamblea, Consejo, y Secretaría. Se rige por un Consejo permanente que se encarga de convocar a la Asamblea que se reúne al menos una vez cada tres años. Las normas que aprueba la OACI son aprobadas por los países miembros quienes posteriormente las transponen a su ordenamiento jurídico.

En el caso de España, como miembro de la OACI, cuando esta organización aprueba normas y reglamentos, sólo se hacen obligatorias en España cuando se introducen en una Ley o un Real Decreto, por lo que existen normas como el Reglamento de Circulación Aérea que se aprueba mediante Real Decreto y contine normas de la OACI, como por ejemplo el Real Decreto 1180/2018, de 21 de septiembre, por el que se desarrolla el Reglamento del aire, que aplica modificaciones por enmiendas de la OACI.

El Convenio aprobó Documentos Técnicos y además 19 anexos de normativa que son los siguientes:

- Anexo 1. Licencias al personal.
- Anexo 2. Reglamento del aire.
- Anexo 3. Servicio meteorológico para la navegación aérea internacional.
- Anexo 4. Cartas aeronáuticas
- Anexo 5. Unidades de medida que se emplearán en las operaciones aéreas y terrestres.
- Anexo 6. Operación de aeronaves
- Anexo 7. Marcas de nacionalidad y de matrícula de las aeronaves
- Anexo 8. Aeronavegabilidad
- Anexo 9. Facilitación
- Anexo 10. Telecomunicaciones aeronáuticas
- Anexo 11. Servicios de tránsito aéreo
- Anexo 12. Búsqueda y salvamento



- Anexo 13. Investigación de accidentes e incidentes de aviación.
- Anexo 14. Aeródromos.
- Anexo 15. Servicios de información aeronáutica.
- Anexo 16. Protección del medio ambiente.
- Anexo 17. Seguridad de la aviación
- Anexo 18. Transporte sin riesgos de mercancías peligrosas por vía aérea
- Anexo 19. Gestión de la seguridad operacional

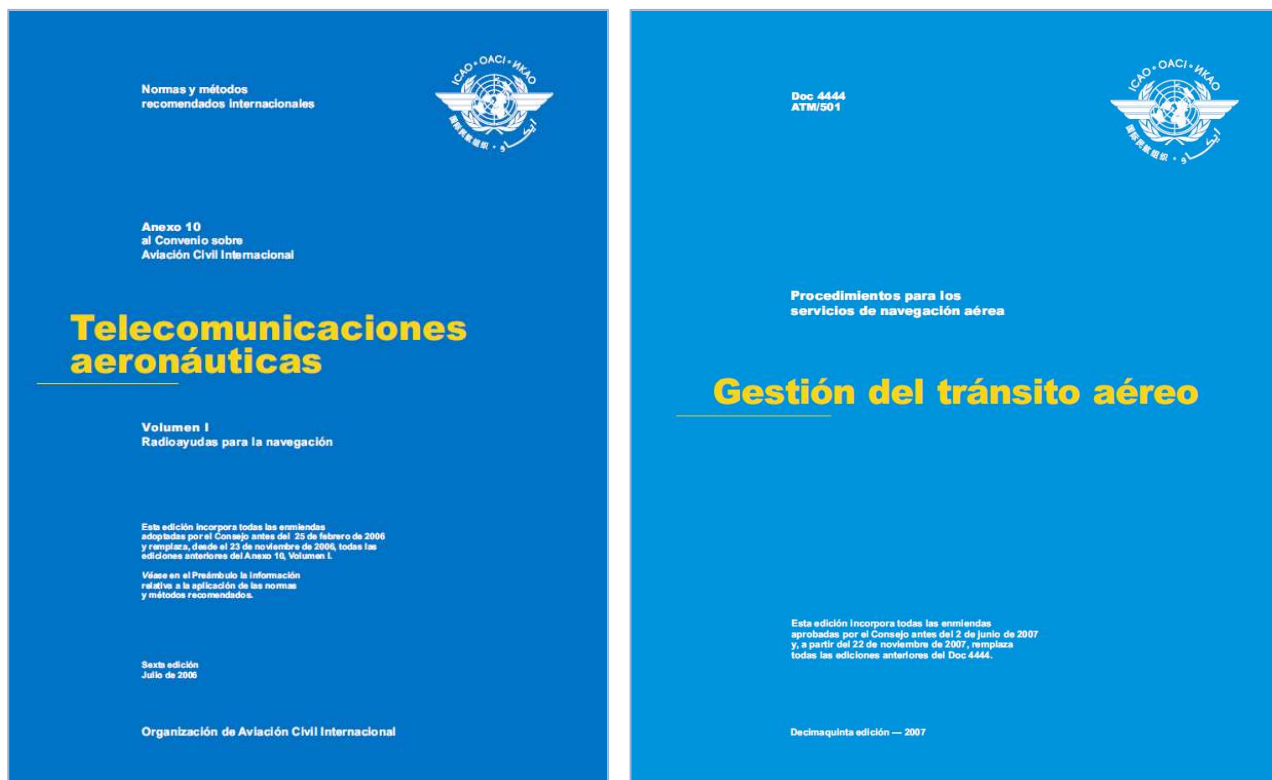


Fig. 2.3. Portadas de Documentos de OACI

## 2.2.- EASA. European Union Aviation Safety Agency

EASA “European Union Aviation Safety Agency” es la Agencia de Seguridad de la Aviación de la Unión Europea. Se constituyó en el año 2002 para la cooperación entre “Autoridades Europeas de Aviación Conjunta (JAA)” con el fin de ser la principal autoridad de la seguridad de la aviación en Europa.

EASA es una agencia descentralizada y tiene como miembros a los veintisiete países de la UE y también a Islandia, Liechtenstein, Noruega y Suiza.

Dedicada los primeros años a la certificación de aeronaves, instalaciones, y equipos de la aviación civil, posteriormente realizó actividades como Operaciones Aéreas, Licencias de Tripulación, Autorización de Operadores de Terceros Países, Aeródromos y Gestión del Tráfico Aéreo/Servicios de Navegación Aérea. En 2018 también incluyeron en su campo de actividad a los drones y movilidad aérea urbana.

EASA en sus programas pretende conseguir una aviación ecológica más sostenible con reducción de emisiones y utilizando nuevas tecnologías, la propulsión eléctrica y de hidrógeno, combustibles de aviación Sostenible (SAF).



Fig. 2.4. Logotipo de EASA

EASA tiene su sede en Colonia, Alemania y es la agencia responsable de garantizar la seguridad y la protección del medio ambiente en el transporte aéreo en Europa.

## 2.3.- EUROCONTROL. European Organisation for the Safety of Air Navigation

EUROCONTROL fue creada por la Comunidad Europea en el año 1963 como organización intergubernamental civil y militar, siendo la Organización Europea para la Seguridad de la Navegación Aérea. Cuenta con 41 Estados Miembros de toda Europa junto con Marruecos e Israel. Tiene la sede en Bélgica, y oficinas especializadas en Holanda, Luxemburgo y Francia. La finalidad de EUROCONTROL es dar apoyo a la Aviación Europea.



Fig. 2.5. Logotipo de EUROCONTROL

En sus orígenes Eurocontrol tenía unas funciones que se detallan en el organigrama de la Figura 2.6, y posteriormente el 9 de diciembre de 1997 la Comisión Permanente acordó la Medida nº 85/51 de forma que se produce una reorganización de EUROCONTROL con nuevas funciones pasando a tener su estructura con el organigrama de la Figura 2.7.

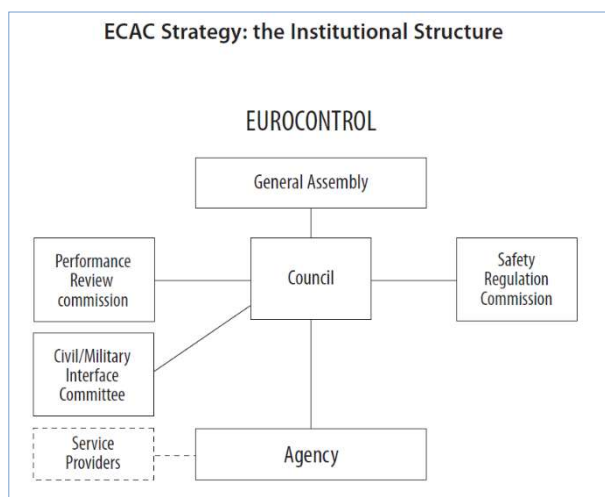


Fig. 2.6. Organigrama de EUROCONTROL. 1963



Fig. 2.7. Organigrama de EUROCONTROL. 1997

Actualmente las funciones que realiza EUROCONTROL son:

- Gestor de la Red. Gestiona el flujo de tráfico de la red ATM europea. Colabora con los proveedores de servicios de navegación aérea (ANSPs), usuarios del espacio aéreo, los militares y aeropuertos.
- Oficina Central de Tarifas Ruta. Factura las tasas de ruta en Europa a las aerolíneas que utilizan dichos servicios.
- Centro de control de tráfico aéreo. "Maastricht Upper Area Control Centre" (MUAC), que proporciona el control de tráfico aéreo en Bélgica, Luxemburgo, Países Bajos y el noroeste de Alemania.
- Actividades de I+D. Participa en el proyecto SESAR (SJU).
- Coordina la aviación civil y militar en Europa.
- Da formación técnica, entrenamiento.
- Apoyo a la Comisión Europea.
- Colabora con la OACI, Organización de Aviación Civil Internacional.

## 2.4.- EUROCAE. European Organisation for Civil Aviation Equipment

EUROCAE es la “*Organización Europea para el Equipamiento de la Aviación Civil*” y fue cofundada por la Unión Europea en el año 1963. Es una organización internacional sin fines de lucro que reúne a expertos de toda la industria de la aviación para desarrollar y promover estándares de alta calidad basados en el consenso para sistemas y equipos de aviación civil.

Estas normas respaldan la armonización internacional y la interoperabilidad global y contribuyen significativamente a la seguridad, la eficiencia y la sostenibilidad ambiental del sistema de aviación global.



Fig. 2.8. Logotipo EUROCAE

EUROCAE tiene su sede en la ciudad de Saint Denis en Francia y el sitio web es <https://www.eurocae.net>. El Consejo de EUROCAE es responsable de aprobar el establecimiento de nuevos Grupos de Trabajo (WG) y de la definición de sus programas de trabajo, teniendo en cuenta las presentaciones realizadas por cualquier parte interesada de la aviación y, en particular, los miembros de EUROCAE. El Consejo revisa y aprueba todos los documentos antes de su publicación.

La Secretaría General supervisa las actividades del GT. El Comité Técnico Asesor (TAC) desarrolla el Programa de Trabajo Técnico EUROCAE (TWP). Los campos en que EUROCAE centra su actividad y dentro del ámbito de la aviación civil son, Control el Tráfico Aéreo, aeropuertos, aviónica, espacio, avances en movilidad aérea, espectro de Radio Frecuencia, seguridad, sostenibilidad, software, etc. Como se indica en la Figura 2.9.



Fig. 2.9. Esquema de las actividades de la organización EUROCAE.

La Universitat Politècnica de València, UPV, es miembro de EUROCAE a través del Instituto ITACA, SNA-ITACA (SNA, Sistemas de Navegación Aérea), donde el profesor D. Juan Vicente Balbastre es el presidente del subgrupo de Trabajo WG-105 SG-3 de EUROCAE.



Fig. 2.10. Logotipo ITACA - UPV

## 2.5.- AESA. Agencia Estatal de Seguridad Aérea

AESA es la Agencia Estatal de Seguridad Aérea de España. Sus atribuciones y competencias se definen en el Real Decreto 184/2008 del Estatuto de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, y le compete el ejercicio de las potestades inspectoras y sancionadoras en materia de aviación civil, la iniciativa para la aprobación de la normativa reguladora en los ámbitos de la seguridad aérea y la protección del usuario del transporte aéreo para su elevación a los órganos competentes del Ministerio de Fomento, así como la evaluación de riesgos en materia de seguridad de la aviación civil.



Fig. 2.11. Logotipo de AESA

La Agencia Estatal de Seguridad Aérea por objeto la ejecución de las funciones de ordenación, supervisión e inspección de la seguridad del transporte aéreo y de los sistemas de navegación aérea y de seguridad aeroportuaria, en sus vertientes de inspección y control de productos aeronáuticos, de actividades aéreas y del personal aeronáutico, así como las funciones de detección, análisis y evaluación de los riesgos de seguridad en este modo de transporte.

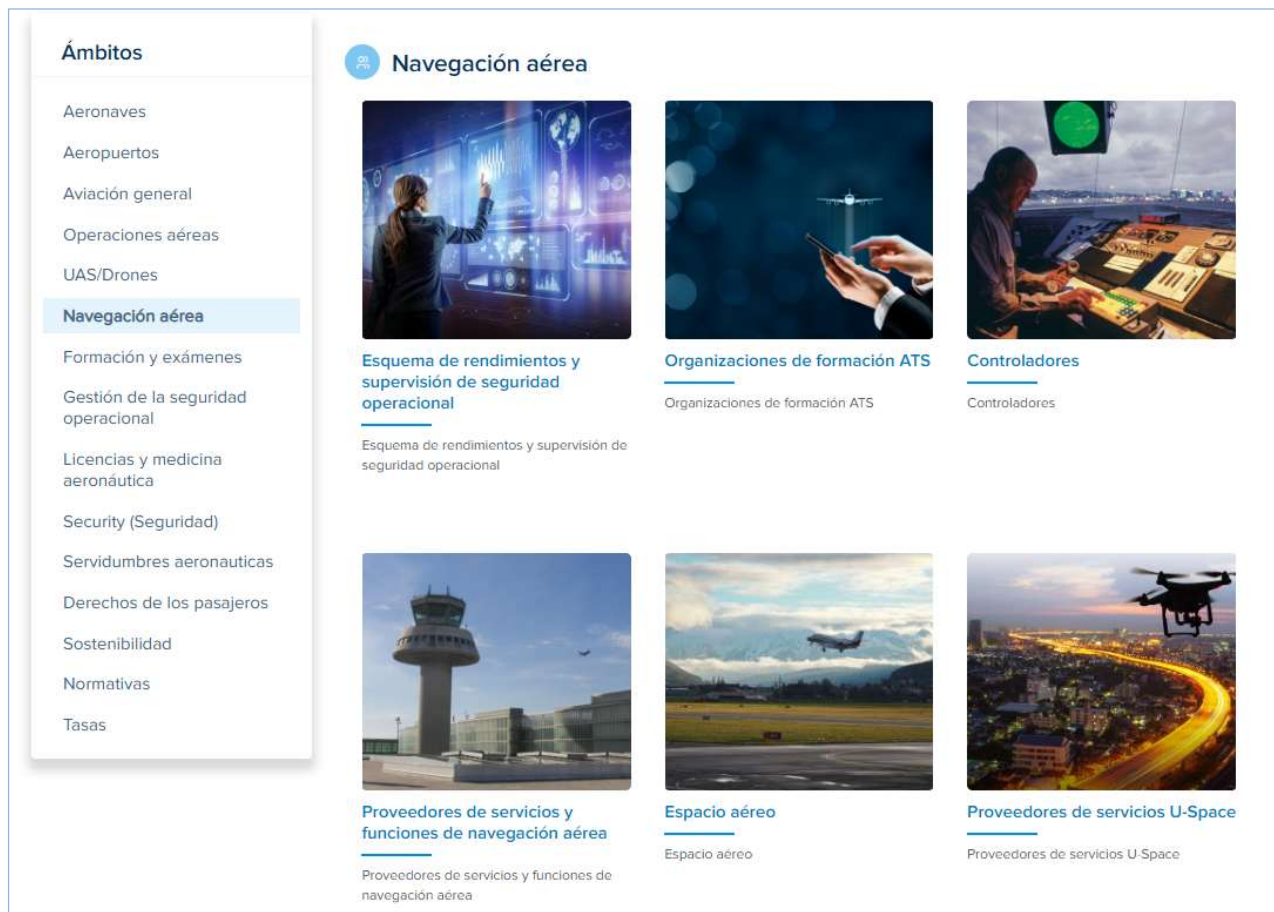


Fig. 2.12. Folleto corporativo de las actividades desarrolladas por AESA en el ámbito de la navegación aérea.

## 2.6.- AENA. Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea

Hasta el año 1991 los aeropuertos de España así como el control y la navegación aérea estaban subordinados a la administración militar y los aeropuertos civiles dependían del Organismo Autónomo Aeropuertos Nacionales, según el Real Decreto-ley 12/1978 que en el Artículo decimotercero dice:

*“El Organismo autónomo «Aeropuertos Nacionales», adscrito al Ministerio de Transportes y Comunicaciones, ejercerá las funciones de coordinación, explotación, conservación y administración de los aeropuertos y aeródromos públicos civiles, en orden a la prestación del servicio público que se les encomiende.”*

Posteriormente en el Real Decreto 2878/1982 se aprueba la estructura orgánica del Organismo autónomo Aeropuertos Nacionales.

Pero en el año 1991 se aprueba el Real Decreto 905/1991, de 14 de junio, por el que se aprueba el Estatuto del Ente público Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea, AENA, de forma que el Organismo autónomo Aeropuertos Nacionales deja de funcionar para que su actividad la realice AENA.



AENA se crea por el Ministerio de Fomento teniendo el carácter de Entidad Pública Empresarial. AENA gestiona, mantiene y desarrolla los aeropuertos civiles de interés general de su competencia, así como los servicios de tránsito aéreo, las instalaciones y redes de ayuda a la navegación aérea, al objeto de prestar unos servicios públicos esenciales con seguridad, calidad, eficacia y respeto al medio ambiente.



Fig. 2.13. Logotipo de AENA

En el año 2010 se crea la empresa Aena Aeropuertos, S.A. en cumplimiento del Real Decreto-ley 13/2010. En el año 2014 la Ley 18/2014, en el Artículo 18 cambia la denominación pasando a ser Aena, S.A..

## 2.7.- ENAIRE Entidad Pública Empresarial

La Ley 18/2014 en el Artículo 18 modifica el nombre y la empresa pública Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea pasa a denominarse Enaire E.P.E., con las competencias de navegación y espacio aéreo, y la coordinación operativa nacional e internacional de la red nacional de gestión del tráfico aéreo.

ENAIRE es el gestor nacional de navegación aérea y se creó con el fin de realizar la gestión del tránsito aéreo y la prestación de servicios de navegación aérea.



Fig. 2.14. Logotipo de ENAIRE

A partir de ese momento ENAIRE realiza estas funciones de forma independiente de AENA. ENAIRE es una empresa pública del Ministerio de Transportes, y sus empleados son los controladores aéreos, ingenieros, técnicos y personal de apoyo y de gestión. Las aeronaves que despegan, aterrizan o transitan por el espacio aéreo español, disponen de los servicios de comunicaciones, navegación y vigilancia mediante la red de instalaciones explotadas por ENAIRE. También son atendidas estas aeronaves por el personal de control aéreo que, según la fase del vuelo, ofrece un servicio en una dependencia concreta, dando garantía permanente para que estas aeronaves mantengan los niveles de seguridad por las separaciones entre ellas deban tener según la normativa.

Los servicios de control de tránsito aéreo en cada fase de vuelo son: Servicio de control de aeródromo, Servicio de control de aproximación, Servicio de control de área/ruta, Servicio de control de aproximación, Servicio de control de aeródromo. En la Figura 2.15 se muestra la distribución de dichos servicios.

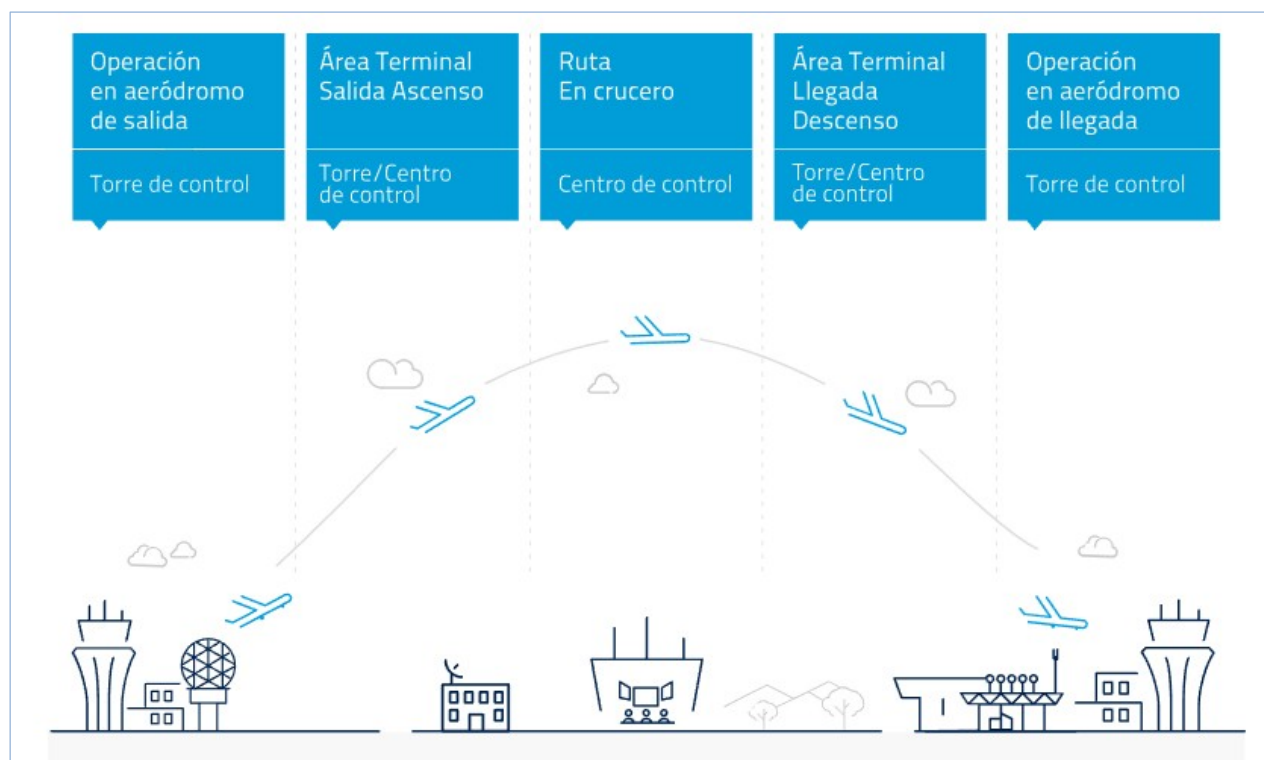


Fig. 2.15. Esquema de prestación de servicios de ENAIRE. Fuente: ENAIRE.

## 2.8.- FAA. Federal Aviation Administration

La Administración Federal de Aviación FAA "*Federal Aviation Administration*" es el órgano gubernamental cuya función es emitir y supervisar las certificaciones y suspensiones de aeronaves y pilotos, responsabilidad del control del tráfico aéreo, los programas de seguridad y el desarrollo de las vías aéreas.

Inicialmente se creó el 23 de junio de 1938 en base a la Ley de Aeronáutica Civil de 1938 del promulgada por el presidente Franklin Roosevelt como nueva organización que la Junta de Aeronáutica Civil (CAB) y la Administración de Aeronáutica Civil (CAA).



Fig. 2.16. Logo Administración Aeronáutica Civil CAA. .1938

El 31 de diciembre de 1958 pasó a ser la Federal Aviation Administration FAA con la función de mejorar la gestión y seguridad de las vías aéreas del país.



Fig. 2.17. Oficinas nueva Federal Aviation Administration FAA. 1958



Fig. 2.18. Logotipo Federal Aviation Administration FAA

## 2.9.- RTCA. Radio Technical Commission for Aeronautics

El 19 de junio de 1935 el Departamento de Comercio y representantes del gobierno junto con representantes de la industria formaron el Comité Técnico de Radio para la Aeronáutica, "*Radio Technical Commission for Aeronautics*" RTCA. El 14 de noviembre de 1991, RTCA se convirtió en una corporación sin ánimo de lucro pasando a denominarse RTCA, Inc.



Fig. 2.19. Logotipo RTCA

Fundado como Comité Técnico de Radio para la Aeronáutica en 1935, el RTCA ha proporcionado la base para muchos avances técnicos modernos en la aviación. Como Organización de Desarrollo de Estándares (SDO) independiente, los productos integrales de RTCA sirven como base para la certificación gubernamental de los equipos utilizados por las decenas de miles de aviones que vuelan diariamente por el espacio aéreo mundial. RTCA, una corporación privada sin fines de lucro, trabaja en estrecha colaboración con la Administración Federal de Aviación (FAA) y expertos de la industria de EE.UU. y de todo el mundo para desarrollar recomendaciones integrales, aprobadas y respaldadas por la industria sobre estándares de desempeño técnico y el entorno operativo. para utilizar estándares.

Estos estándares se pueden utilizar como medio para cumplir con las regulaciones de la FAA y otras autoridades reguladoras de la aviación.

## 2.10.- Resumen de las Organizaciones de la Aviación Civil

El esquema de la Figura 2.20 resume las organizaciones de la aviación civil y su relación jerárquica.



Fig. 2.20. Esquema Resumen Organizaciones Aviación Civil

### 3.- Estado del arte de la vigilancia y la navegación aérea

#### 3.1.- El estado del arte en los orígenes de la aviación

El inicio de la aviación se posibilitó definitivamente con el primer vuelo conseguido por los hermanos Wright en 1903 en la ciudad de Kitty Hawk, Carolina del Norte, Estados Unidos. Previamente desde finales de la década de 1890 y principios de 1900, muchos fueron los inventores de artefactos que intentaron hacer volar sus máquinas sin éxito. Las pruebas de vuelo se hacían en las afueras de las ciudades en zonas como campos o bosques despejados y aún no se habían inventado ni los aeropuertos ni las ayudas a la navegación. En aquellos inicios de la aviación todos los esfuerzos de los inventores estaban dirigidos a hacer volar la máquina, pilotarla y controlarla en una zona de poca distancia.

La Figura 3.1 es la fotografía del primer vuelo controlado de una aeronave pilotada, propulsada y controlada, en la historia de la aviación. El vuelo fue realizado por los hermanos Wright en 1903 en Estados Unidos.

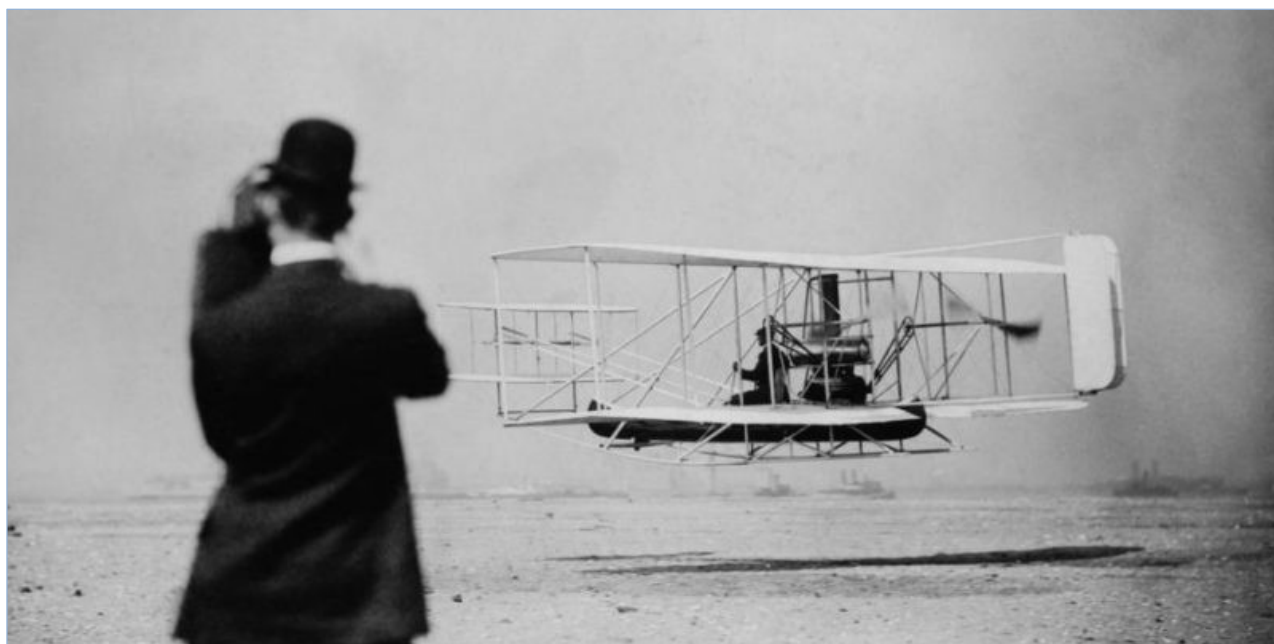


Fig. 3.1. Primer vuelo de los hermanos Wright, 1903. Kitty Hawk, Carolina del Norte, Estados Unidos

#### 3.2.- El estado del arte de los primeros medios de navegación aérea

Una vez conseguido realizar un vuelo estable, seguro y de manera controlada, el reto era seguir volando a mayor distancia y que supuso volar en zonas desconocidas en una época donde aún no existían ayudas a la navegación y los pilotos tenían que orientarse siguiendo las carreteras, las vías del ferrocarril, los ríos, la costa y observando las ciudades y las montañas.

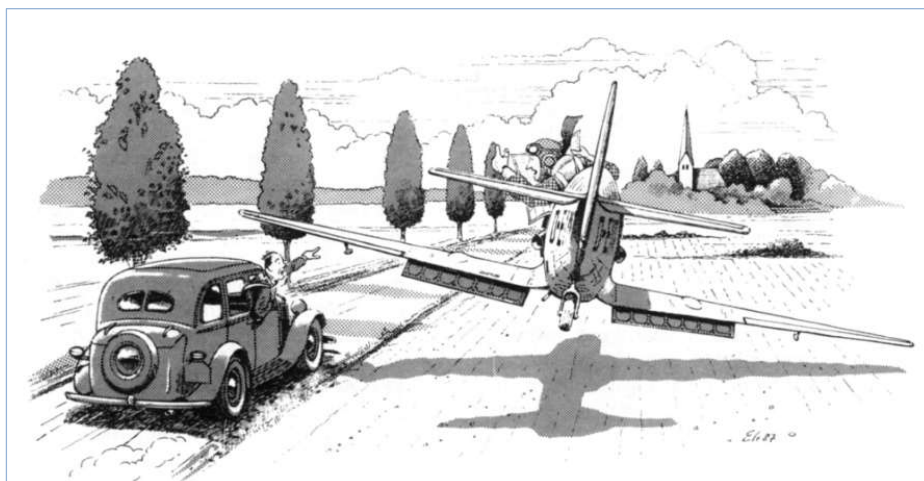


Fig. 3.2. Dibujo periodístico. Piloto de avioneta pregunta una localización a un pasajero de automóvil



Una vez iniciados los vuelos en 1903, otros inventores siguieron el camino de los hermanos Wright y se consolidó el vuelo de aquellas aeronaves y fue entonces cuando se crearon los primeros aeropuertos que eran campos con algún edificio para servicios como taller o hangar. Con ello se produjo el aumento de aeronaves en vuelo y de las distancias hizo necesario que se dotase de medios para la seguridad aplicando técnicas de Comunicación, Navegación y Vigilancia.

El servicio aéreo postal, U.S. Post Office partir en los años 1920 estableció las primeras rutas aéreas para el servicio aéreo de correo por lo que se tuvieron que instalar las primeras ayudas visuales a la navegación aérea como los aerofaros de forma que podían volar por la noche identificando las luces de tierra.

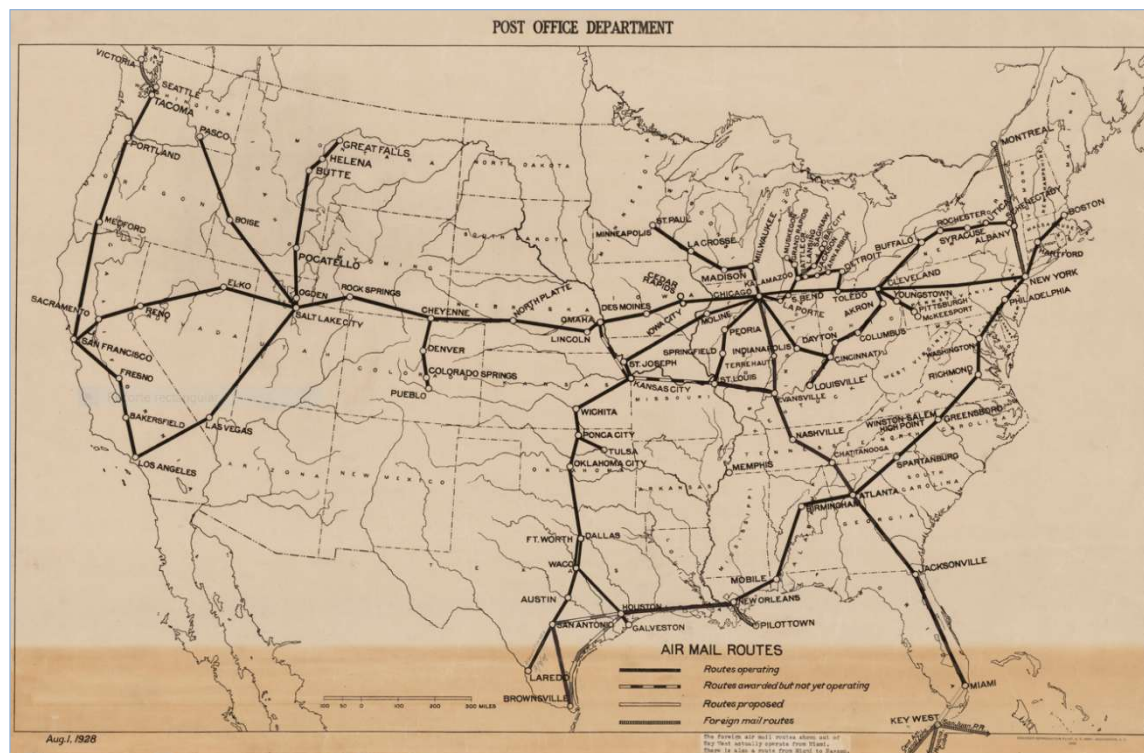


Fig. 3.3. Mapa de las rutas aéreas del servicio postal de correos de Estados Unidos .  
POST OFFICE DEPARTMENT. Agosto de 1928

En la fotografía Fig. 3.4 se observa a empleados postales descargando correo del primer servicio de correo aéreo transcontinental programado regularmente. Este avión fue el primero en llegar volando de oeste a este. Llegó a Omaha, Nebraska, a la 1:50 am del 2 de julio de 1924. Los pilotos volaron día y noche, utilizando balizas y reflectores de campo para navegar en la oscuridad.



Fig. 3.4 . Fotografía .Primer vuelo de oeste a este de Estados Unidos para el servicio postal



En la década de 1920 se instalaron las primeras ayudas visuales que fueron aerofaros luminosos ubicados en tierra en torres de gran altura que incorporaban lámparas de acetileno para iluminar las noches y permitir a las aeronaves ver la luz de estos faros para seguir la ruta, instalándose también en los aeródromos.

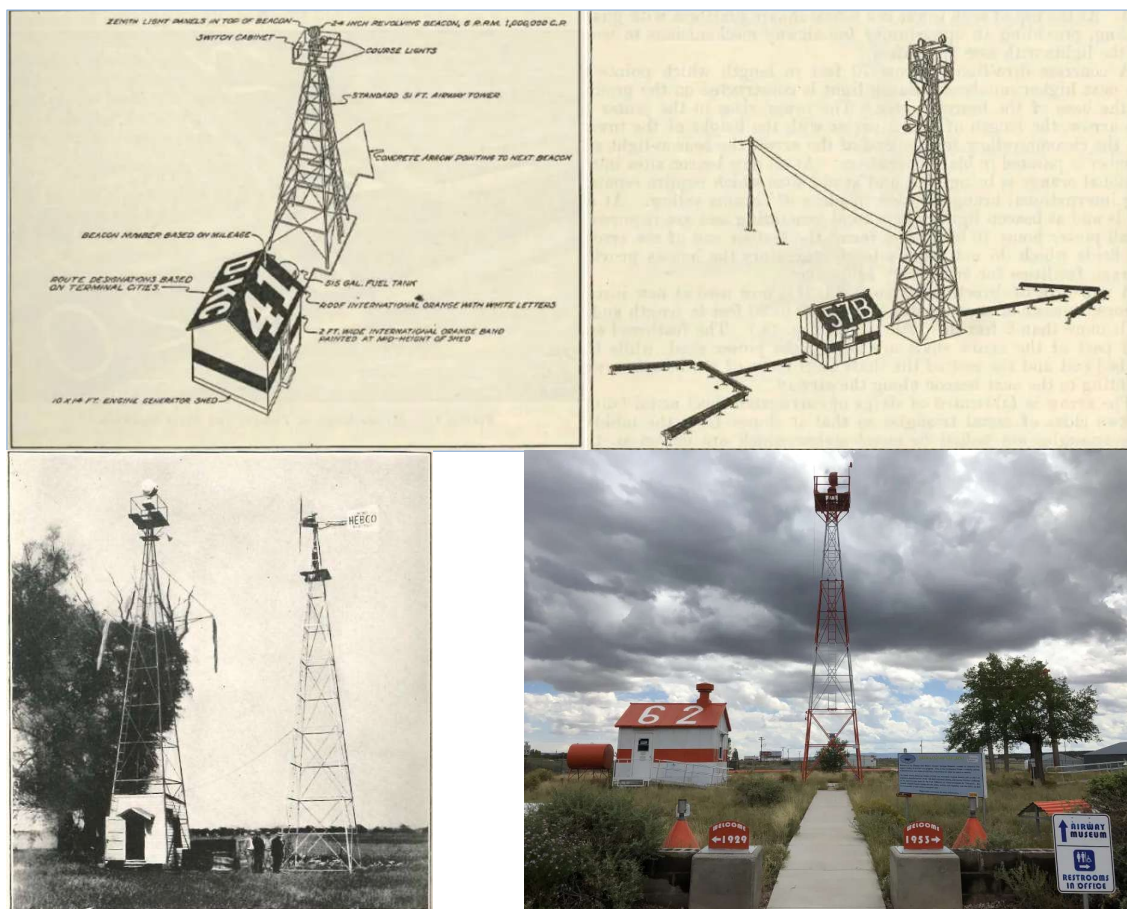


Fig. 3.5 . Dibujos y fotografía de aerofaros del U.S. Postal Department.

En esos años del inicio de la navegación aérea también se instalaron ayudas visuales a la navegación del tipo aerofaro en otros países como en España. En la fotografía Fig. 3.6 se observa un aerofaro recuperado en el aeropuerto de Fuerteventura.



Fig. 3.6. Aerofaro recuperado y rehabilitado en el Aeropuerto de Fuerteventura.

### 3.3.- El estado del arte de los medios de navegación aérea convencionales.

Posteriormente a la navegación por seguimiento de aerofaros, se introdujeron las primeras ayudas radioeléctricas como el radiogoniómetro y el radio range.

La navegación aérea es el conjunto de medios, técnicas y procedimientos de que se disponen a bordo de la aeronave para determinar la posición de la misma, determinar la dirección a seguir y tomar las acciones de guiado para llegar al destino deseado. Las diferentes formas de navegación son:

- Navegación visual
- Navegación a estima ( Dead Reckoning )
- Navegación de Radionavegación.

La Navegación visual se basa en la observación de referencias celestes o por observación del terreno y sus características, ríos, valles, montañas, así como de la observación de ciudades, granjas, fábricas, antenas, chimeneas, faros, puertos, etc.

La técnica de navegación aérea a estima o Dead Reckoning consiste en determinar la posición actual de la aeronave conociendo las posiciones previas y sabiendo la velocidad, la dirección, y la duración del tiempo de vuelo se puede conocer la distancia. Para ello se utilizan mapas de navegación aérea, una brújula magnética para saber el rumbo y un reloj.

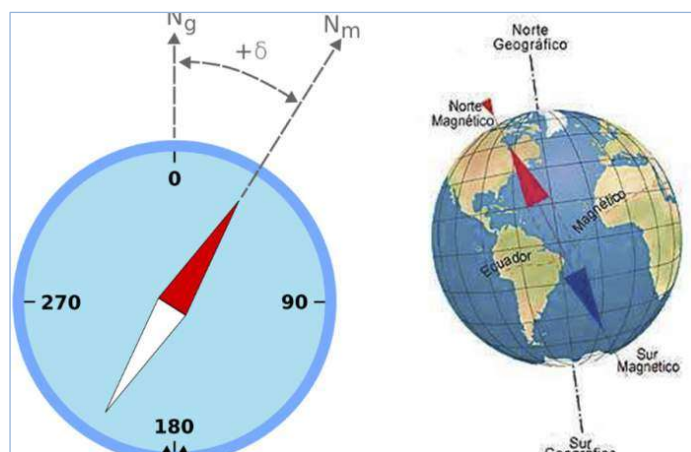


Fig. 3.7. Dibujo de brújula magnética para orientación respecto al Norte y Sur magnéticos terrestres.

A partir de 1920 se empezaron a crear los primeros mapas de navegación aérea. La preparación de la ruta se hacía calculando tramos de rumbo constante hasta determinados puntos.

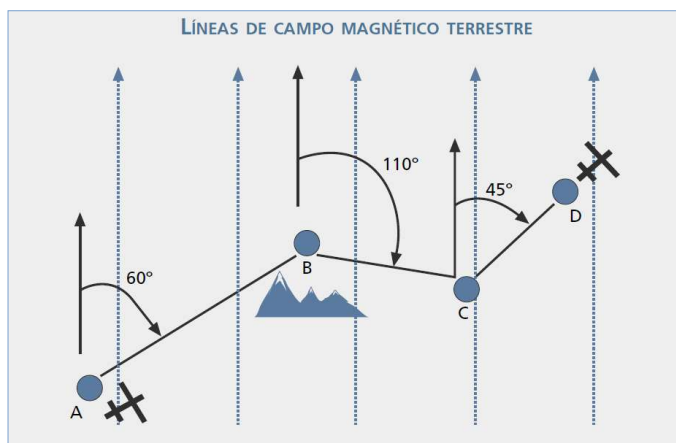


Fig. 3.8. Ruta por tramos de rumbo constante.

La navegación de Radionavegación se basa en la medida de distancias y/o ángulos entre la aeronave y radiotransmisores ubicados en coordenadas conocidas. Se utiliza trilateración basada en distancias a tres emisores, o triangulación basada en ángulos a tres emisores.

En la radionavegación se utilizan radioayudas basadas en antenas ubicadas en tierra y transmisores en satélites GNSS.

Los vuelos de las aeronaves se someten a la legislación y pueden ser por navegación visual VFR, Visual Flight Rules, o navegación instrumental IFR, Instrumental Flight Rules.

El vuelo visual VFR se realiza sin radioayudas para la navegación. El vuelo instrumental IFR se realiza con radioayudas para la navegación.

El 24 de septiembre de 1929, en Mitchel Field, Nueva York, el teniente del ejército James H. Doolittle se convirtió en el primer piloto en utilizar únicamente guía por instrumentos para despegar, seguir un rumbo establecido y aterrizar.



Fig. 3.9. Teniente James H. Doolittle primer piloto que volo guiado por instrumentos. 1929

El Aeropuerto Municipal de Cleveland el 31 de diciembre de 1930 estableció el primer control por radio del tráfico aéreo en la torre del aeropuerto. Posteriormente durante los 5 años siguientes otras 20 ciudades siguieron el camino iniciado por el aeropuerto de Cleveland y también establecieron torres de control en sus aeropuertos.



Fig. 3.10. Torre de control del aeropuerto de Cleveland en 1930

El 6 de julio de 1936 comenzó el control del tráfico aéreo federal cuando la Oficina de Comercio Aéreo se hizo cargo de la operación de las tres estaciones de control del tráfico aéreo en Newark, Chicago y Cleveland. Cuando la Oficina asumió el control de los centros, contrató a quince empleados del centro para convertirse en el cuerpo federal original de controladores de vías aéreas.



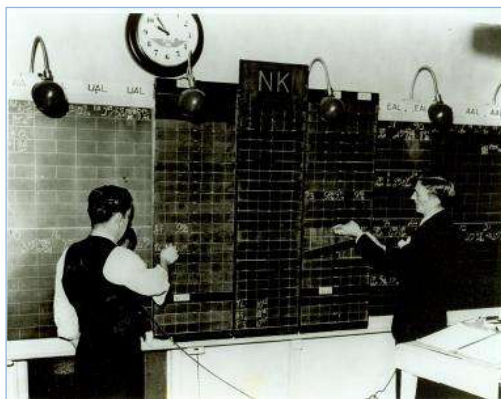


Fig. 3.11. Primeras operaciones de control de tráfico aéreo del Gobierno Federal . 1936

El 23 de junio de 1938, el presidente Franklin Roosevelt promulgó la Ley de Aeronáutica Civil de 1938. La ley transfirió responsabilidades federales para la aviación no militar de la Oficina de Comercio Aéreo a una agencia nueva e independiente, la Autoridad de Aeronáutica Civil. La nueva organización incluía la Junta de Aeronáutica Civil (CAB) y la Administración de Aeronáutica Civil (CAA). La CAB era responsable de emitir y supervisar las certificaciones y suspensiones de aeronaves y pilotos, y la CAA tenía responsabilidad del control del tráfico aéreo, los programas de seguridad y el desarrollo de las vías aéreas.



Fig. 2.16. Logo Administración Aeronáutica Civil ( CAA )  
Departamento de Comercio de Estados Unidos. 1938

El 29 de mayo de 1939, se inauguró la Estación Experimental de la Civil Aeronautics Administration (CAA) en Indianápolis con la misión de buscar mejoras en alcances de radio de frecuencia ultra alta, transmisores, receptores, sistemas de aterrizaje por instrumentos, métodos de iluminación de aeropuertos y otras ayudas a la navegación aérea.



Fig. 3.12. Primeros ensayos de ayudas a la navegación aérea en la estación experimental de CAA. Indianápolis, 1939

El 2 de diciembre de 1939, el Aeropuerto Municipal de Nueva York se abrió al tráfico comercial en el sitio mejorado del antiguo Aeropuerto Glenn H. Curtiss en North Beach, Long Island, Nueva York. La instalación pasó a llamarse Aeropuerto La Guardia en 1947.





Fig. 3.13. Torre de control del aeropuerto de Nueva York para control de tráfico comercial. 1947.

El 1 de mayo de 1941, después de pruebas exitosas durante el año anterior, el primer sistema de alcance de radio de frecuencia ultra alta de CAA, Administración Aeronáutica Civil, se abrió para uso regular de aerolíneas en la vía aérea Nueva York-Chicago. La vía aérea fue el primer eslabón en la eventual conversión de las 35.000 millas completas de vías aéreas federales de frecuencias intermedias a ultraaltas.

El 1 de noviembre de 1941, CAA inició la operación de las torres de control de tráfico del aeropuerto. (Antes de este momento, las torres eran operadas por las autoridades aeroportuarias locales, excepto en el Aeropuerto Nacional administrado por CAA, Administración Aeronáutica Civil.



Fig. 3.14. Control federal de la torre de control del aeropuerto.

El primer servicio de comunicación radiotelefónica directa se realizó el 31 de julio de 1949 cuando se inauguró el servicio de comunicaciones radiotelefónicas directas entre aeronaves y un centro de control de tráfico de rutas aéreas en el ARTCC de Chicago. El CAA completó la extensión de esta capacidad a todos los ARTCC en 1955.

El primer servicio de radioayuda VOR, Very High Frequency Omnidirectional Range, la CAA lo puso en servicio para la operación de las primeras vías aéreas en octubre de 1950

En el año 1951 se instalaron los primeros transpondedores terrestres DME, cuando la CAA colocó los primeros nueve transpondedores terrestres DME equipo de medición de distancias, en operación experimental a lo largo de la vía aérea Chicago-Nueva York

Desde el año 1920 hasta la década de 1970 se desarrollaron distintas tecnologías de radioayudas de navegación aérea. De entre ellas se destacan las siguientes con el año de inicio de puesta en servicio:

- NDB, *Non-Directional Beacon*. 1932
- LRF, *Low Frequency Radio Range*. 1928
- LORAN, *Long Range Radio Aid to Navigation. Hyperbolic Navigation*. 1940
- DECCA, *Hyperbolic Navigation*. 1937
- OMEGA, *Hyperbolic Navigation*. 1968
- VOR, *Very High Frequency Omni-directional Ranging*. 1950
- DME, *Distance Measuring Equipment*. 1946
- GNSS, *Global Navigation Satellite System*. 1993
- ILS, *Instrument Landing System*. 1932
- MLS, *Microwave Landing System*. 1978

Las tecnologías que se siguen utilizando son el NDB, VOR, DME, ILS, MLS, que pertenecen al grupo de servicios de navegación aérea como indica la Circular aeronáutica 1/2012 de la Dirección General de Aviación Civil, en la forma siguiente:

***Circular aeronáutica 1/2012, de 23 de mayo, de la Dirección General de Aviación Civil, por la que se modifica el anexo III del Real Decreto 931/2010, de 23 de julio, por el que se regula el procedimiento de certificación de proveedores civiles de servicios de navegación aérea y su control normativo.***

***Artículo único.***

### ***ANEXO III. Clasificación de los servicios de navegación aérea***

| Servicios                                      | Tipos de servicio                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Parte del servicio                                                                                                                                                                                                                                          | Sub-parte del servicio                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Comunicaciones, Navegación y Vigilancia (CNS). | Navegación (N).<br>(definición SES: los servicios de navegación implican aquellas dependencias/instalaciones y servicios que proporcionan a las aeronaves posicionamiento e información temporal).<br>(Nota: el servicio incluye la generación de la señal aeronáutica de radio navegación en el espacio, así como su posterior distribución y procesamiento hasta su entrega a la aeronave para su utilización). | Provisión de señal en el espacio NDB.<br>Provisión de señal en el espacio VOR.<br>Provisión de señal en el espacio DME.<br>Provisión de señal en el espacio ILS.<br><br>Provisión de señal en el espacio MLS.<br><br>Provisión de señal en el espacio GNSS. | CAT I.<br>CAT II.<br>CAT III a.<br>CAT III b.<br>CAT III c.<br>CAT I.<br>CAT II.<br>CAT III a.<br>CAT III b.<br>CAT III c.<br>Sistema Principal GNSS (GALILEO).<br>Sistema de aumentación basado en satélites (SBAS).<br>Sistema de aumentación basado en tierra (GBAS). |

A continuación se detallan las características básicas de las radioayudas VOR, DME, NDB, ILS, MLS, junto con los instrumentos de cabina como interfaz del piloto para su visualización y aplicación en la navegación instrumental.

### 3.3.1.- VOR, Very High Frequency Omnidirectional Range

Es un conjunto de antenas dispuestas en un círculo con una separación de 1 grado, siendo 360 antenas denominadas radiales que cubren la circunferencia. Estos radiales emiten una señal una a una haciendo un giro de izquierda a derecha cada una a una frecuencia desfasada 1 grado respecto del radial precedente, por lo que la señal puede interceptarse por las aeronaves y sabiendo la frecuencia asignada al radial con su desfase puede conocer la dirección en grados de la señal. La antena VOR emite su identificador en código Morse.



Fig. 3.15. Antena VOR



Fig. 3.16. HSI, Horizontal Situation Indicator. Indicador de desviación de curso

En la aeronave se embarca el equipo de detección de la señal del VOR, el HSI Horizontal Situation Indicator o el DCI Deviation Course Indicator para guiarse con el radial recibido del VOR.

En cada radial se mite una señal diferente para identificar el radial y conocer la orientación de la aeronave.

El equipo VOR funciona a unas frecuencias de entre 112 y 118 MHz. La potencia eléctrica es de 1 KW y el radio de alcance es de 200 km.

El VOR se desarrolló desde 1945 y fue inicialmente puesto en servicio en 1950.

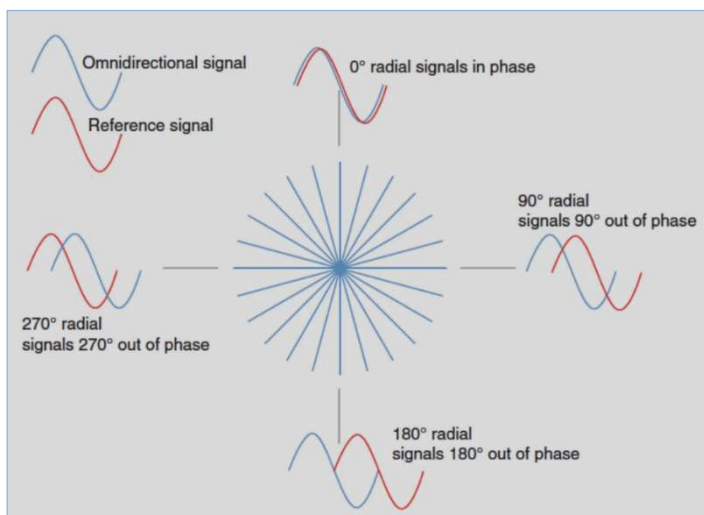


Fig. 3.17. Antena VOR. Desfase entre radiales.

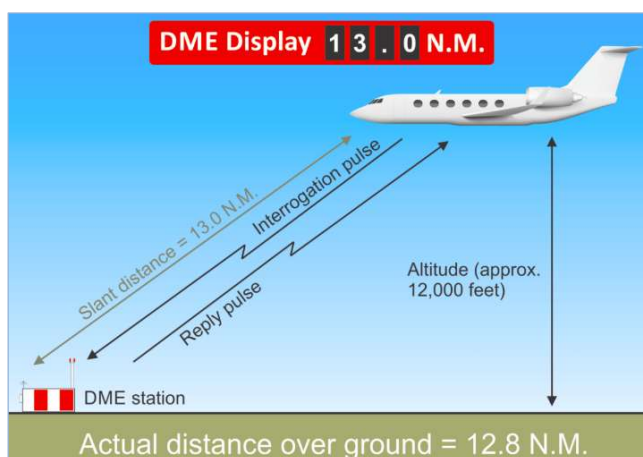
### 3.3.2.- DME, Distance Measuring Equipment

El DME o equipo medidor de distancia se utiliza para conocer la distancia de la aeronave al sistema emisor.

El avión dispone de un equipo DME embarcado que transmite señales donde se reciben en la estación de tierra que a su vez la devuelve a la aeronave y calcula la distancia basándose en el tiempo de viaje de la señal.

El DME fue inicialmente puesto en servicio en 1946.

Fig. 3.18. Fotografía estación DME





El equipo DME funciona a unas frecuencias de entre 960 y 1215 MHz.

La potencia eléctrica es entre 0,7 y 2 KW y el radio de alcance es entre 185 y 370 km.

Fig. 3.19. Fotografía estación DME.

### 3.3.3.- NDB, Non Directional Beacon.

Es un radiofaro no direccional con la finalidad de mediante radiogoniometría establecer la dirección de donde procede la onda electromagnética dando al piloto su posición relativa respecto a la emisora en tierra. El NDB está asociado al sistema ILS de los aeropuertos como complemento de la ayuda en el aterrizaje. El NDB se comunica con el ADF Automatic Direction Finder embarcado en la aeronave que detecta el sentido de la procedencia de la señal electromagnética. El equipo NDB funciona a unas frecuencias de entre 190 y 1,750 MHz. La potencia eléctrica es entre 0,1 y 2 KW y el radio de alcance es entre 50 y 400 km. El NDB fue inicialmente puesto en servicio en el año 1932.

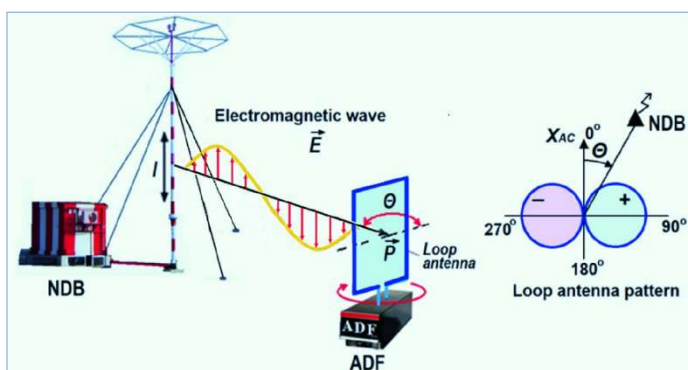


Fig. 3.20. Dibujo NDB-ADF system operation

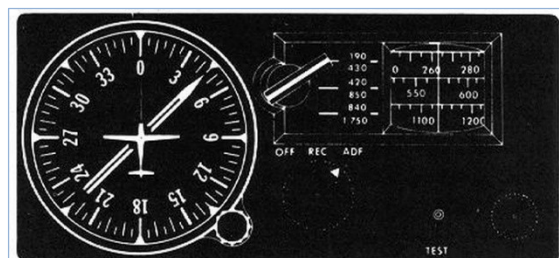


Fig. 3.21 Dibujo ADF receiver

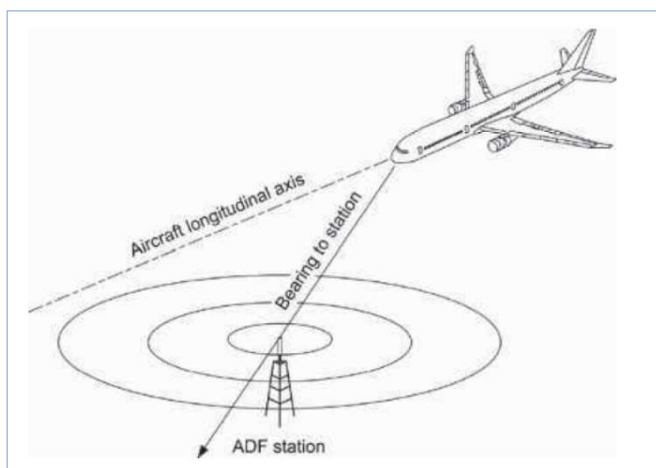


Fig. 3.22. Dibujo Aeronave con ADF .



Fig. 3.23. Fotografía estación NDB

### 3.3.4.- ILS, Instrument Landing System.

El sistema de aterrizaje por instrumentos ILS se utiliza en la aproximación de precisión, y permite operar bajo condiciones mínimas de visibilidad y proporciona guía de dirección, equipo localizador, y ángulo de descenso, equipo senda de planeo, hasta el punto de toma de contacto en la pista, evitando así los obstáculos fijados al terreno que haya en su trayectoria. El ILS dispone de localizador, balizas y senda de planeo GS, Glide Slope.





Fig. 3.24. Dibujo Indicador ILS.

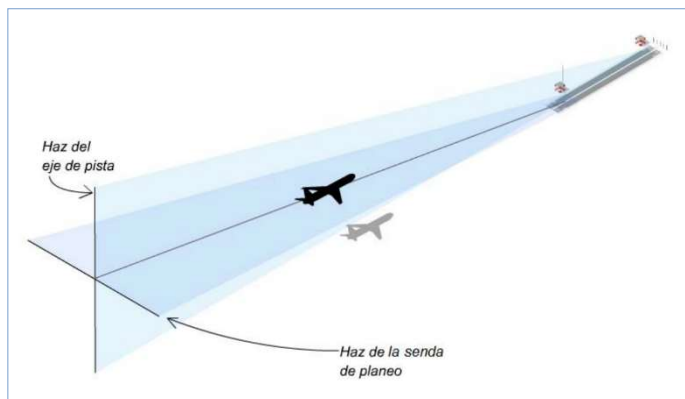


Fig. 3.25. Dibujo senda de planeo del ILS

El indicador ILS sirve para orientar al piloto y centrar la aeronave en el eje de la pista.

El DME mide la distancia desde la aeronave hasta la estación DME en tierra, la cual se emparenta con la frecuencia del Localizador LOC del ILS, con ello forman un sistema de radioayudas en el aeropuerto, como se observa en la Fig. 3.26.

El VOR junto al DME forman un sistema de posicionamiento radio-acimutal que suministra información de distancia y angular.

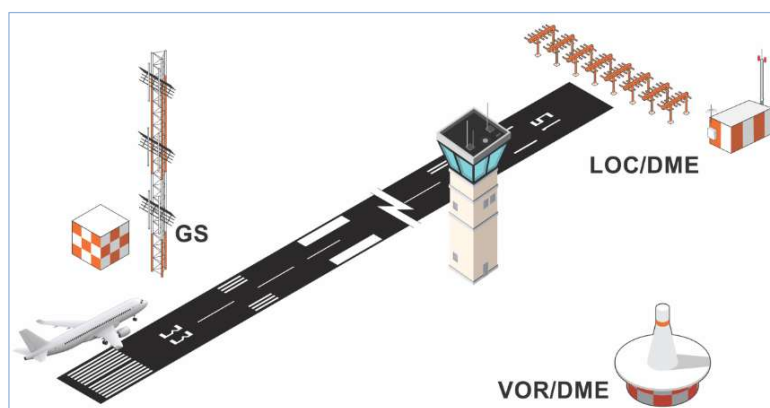


Fig. 3.26. Esquema DME, ILS, LOC

El ILS fue inicialmente puesto en servicio en el año 1932.

El equipo ILS funciona a unas frecuencias de 108 - 112 MHz Localizador y de 328 - 336 MHz en la senda de planeo. El radio de alcance del localizador es de 25 NM y el de la senda de planeo es de 12 NM, con unas potencias eléctricas de 3 W para el localizador.

### 3.3.5.- MLS, Microwave Landing System.

El sistema de aterrizaje por microondas MLS es un sistema para el aterrizaje instrumental de precisión, formado por tres equipos en tierra: el equipo de acimut, AZ, el equipo de elevación, EL, más un DME.

El MLS se consideraba el sucesor del ILS pero el ILS funciona de forma satisfactoria y por ello se mantiene. El MLS funciona a unas frecuencias de 5030-5091 MHz, con un radio de alcance es de 20 NM y de 20.00 pies de altura

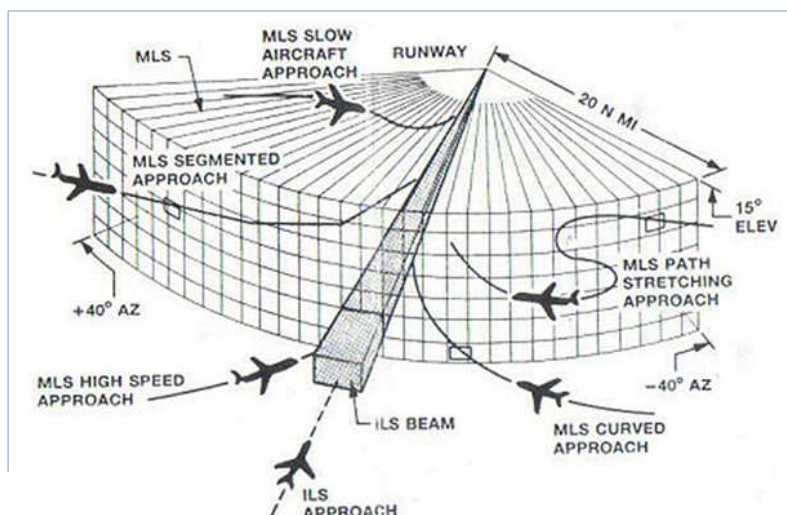


Fig. 3.27. Dibujo aproximación MLS

### 3.4.- La altitud de presión. Presión atmosférica. Atmósfera ISA

En las funciones de vigilancia aeronáutica se encuentra determinar la posición de la aeronave en su trayectoria de vuelo, y uno de los datos de la posición es la altura o altitud a la que vuela, para que el transpondedor transmita su posición al servicio de ATM.

El posicionamiento vertical de las aeronaves en la atmósfera se realiza mediante el instrumento denominado altímetro.



Fig. 3.28. Dibujos Altímetro de tres punteros y Altímetro tipo tambor

La base teórica de la medición se realiza considerando que en cada altura la atmósfera tiene una presión distinta, por lo cual al ascender la aeronave disminuye la presión y al descender de altitud aumenta.

La aeronave dispone de tomas estáticas duplicadas para dar entrada a la presión atmosférica.

El altímetro dispone de una entrada de aire del exterior de forma que el aire se introduce en el interior de un elemento denominado cápsula aneroide que cambia su tamaño dependiendo de si la presión en su interior aumenta o disminuye, y a la vez que cambia su volumen arrastra un muelle que acciona una aguja y ésta mide con un fondo de escala la presión existente.

Por lo tanto se puede medir la altitud de vuelo conociendo la presión de la atmósfera mediante el uso del altímetro.

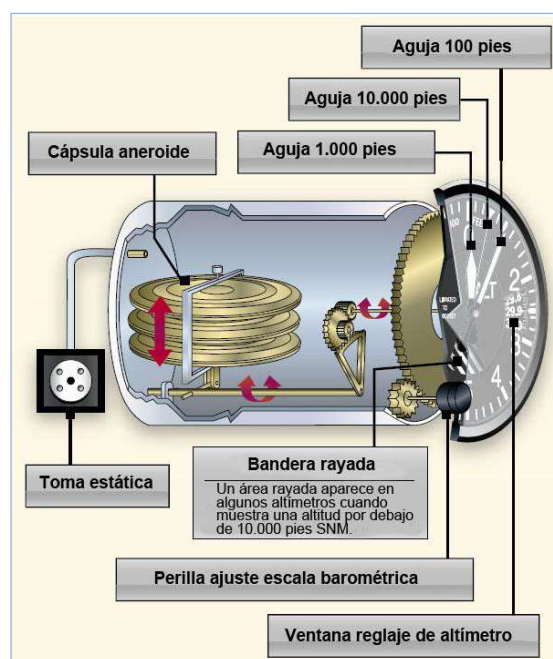


Fig. 3.29. Dibujo: Componentes del altímetro.

Los valores de la presión atmosférica en relación con la altitud no son siempre iguales sino que varían dependiendo de factores como la temperatura del día, la densidad del aire, la humedad, la estacionalidad anual, y la ubicación geográfica.

La OACI en el año 1962 definió la Atmósfera Standard Internacional ISA, como un modelo universal al que considera una temperatura constante de 15<sup>a</sup> C al nivel del mar, todo ello previos estudios y mediciones de temperaturas y a distintas alturas. Con ello la atmósfera ISA es un manual técnico para aplicar las correcciones y realizar cálculos de la presión dependiendo de la temperatura y otros parámetros.

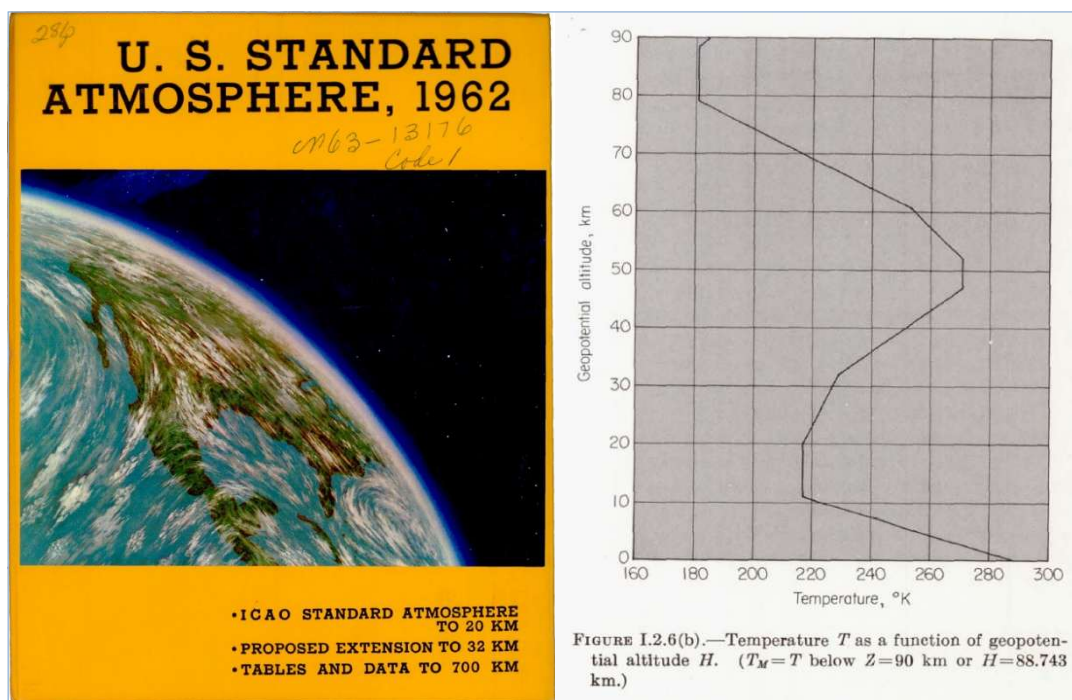


Fig. 3.30. Publicación de NASA U.S. Standard Atmosphere, 1962.  
Gráfica de la variación de temperatura de la atmósfera con la altitud

El hecho de que a cada altitud de la atmósfera le corresponde una presión distinta es la herramienta como escala de medida para que midiendo la presión en el vuelo poder convertir ese valor al valor de la altitud en que se está volando.

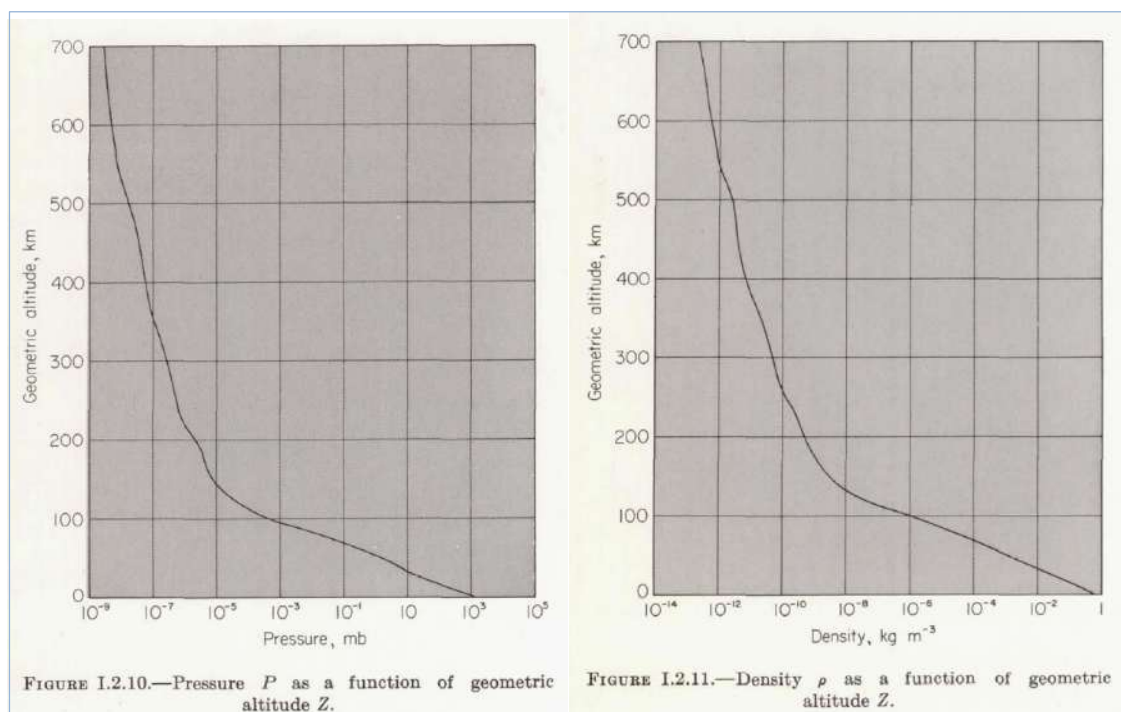


Fig. 3.31. Atmósfera ISA. Gráfica variación de presión y densidad de la atmósfera con la altitud

El documento 9426 "Air Traffic Services Planning Manual" de la OACI, en su Sección 5, Capítulo 1, indica los procedimientos de ajuste del altímetro. El documento define una Transition Layer o Capa Transición que es una zona de la atmósfera por encima de la cual las aeronaves vuelan por niveles de vuelo o Flight Levels.

Si las aeronaves descienden de esta capa y entran en la capa de transición deben preparar sus cálculos para ajustar el altímetro, de forma que al descender y atravesar la parte inferior de la capa de transición las alturas se miden en pies. Es en esta trayectoria cuando la aeronave se dirige al aeropuerto.

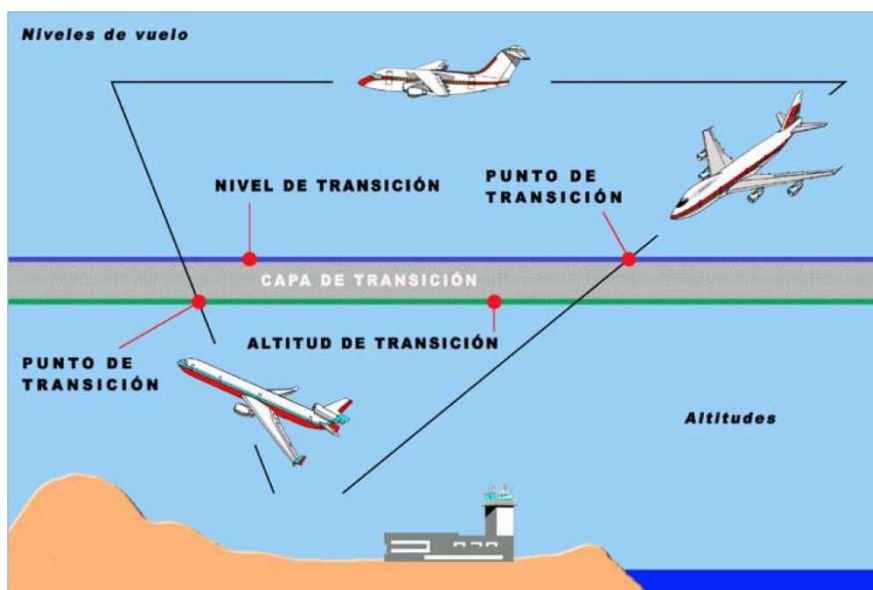


Fig. 3.32. Dibujo capa de transición. Niveles de vuelo encima, altitudes debajo

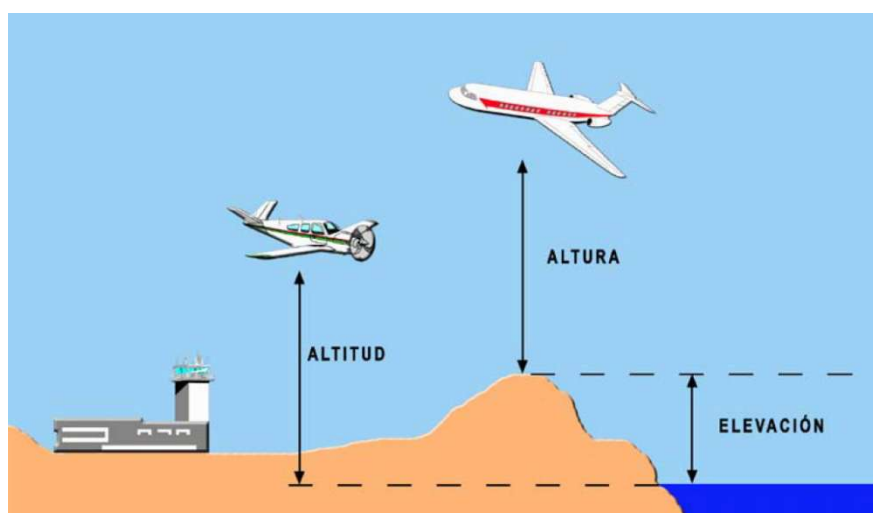


Fig. 3.33.. Dibujo Altitud, Altura, y Elevación.

- **Altura:** Distancia vertical entre un nivel, punto u objeto considerado como punto, y una referencia especificada.
- **Altitud:** Distancia vertical entre un nivel, punto u objeto considerado como punto, y el nivel medio del mar (MSL)
- **Elevación:** Distancia vertical entre un punto o un nivel en la superficie de la tierra, o unido a ella, y el nivel medio del mar
- **Altitud de transición:** Altitud a la cual, o por debajo de la cual, se controla la posición vertical de una aeronave por referencia a altitudes.



Por ello se debe ajustar la calibración del altímetro de la aeronave para indicar en el altímetro setting la presión del aeropuerto cuando se esté en el terreno del aeropuerto para que funcione a presión de altitudes, y después al despegar y pasar la capa de transición, volver a ajustar el altímetro para que funcione a presión de niveles de vuelo.

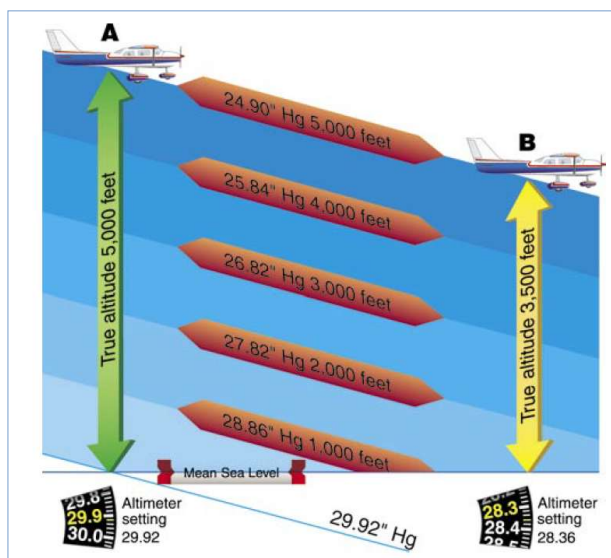


Fig. 3.34. Dibujo ajuste del altímetro por variación de densidad y presión en la atmósfera

#### 4.- Espacio aéreo

La primera legislación Española que indica como es la organización del espacio aéreo español fué el Decreto de 23 de mayo de 1952 por el que se dispone cómo ha de dividirse el espacio aéreo español, de forma que lo divide en las siguientes partes:

*Regiones de Información de Vuelo.*

*Áreas de Control de Vuelo.*

*Zonas de Control de Vuelo.*

*Región Superior de Información de Vuelo.*

*Capa Inferior de libre circulación aérea.*

De esta división en Regiones, Áreas y Zonas, se publicó un mapa de España grafiando la estructura resultante, que se observa en la Fig. 4.1.

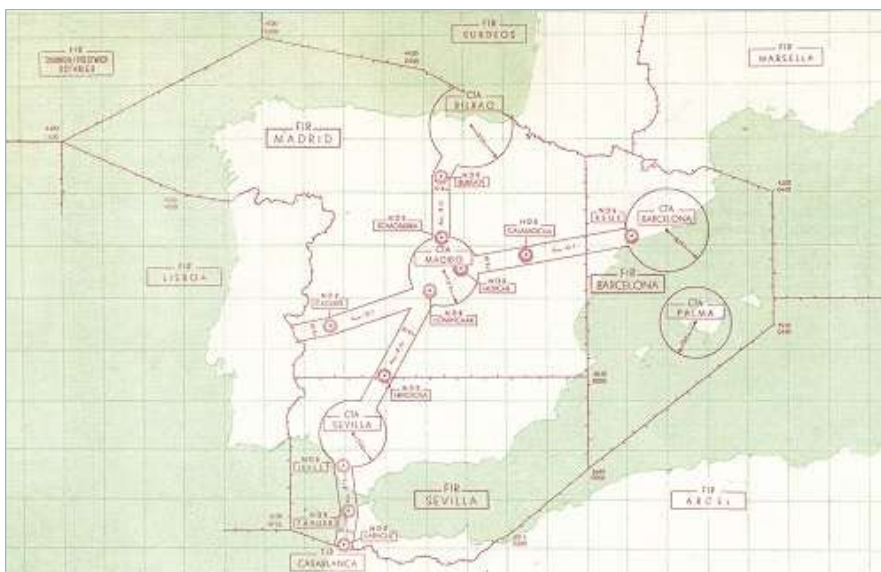


Fig. 4.1.. Mapa de España año 1952. Espacio aéreo y sus Regiones, Áreas y Zonas

El Decreto 3063/1965, de 16 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Aérea, introduce en la legislación española los primeros mapas grafiando las diferentes partes del espacio aéreo español, del cual se reproducen los mapas y gráficos Fig.4.2. , 4.3. y, 4,4

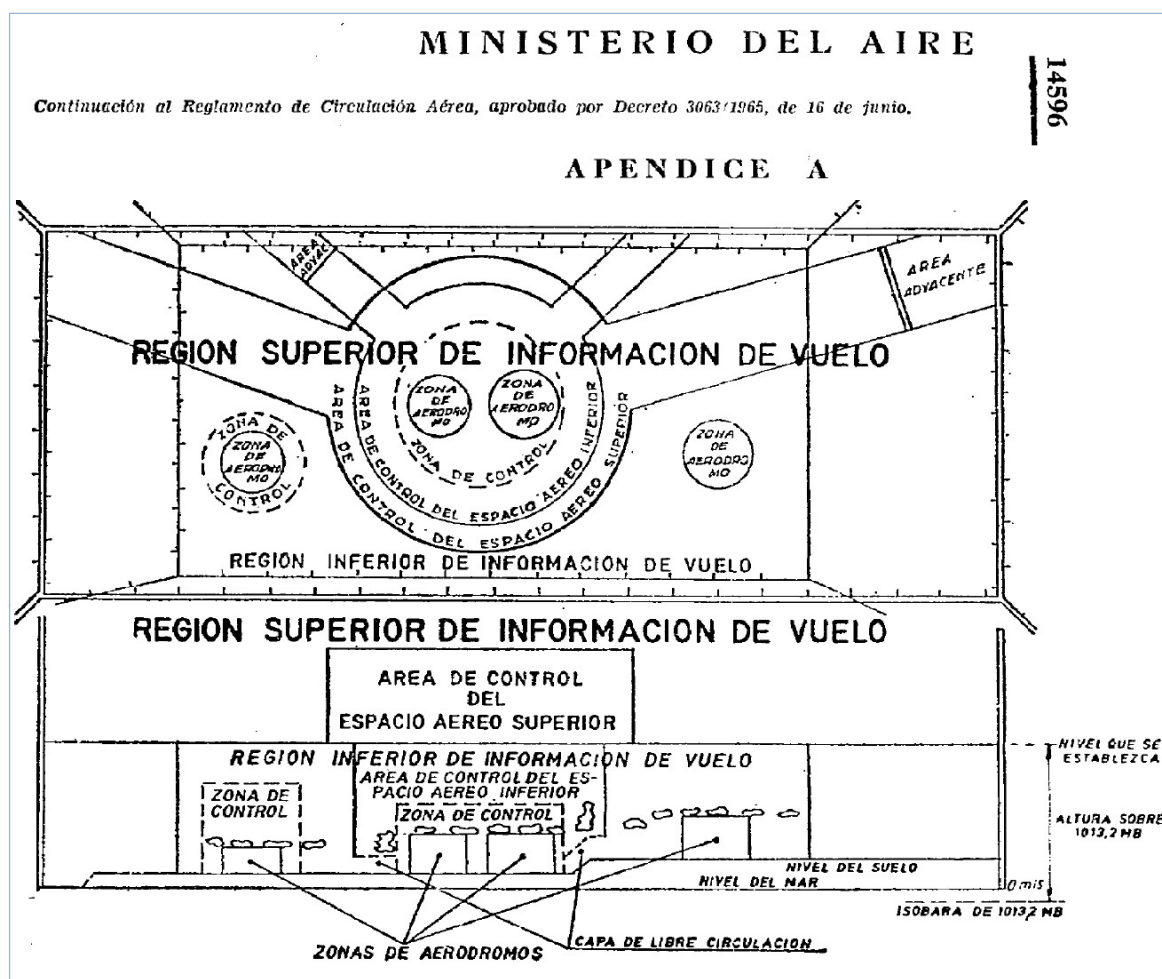


Fig. 4.2. Gráfico año 1965. Estructura del espacio aéreo de España. Fuente: Decreto 3063/1965.

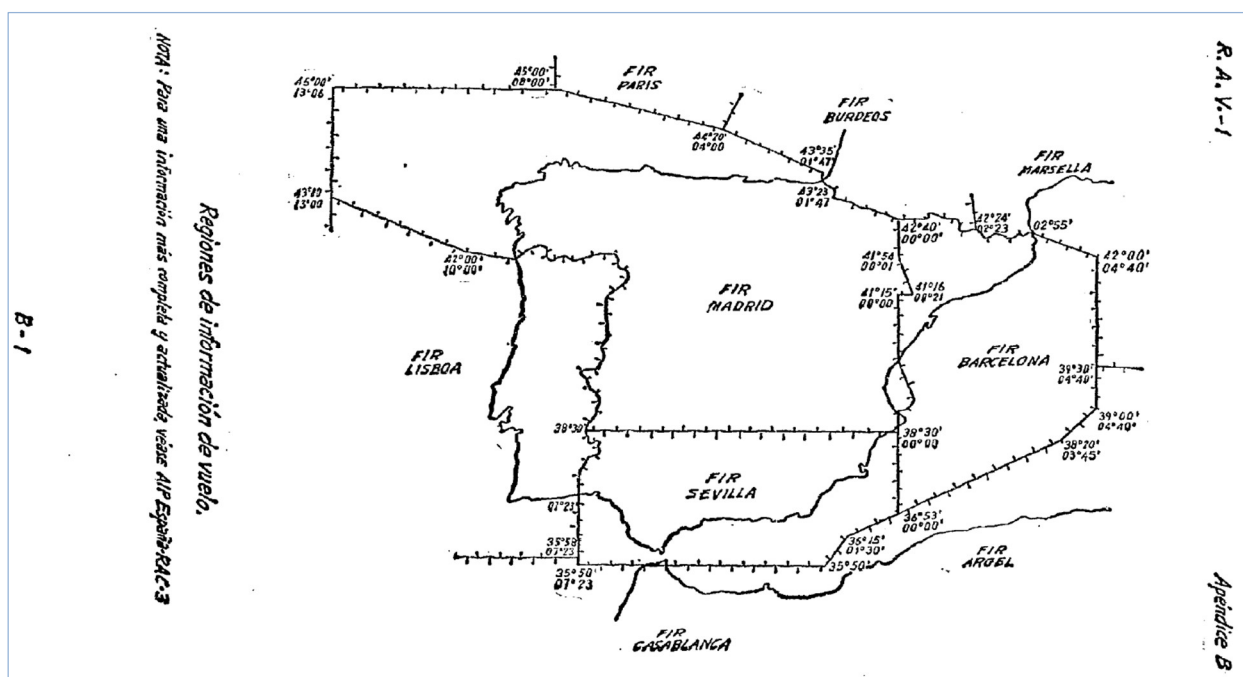


Fig. 4.3. Mapa de España 1965. Espacio aéreo, Regiones, Áreas, Zonas. Fuente: Decreto 3063/1965

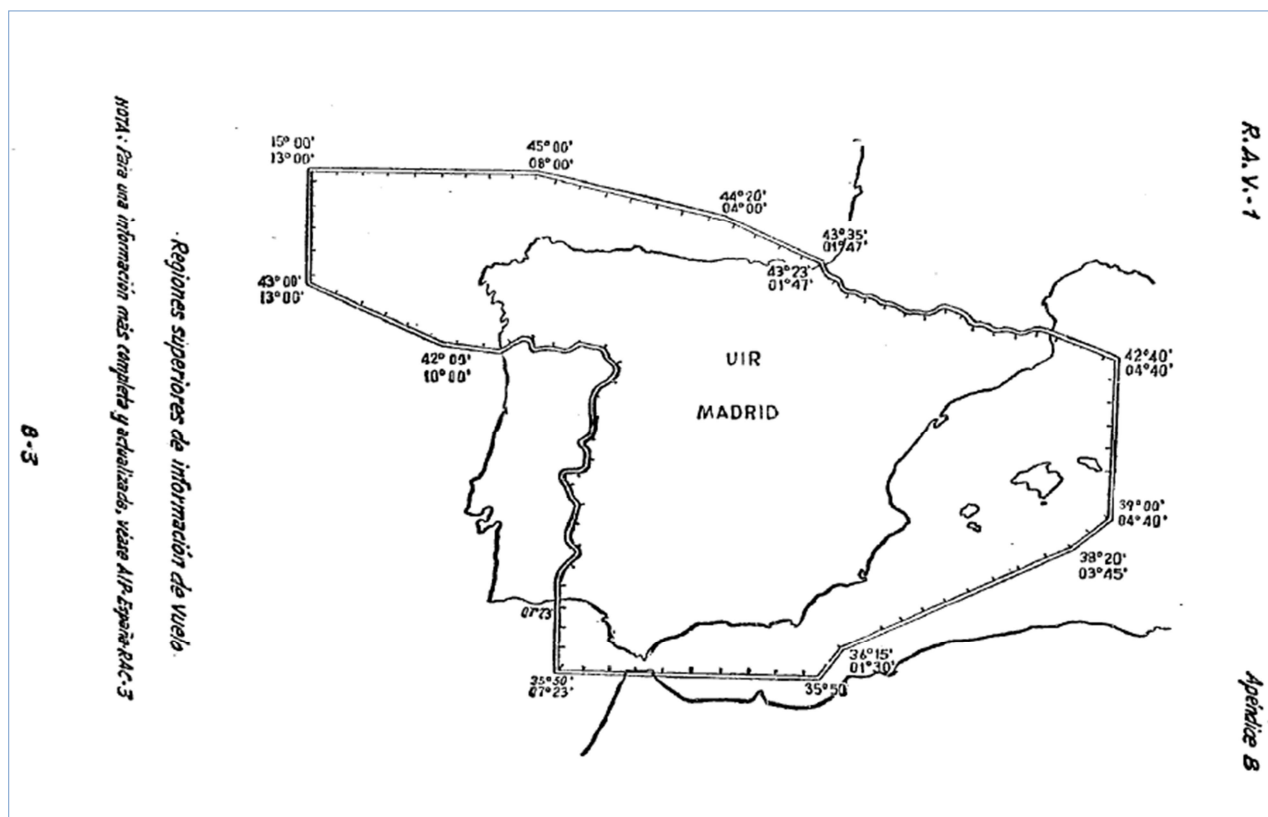


Fig. 4.4.. Mapa de España año 1965. Región Superior de Información de Vuelo. Fuente: Decreto 3063/1965

Previamente la OACI en su constitución configuró 9 Regiones de navegación aérea a nivel mundial:

- Norteamérica (NAM).
- Pacífico (PAC).
- Caribe (CAR).
- Sudamérica (SAM).
- Atlántico Norte
- Europa (EUR).
- África (AFI).
- Oriente Medio (MED).
- Asia (ASIA).

Estas regiones se grafían en la Fig. 4.5..

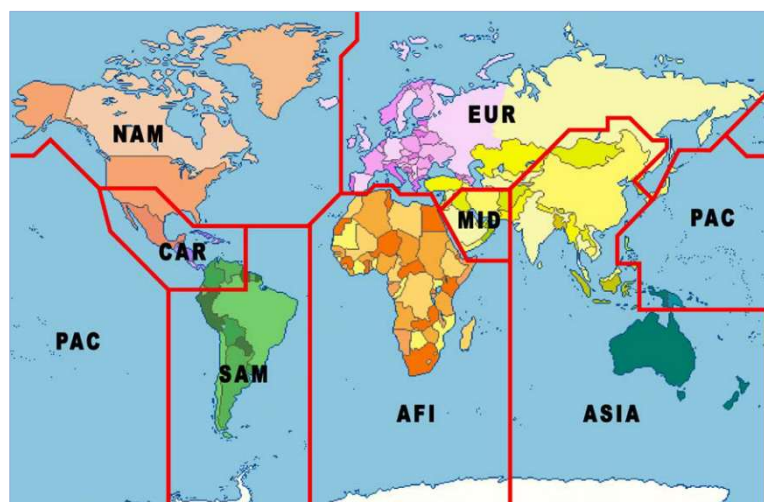


Fig. 4.5. Regiones a nivel mundial de Navegación aérea OACI

#### 4.1.- Espacios aéreos controlados, A, B, C, D, y E, y no controlados, F, y G.

Según el documento de AIP de España, ENR 1.4-1 de 18-APR-24 , de CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ESPACIO AÉREO ATS:

*“ El espacio aéreo ATS en el que se facilita servicio de tránsito aéreo se clasifica en espacio aéreo controlado y espacio aéreo no controlado.*

*El espacio aéreo controlado comprende las áreas de control, aerovías y zonas de control y, en función del tipo de vuelo y los servicios de tránsito aéreo facilitados, se clasifica en clase A, B, C, D y E.*

*El espacio aéreo no controlado comprende el resto del espacio aéreo ATS y, en función del tipo de vuelo y los servicios de tránsito aéreo facilitados, se clasifica en clase F y G. “*

#### 4.2.- Estructuras del espacio aéreo. AWY, CTA, TMA, CTR, ATZ.

- **Aerovías AWY:** Las aerovías son espacios aéreos controlados en forma de corredor, las cuales son necesarias para canalizar el tránsito aéreo entre determinados puntos del espacio aéreo. El límite superior suele ser el límite superior del espacio aéreo, y el límite inferior un límite prefijado.
- **Área de Control Terminal TMA:** Los TMA, Terminal Manoeuvring Area, son áreas controladas que se establecen generalmente sobre uno o varios aeropuertos donde confluyen varias AWY y cuyo objetivo es controlar el tráfico volando bajo reglas instrumental IFR que entra o sale de los mismos.
- **Área de Control CTA:** El CTA, Controlled Traffic Area, se establece encima de uno o varios aeropuertos para los que el tráfico y las dimensiones no justifican un TMA. Si un CTA se localiza en espacio aéreo superior se denomina Área de Control Superior, UTA Upper controlled Traffic Area. Los límites verticales de los TMA y CTA dependen de las necesidades y tendrán unos límites horizontales y verticales específicos, pudiendo a su vez estar divididos en sectores de control. Este espacio aéreo no arranca desde el terreno o el mar, sino que comienza a 300 metros (1.000 pies) por encima de estas referencias con objeto de permitir que por debajo de él los vuelos no controlados lleguen a sus aeropuertos de destino.
- **Zona de Control CTR)** La CTR, Controlled Traffic Region, es un espacio asociado a un aeródromo que tiene por objeto el proteger las entradas y salidas IFR del mismo. Cuando existen varios aeródromos próximos se suele definir un solo CTR que los incluya. Los límites laterales suelen circunscribirse a un cilindro de 5 NM medidas a partir del centro del aeropuerto, el límite inferior es el terreno, y el superior, como mínimo el nivel inferior del CTA o TMA u otra altura prefijada superior a ésta.
- **Zona de Tránsito de Aeródromo ATZ:** Es un espacio aéreo que se establece en un aeródromo cuando el tránsito aéreo visual en éste es intenso, con objeto de que la torre de control pueda controlar las aeronaves que se dirijan al aeródromo o a las que circulan o sobrevuelan el aeródromo o sus cercanías.

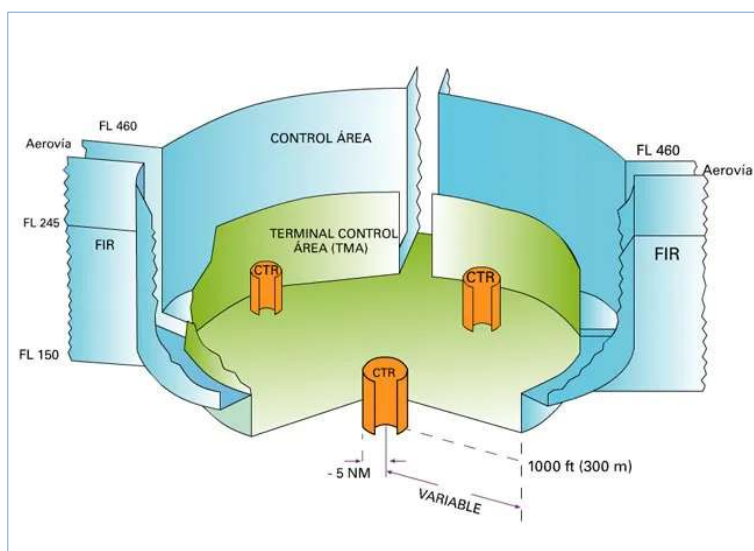


Fig. 4.6. Dibujo de intersección de varios tipos de espacios aéreos controlados.



Esta zona corresponde al movimiento de aeronaves en las proximidades de un aeródromo. La ATZ es un espacio aéreo controlado asociado a un aeródromo que se establece para que la Torre de Control TWR pueda controlar el tránsito de aeródromo y proteger a los vuelos que operan bajo reglas de vuelo visual VFR. Cuando además existe tráfico IFR y se ha establecido un CTR, éste suele englobar al ATZ.

Las aerovías conectan con grandes espacios controlados tanto para hacer llegar aeronaves en ruta, como para evacuarlos.

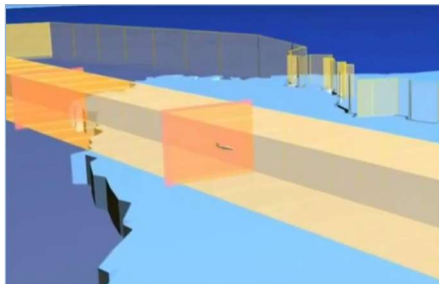


Fig. 4.7. Simulación de aerovía con tránsito de aeronaves.

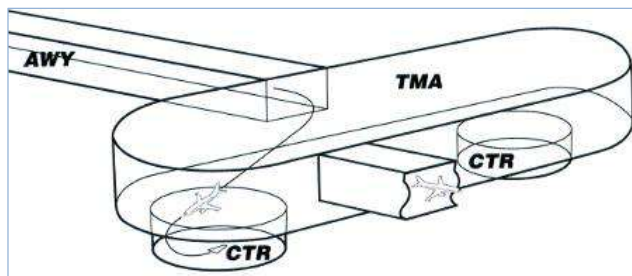


Fig. 4.8. Dibujo de intersección de varios tipos de espacios aéreos controlados, aerovía, con TMA, y TMA con CTR.

Todas las aeronaves que transitan por espacios aéreos controlados deben ser vuelos instrumentales IFR. En la figura xx, se observa como el volumen de espacio aéreo controlado TMA y CTA no llega al suelo, sólo llega el correspondiente al propio aeropuerto CTR, que a su alrededor deja espacio libre de vuelos controlados.

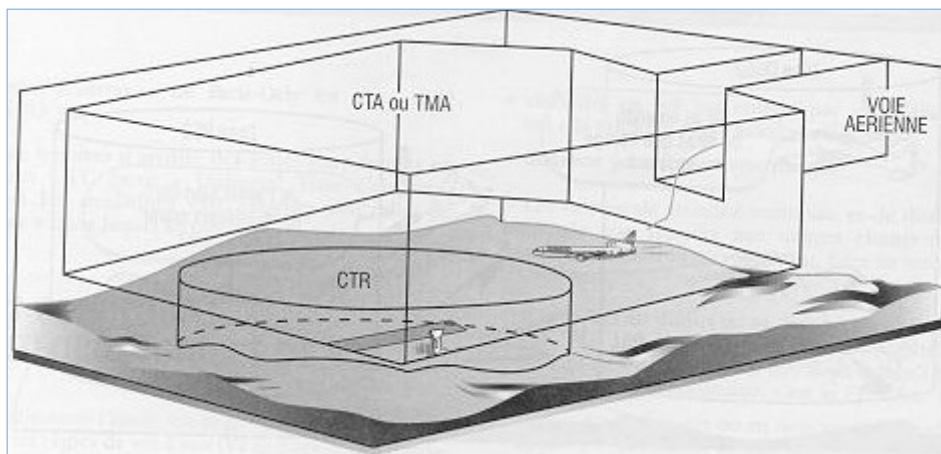


Fig. 4.9. Dibujo de intersección de varios tipos de espacios aéreos controlados, aerovía, con TMA, y TMA con CTR.

En la figura xx, se observa como hay aeronaves que vuelan en dentro de las aerovías que conectan los ATZ, de color verde que son VFR y otras aeronaves vuelan fuera del espacio aéreo controlado, por lo que son vuelos visuales VFR.

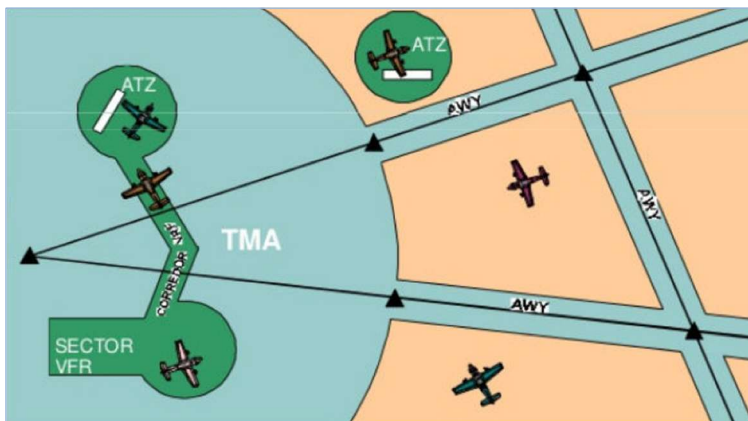


Fig. 4.10. Dibujo de aviones volando fuera del espacio controlado en visual VFR

### 4.3.- Cartas de navegación aérea. AIP. ENAIRE

El Reglamento de Circulación Aérea según RD Real Decreto 57/2002, define Carta aeronáutica como: *“Representación de una porción de la tierra, su relieve y construcciones, diseñada especialmente para satisfacer los requisitos de la navegación aérea.”*

ENAIRE ofrece información de cartas de navegación aérea de España en el servicio documental AIP cuya página web es la siguiente: <https://aip.enaire.es/AIP/AIP-es.html> . En esta página se puede consultar la cartografía digital aeronáutica vigente de España en el servicio INSIGNIA de ENAIRE: <https://insignia.enaire.es>

La Fig. 4.11 es la carta digital aeronáutica de ENARIE donde indica el TMA de Valencia que engloba los aeropuertos de Valencia, Castellón, y Alicante en un área cuyo perímetro es la línea de color azul cian.

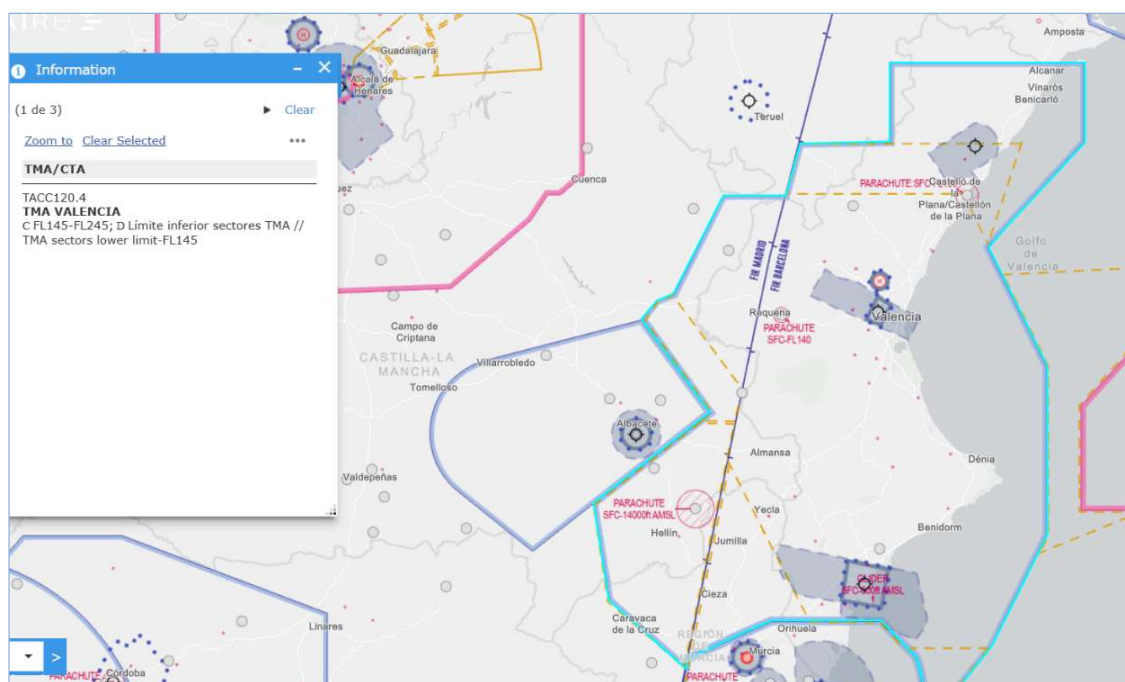


Fig. 4.11. Cartografía digital aeronáutica. TMA de Valencia, color azul cian Fuente: <https://insignia.enaire.es/>

La Fig. 4.12 es la carta digital aeronáutica de ENARIE donde indica el CTR de Valencia en un área cuyo perímetro es la línea de color azul cian.

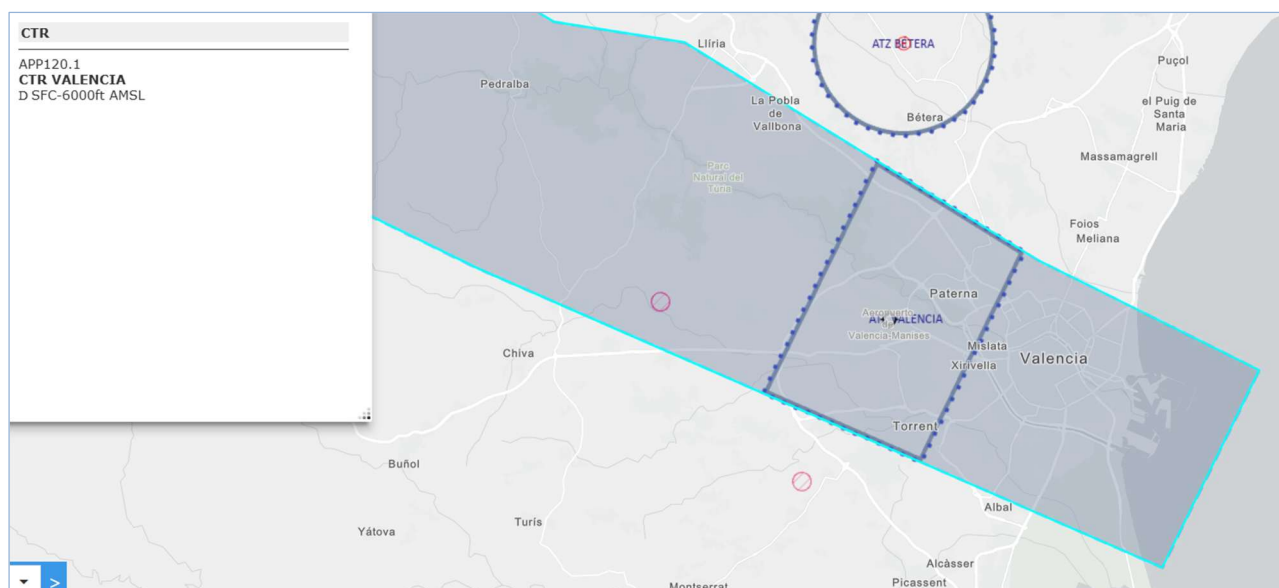


Fig. 4.12. Cartografía digital aeronáutica. CTR de Valencia, color azul cian. Fuente: <https://insignia.enaire.es/>

La Fig. 4.13 es la carta digital aeronáutica de ENARIE donde indica el ATZ de Valencia en un área cuyo perímetro es la línea de color azul cian.

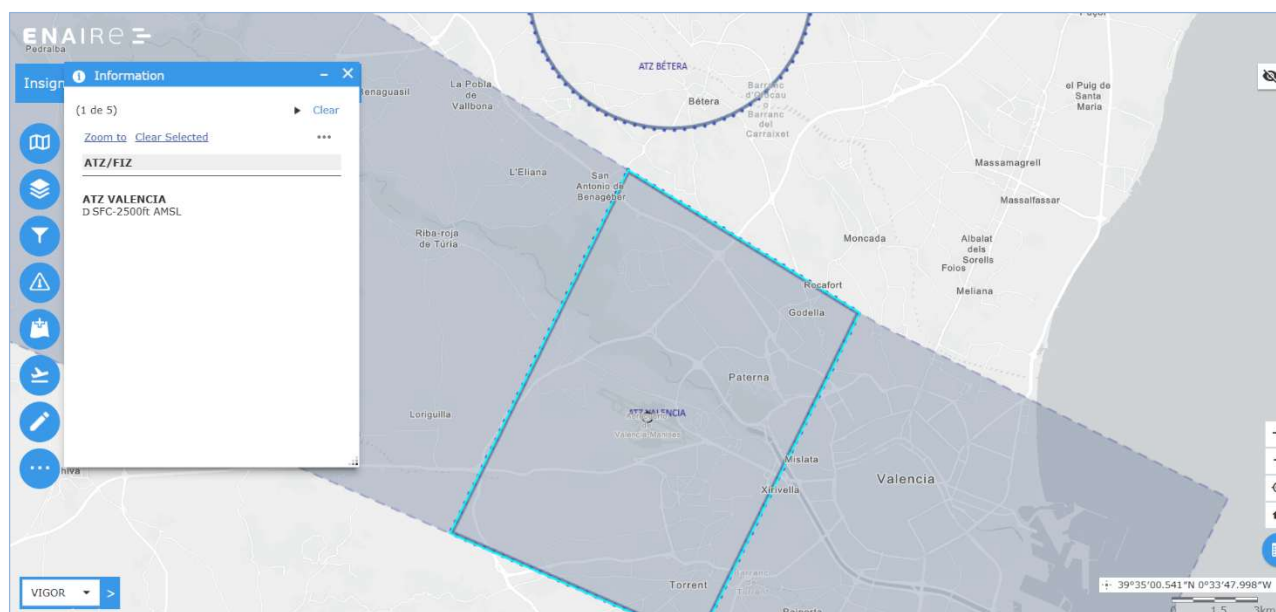


Fig. 4.13. Cartografía digital aeronáutica. ATZ de Valencia, color azul cian. Fuente: <https://insignia.enaire.es/>

En estas 3 cartas muestran la estructura del espacio aéreo en Valencia, el TMA, el CTR, y el ATZ, donde el TMA Valencia engloba 3 aeropuertos, Valencia, Castellón y Alicante, y el control del TMA se realiza desde Valencia.

Resumen conceptual :

- ATZ - AERODROME TRAFFIC ZONE - Zona de Tránsito de Aeródromo - Torre de Control TWR - aeronaves circulan o sobrevuelan.
- CTR - CONTROLLED TRAFFIC REGIÓN - Región de Tráfico Controlado - espacio aeródromo - cilindro 5 NM - del centro aeropuerto - lím inferior terreno - lím superior bajo CTA o TMA .
- CTA - CONTROLLED TRAFFIC AREA - Área de Control de Tráfico - uno o varios aeropuertos - no justifican un TMA.
- TMA - TERMINAL MANOEUVERING AREA - Área de Control Terminal - confluyen varias AWY.
- AWY - AIRWAY, Aerovías .

En el AIP de ENAIRE se encuentran las cartas de aeronavegación En Ruta ENR. En la Figura 4.14. Se muestra la correspondiente al nivel Inferior de la península, Sector Este, Valencia.

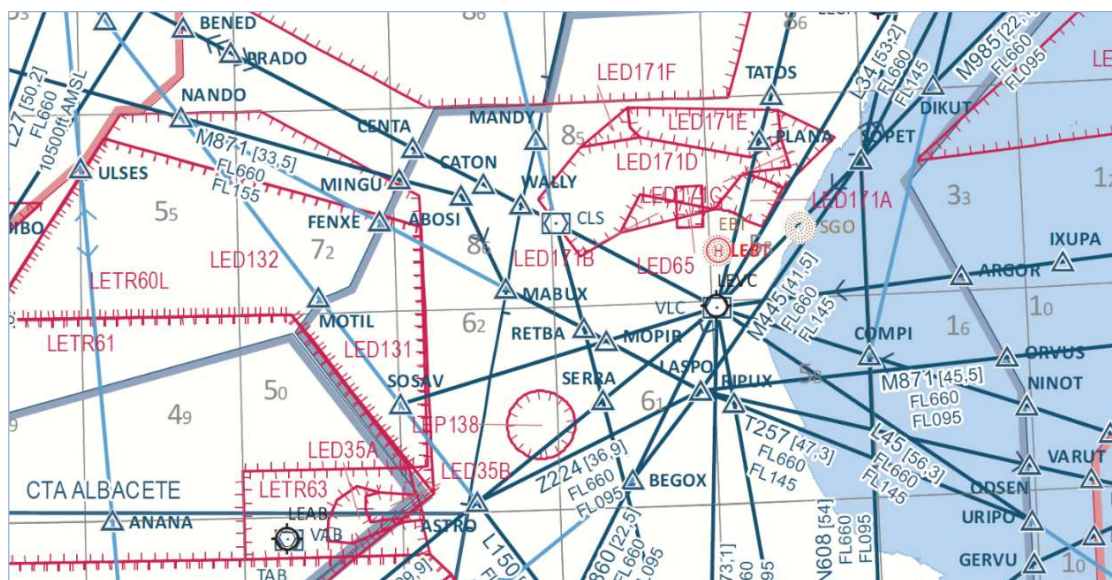


Fig. 4.14. Carta de aeronavegación En ruta, ENR\_Peninsula\_Inferior, Sector Este. Valencia Fuente: <https://aip.enaire.es/AIP/>



[illegible]

Trabajo Fin de Máster - páq. nº 35



Actualmente siguen utilizándose radioayudas para la navegación aérea como el VOR, DME, y NDB que la legislación española regula su uso en el Real Decreto 57/2002 del reglamento de Circulación Aérea:

**Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Aérea.**

**APÉNDICE - N. Principios que regulan el establecimiento e identificación de rutas ATS y puntos significativos . ADJUNTO - 4. Texto relativo al establecimiento de rutas normalizadas de salida y de llegada y a los procedimientos conexos**

## 2. Rutas normalizadas de salida y de llegada - vuelo por instrumentos

2.7. Los puntos importantes de las rutas normalizadas de salida y de llegada para vuelo por instrumentos, que requieran que la navegación se efectúe con referencia a instalaciones situadas en tierra, particularmente los puntos en que se especifica un cambio de derrota deberán, en lo posible, establecerse en posiciones señaladas por el emplazamiento de una radioayuda para la navegación, preferentemente VHF. Cuando esto no sea posible, los puntos importantes deberán establecerse en posiciones definidas por:

- a) VOR/DME;
- b) VOR/DME y un radial VOR; o
- c) intersecciones de radiales VOR.

El uso de marcaciones NDB debe mantenerse al mínimo, y no deberán utilizarse balizas de abanico.

## **4.4.- Plan de Vuelo. Tracks. Waypoints.**

El plan de vuelo indica la ruta por la que ha de volar la aeronave y esta ruta está definida por diferentes puntos significativos o waypoints. El término WAYPOINT se define como punto de recorrido, según indica la Orden PRE/697/2008, de 12 de marzo, por la que se introducen modificaciones en el Reglamento de Circulación Aérea.

Punto significativo es un lugar geográfico especificado, utilizado para definir la ruta ATS o la trayectoria de vuelo de una aeronave y para otros fines de navegación y ATS, tal y como define el Reglamento de ejecución UE nº 923/2012, del Reglamento del aire. Las radioayudas VOR, DME, son puntos significativos.

La ruta o track de vuelo presenta una trayectoria formada por waypoints o puntos significativos que representan la posición geográfica de las radioayudas y también por otros waypoints o puntos geográficos sobre el terreno que no están vinculados a ninguna instalación o edificación y que han sido indicados en las rutas de las cartas de navegación aérea por los servicios de ATM. Entre waypoints la ruta tiene los segmentos de ruta, que es porción de ruta que suele recorrerse sin parada intermedia y une dos puntos significativos, tal y como se observa en la Fig. 4.17.

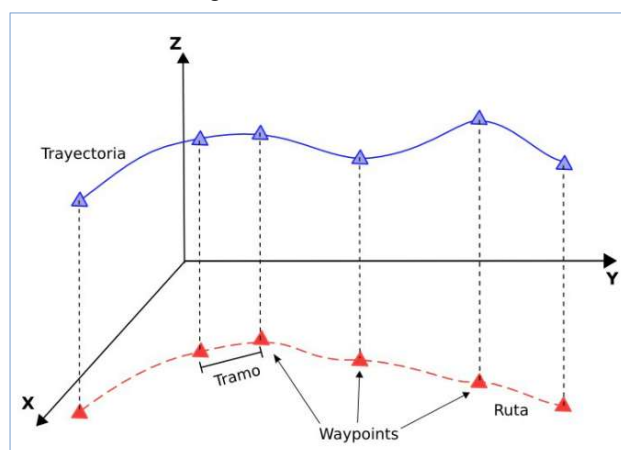


Fig. 4.17. Dibujo de ruta, con la trayectoria formada por waypoints

El Plan de vuelo se define en el Doc. 4444, Gestión del Tránsito Aéreo, de la OACI como la información del vuelo que se haya proyectado y que debe presentarse a la administración que los supervisa que es el servicio de tránsito aéreo, y ello según lo siguiente:

**“Capítulo 1. Definiciones.**

**Plan de vuelo.** Información especificada que, respecto a un vuelo proyectado o a parte de un vuelo de una aeronave, se somete a las dependencias de los servicios de tránsito aéreo. “

El formulario del Plan de vuelo se publica en el apartado ADJUNTO C del Real Decreto 1180/2018, de 21 de septiembre, por el que se desarrolla el Reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea.

**ADJUNTO C**

**Plan de vuelo y plan de vuelo repetitivo**

**1. Formulario de plan de vuelo**

| FLIGHT PLAN<br>PLAN DE VUELO                                                                                                                         |                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 1. MESSAGE TYPE<br>Tipo de mensaje<br>FF                                                                                                             | 2. ADDRESS(ES)<br>Destinatario(s)                           |
| 3. FILMS TIME<br>Hora de despacho                                                                                                                    | 4. ORIGINATOR<br>Remitente                                  |
| 5. SPECIFIC IDENTIFICATION OF ADDRESSEES AND/OR ORIGINATOR<br>Identificación específica de los destinatarios o del remitente                         |                                                             |
| 6. MESSAGE TYPE<br>Tipo de mensaje<br>(FPL)                                                                                                          | 7. AIRCRAFT IDENTIFICATION<br>Identificación de la aeronave |
| 8. NUMBER<br>Número                                                                                                                                  | 9. FLIGHT RULES<br>Reglas de vuelo                          |
| 10. TYPE OF FLIGHT<br>Tipo de vuelo                                                                                                                  | 11. WAKE TURBULENCE CAT.<br>Cat. de turbulencia de estela   |
| 12. TYPE OF AIRCRAFT<br>Tipo de aeronave                                                                                                             | 13. DEPARTURE AERODROME<br>Aeródromo de salida              |
| 14. CRUISING SPEED<br>Velocidad de crucero                                                                                                           | 15. TIME<br>Hora                                            |
| 16. DESTINATION AERODROME<br>Aeródromo de destino                                                                                                    | 17. ALTITUDE<br>Altitud                                     |
| 18. TOTAL FUEL<br>Combustible total                                                                                                                  | 19. ALTITUDE<br>Altitud                                     |
| 20. 2ND ALTITUDE<br>2ª altitud                                                                                                                       | 21. 3RD ALTITUDE<br>3ª altitud                              |
| 22. SUPPLEMENTARY INFORMATION NOT TO BE TRANSMITTED BY MESSAGE<br>Información suplementaria (EN LOS MENSAJES FPL, NO HAY QUE TRANSMITIR ESTOS DATOS) |                                                             |
| 23. ENDURANCE<br>Autonomía                                                                                                                           | 24. PERSONS ON BOARD<br>Personas a bordo                    |
| 25. AIRCRAFT IDENTIFICATION<br>Identificación de la aeronave                                                                                         | 26. JACKETED/FAHOMED<br>Cubierta/medida                     |
| 27. NUMBER<br>Número                                                                                                                                 | 28. CAPACITY<br>Capacidad                                   |
| 29. COVER<br>Cubierta                                                                                                                                | 30. COLOUR<br>Color                                         |
| 31. AIRCRAFT IDENTIFICATION<br>Identificación de la aeronave                                                                                         | 32. REMARKS<br>Observaciones                                |
| 33. PILOT-IN-COMMAND<br>Piloto al mando                                                                                                              | 34. FILED BY / Presentado por                               |
| 35. SPACE RESERVED FOR ADDITIONAL REQUIREMENTS<br>Espacio reservado para requisitos adicionales                                                      |                                                             |

El nivel de crucero se define en el Reglamento de ejecución UE nº 923/2012, según lo siguiente:

**REGLAMENTO DE EJECUCIÓN (UE) nº 923/2012 DE LA COMISIÓN de 26 de septiembre de 2012 por el que se establecen el reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea, y por el que se modifican el Reglamento de Ejecución (UE) nº 1035/2011 y los Reglamentos (CE) nº 1265/2007, (CE) nº 1794/2006, (CE) nº 730/2006, (CE) nº 1033/2006 y (UE) nº 255/2010**

**Artículo 2 . Definiciones**

A efectos del presente Reglamento, se entenderá por:

63) «nivel de crucero»: un nivel que se mantiene durante una parte considerable del vuelo;

78) «nivel de vuelo (FL)»: una superficie de presión atmosférica constante relacionada con determinada referencia de presión, 1 013,2 hectopascales (hPa), separada de otras superficies análogas por determinados intervalos de presión;

93) «nivel»: término genérico referente a la posición vertical de una aeronave en vuelo, que significa indistintamente altura, altitud o nivel de vuelo;

Los niveles de vuelo o de crucero se indican en la legislación española en el Anexo I del RD 1180/2018 del Reglamento del Aire. La escala es desde FL10, 1.000 pies, hasta FL510, 51.000 pies. El cambio de nivel se realiza considerando si la aeronave vuela en rumbo de 090 grados a 269 grados con niveles de vuelo impares, o de 270 grados a 089 grados, niveles de vuelo pares. Todo ello el RD 1180/2018 lo indica según lo siguiente:

| ANEXO I                                              |          |       |             |          |       |                                          |          |       |             |          |       |
|------------------------------------------------------|----------|-------|-------------|----------|-------|------------------------------------------|----------|-------|-------------|----------|-------|
| Tabla de niveles de crucero/Table of cruising levels |          |       |             |          |       |                                          |          |       |             |          |       |
| MAGNETIC TRACK                                       |          |       |             |          |       |                                          |          |       |             |          |       |
| From 090 degrees to 269 degrees (ODD's)              |          |       |             |          |       | From 270 degrees TO 089 degrees (EVEN's) |          |       |             |          |       |
| IFR Flights                                          |          |       | VFR Flights |          |       | IFR Flights                              |          |       | VFR Flights |          |       |
| FL                                                   | Altitude |       | FL          | Altitude |       | FL                                       | Altitude |       | FL          | Altitude |       |
|                                                      | Metres   | Feet  |             | Metres   | Feet  |                                          | Metres   | Feet  |             | Metres   | Feet  |
| 10                                                   | 300      | 1000  | —           | —        | —     | 20                                       | 600      | 2000  | —           | —        | —     |
| 30                                                   | 900      | 3000  | 35          | 1050     | 3500  | 40                                       | 1200     | 4000  | 45          | 1350     | 4500  |
| 50                                                   | 1500     | 5000  | 55          | 1700     | 5500  | 60                                       | 1850     | 6000  | 65          | 2000     | 6500  |
| 70                                                   | 2150     | 7000  | 75          | 2300     | 7500  | 80                                       | 2450     | 8000  | 85          | 2600     | 8500  |
| 90                                                   | 2750     | 9000  | 95          | 2900     | 9500  | 100                                      | 3050     | 10000 | 105         | 3200     | 10500 |
| 110                                                  | 3350     | 11000 | 115         | 3500     | 11500 | 120                                      | 3650     | 12000 | 125         | 3800     | 12500 |
| 130                                                  | 3950     | 13000 | 135         | 4100     | 13500 | 140                                      | 4250     | 14000 | 145         | 4400     | 14500 |
| 150                                                  | 4550     | 15000 | 155         | 4700     | 15500 | 160                                      | 4900     | 16000 | 165         | 5050     | 16500 |
| 170                                                  | 5200     | 17000 | 175         | 5350     | 17500 | 180                                      | 5500     | 18000 | 185         | 5650     | 18500 |
| 190                                                  | 5800     | 19000 | 195         | 5950     | 19500 | 200                                      | 6100     | 20000 |             |          |       |
| 210                                                  | 6400     | 21000 |             |          |       | 220                                      | 6700     | 22000 |             |          |       |
| 230                                                  | 7000     | 23000 |             |          |       | 240                                      | 7300     | 24000 |             |          |       |
| 250                                                  | 7600     | 25000 |             |          |       | 260                                      | 7900     | 26000 |             |          |       |
| 270                                                  | 8250     | 27000 |             |          |       | 280                                      | 8550     | 28000 |             |          |       |
| 290                                                  | 8850     | 29000 |             |          |       | 300                                      | 9150     | 30000 |             |          |       |
| 310                                                  | 9450     | 31000 |             |          |       | 320                                      | 9750     | 32000 |             |          |       |
| 330                                                  | 10050    | 33000 |             |          |       | 340                                      | 10350    | 34000 |             |          |       |
| 350                                                  | 10650    | 35000 |             |          |       | 360                                      | 10950    | 36000 |             |          |       |
| 370                                                  | 11300    | 37000 |             |          |       | 380                                      | 11600    | 38000 |             |          |       |
| 390                                                  | 11900    | 39000 |             |          |       | 400                                      | 12200    | 40000 |             |          |       |
| 410                                                  | 12500    | 41000 |             |          |       | 430                                      | 13100    | 43000 |             |          |       |
| 450                                                  | 13700    | 45000 |             |          |       | 470                                      | 14350    | 47000 |             |          |       |
| 490                                                  | 14950    | 49000 |             |          |       | 510                                      | 15550    | 51000 |             |          |       |

Las fases del plan de vuelo son, rodadura, despegue, ascenso, salida, En ruta ( crucero ),descenso, llegada, y aterrizaje, y todo ello para volar del aeropuerto de origen hasta el aeropuerto de destino, como se observa en la Fig. 4.18.

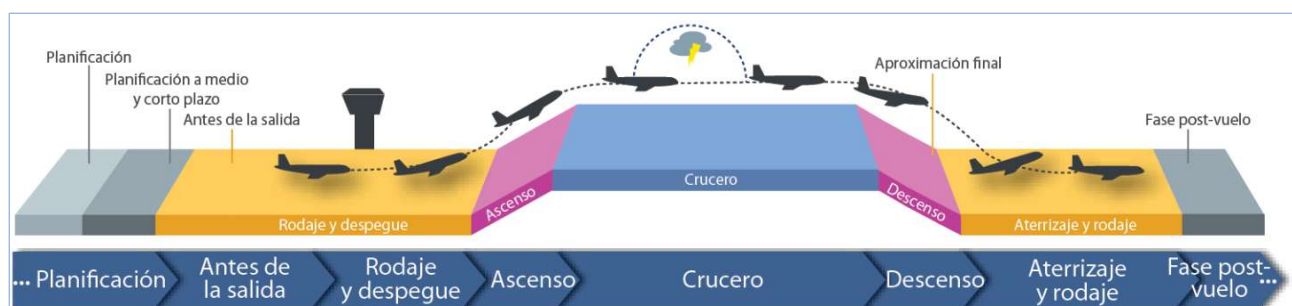


Fig. 4.18. Fases del plan de vuelo. Fuente: EUROCONTROL. Plan maestro ATM europeo. Resumen ejecutivo. 2015

## 5.- Cielo único europeo. SESAR. ASTERIX

### 5.1.- Cielo único europeo. Single European Sky

En el año 2004 la Unión Europea aprobó la normativa del proyecto de organización y utilización del espacio aéreo en el cielo único europeo, mediante el Reglamento (CE) nº 551/2004 del Parlamento Europeo Y Del Consejo de 10 de marzo.

Este proyecto conocido como Single European Sky, de acrónimo SES, pretende reformar el sistema de gestión de la navegación aérea de la Unión Europea, con el objetivo de que el transporte aéreo sea más eficaz, mediante la armonización y mejora de la eficiencia de los servicios de navegación aérea en la Unión Europea y así poder aumentar la capacidad del control aéreo, mejorando la seguridad, y disminuir la fragmentación del espacio aéreo europeo.

La creación de este cielo único europeo supone la realización de cambios no solo en Europa si no también en el resto del mundo, dado que OACI debe aplicar esta modificación en sus textos legislativos como la nueva estructura de regiones de vuelo a nivel mundial al haber ahora la nueva única región superior de información de vuelo europea EUIR.

Uno de los objetivos más importantes es que con la gestión de afluencia del tránsito aéreo se aprovechen al máximo las capacidades disponibles en el uso del espacio aéreo. El proyecto de cielo único europeo apoya las decisiones operativas de los proveedores de servicios de navegación aérea, los operadores de los aeropuertos y los usuarios del espacio aéreo, y gestiona las áreas siguientes:

- planificación de los vuelos
- uso de la capacidad disponible del espacio aéreo durante todas las fases del vuelo, incluida la asignación de franjas horarias
- creación de una única publicación para las rutas y orientación del tránsito,

La iniciativa proyecto de cielo único europeo surge de los problemas derivados en la navegación aérea, como son los retrasos de los vuelos comunitarios, así como para resolver los problemas del uso civil y militar y promover la transferencia de tecnologías. Por lo que la búsqueda de reducción de tiempos de vuelo, los costes de vuelo, y la reducción de la contaminación por el consumo de combustible de los aviones, son pilares básicos de este proyecto.

En Europa las regiones de vuelo están reguladas por Eurocontrol.

En la Figura 5.1 se observan las regiones actuales.

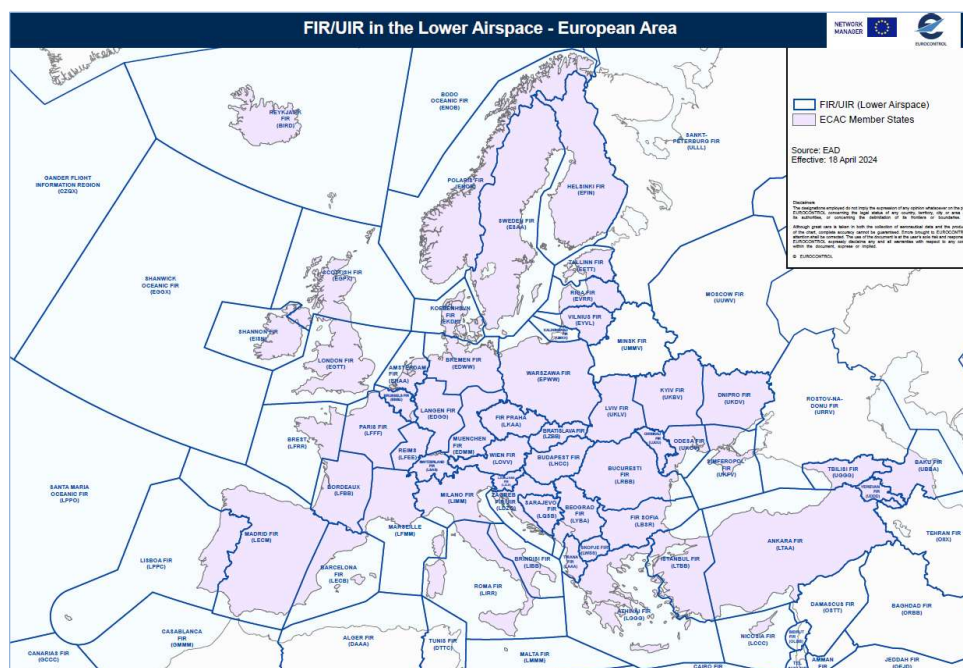


Fig. 5.1. Mapa de las regiones de vuelo de Europa. FIR/UIR espacio aéreo. Fuente: EUROCONTROL



## 5.2.- SESAR.

En el ámbito del proyecto de cielo único europeo se constituye el programa SESAR, Single European Sky ATM Research, un proyecto para desarrollar e implantar el sistema común de gestión del tráfico aéreo. Los objetivos generales de SESAR pasan por gestionar un aumento del volumen del tráfico aéreo hasta el triple del actual, incrementar por un factor de 10 la seguridad en el tráfico aéreo, reducir el 10% el impacto medioambiental de cada vuelo y reducir a la mitad los costes asociados a la gestión del tráfico aéreo.



Fig. 5.2. Logo SESAR

SESAR es el encargado de desarrollar, tecnológicamente y operativamente, el futuro sistema de gestión de tráfico aéreo europeo, y trabaja para la implantación de una red ATM europea de altas prestaciones, nacida de la necesidad de crear una visión integrada sobre la evolución del sistema de gestión de tráfico europeo.

Los grandes objetivos del proyecto SESAR son:

- Generar herramientas avanzadas de control del tráfico aéreo
- Implantar técnicas para conseguir Aeropuertos Inteligentes
- Adaptarse a la movilidad futura y nuevos horizontes (tecnología digital, mercado no tripulados)
- Automatización e inteligencia artificial
- Cambio climático

## 5.3.- ASTERIX.

Antes de 1986 los datos de radar se codificaban en distintos idiomas en distintos países, lo cual dificultaba el intercambio de datos entre centros de control aéreo, y para solucionarlo, Eurocontrol presentó un formato estándar para toda Europa y que fue desarrollado dando un nuevo lenguaje de intercambio de datos, el protocolo ASTERIX. En 1986 fue aprobado el proyecto ASTERIX con la novedosa estructura de mensaje destinada a la vigilancia aeronáutica de sistemas radar.



Fig. 5.3. Logo ASTERIX

ASTERIX es un protocolo de transmisión de datos compacto que requiere el mínimo ancho de banda posible, y permite codificar cualquier tipo de datos. El protocolo es abierto por lo cual la definición y especificaciones son gratuitas. ASTERIX es un estándar mundial para el intercambio de datos.

El sistema ASTERIX de intercambio de información de vigilancia de EUROCONTROL, es un conjunto de documentos que definen la implementación de bajo nivel de un formato de datos utilizado para el intercambio de información relacionada con la vigilancia y otras aplicaciones ATM.

ASTERIX está diseñado para medios de comunicación con ancho de banda limitado. Por ello, sigue reglas que le permiten transmitir toda la información necesaria con la menor carga de datos posible.

En la Fig. 5.4 se observa la estructura de datos para la especificación de ASTERIX CAT 021.

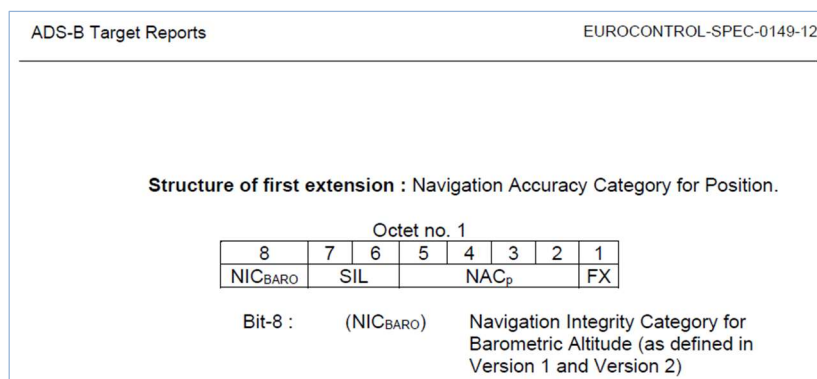


Fig. 5.4. Imagen de la estructura de datos en ASTERIX. Fuente: EUROCONTROL

## 6.- Tecnología de antenas, Radar y comunicaciones aeronáuticas

En este apartado se dan unos conceptos muy básicos de antenas de comunicación para entender los conceptos de radar y transpondedor del capítulo 7.

Las comunicaciones aeronáuticas se realizan mediante transmisión de señal electromagnética vía radio, y para ello se necesita un equipo de transmisión de señal electromagnética con su antena, y un equipo receptor de la señal también dotado de antena.

Cuando un equipo emisor de radio procesa una información de forma que la codifica, la modula y la emite a través de una antena, es por medio del canal radioeléctrico donde se envía vía aire la información en forma de campo electromagnético, que al llegar al equipo receptor en un proceso inverso de demodulación, decodificación obtiene la información transmitida, como se observa en la Fig. 6.1 del diagrama de bloques de un sistema vía radio.

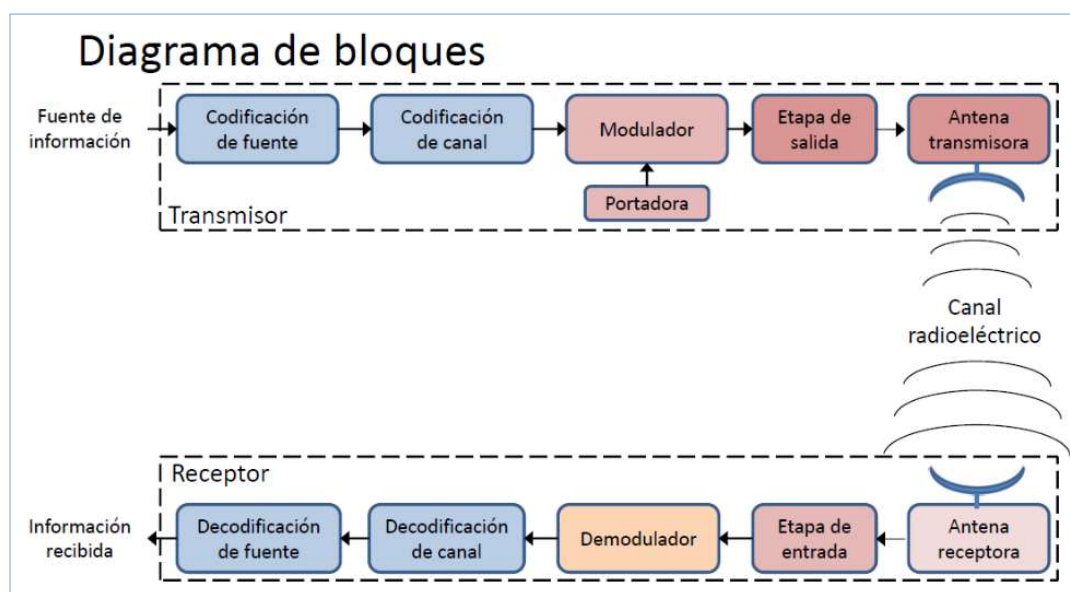


Fig. 6.1. Diagrama de bloques de un sistema vía radio, con emisión y recepción

La antena es el circuito eléctrico que cuando recibe el voltaje de la señal electromagnética la emite en forma de campo electromagnético que viaja por el aire hasta alcanzar el receptor de radio.

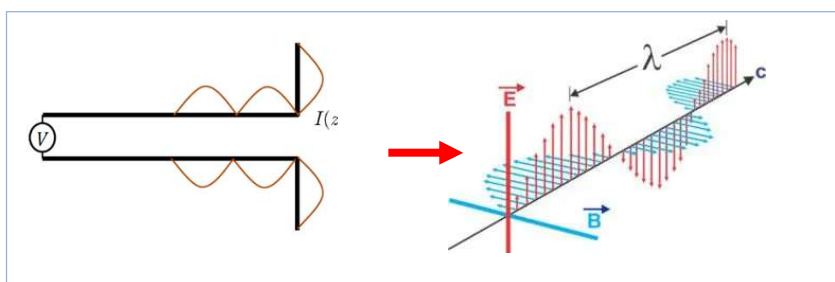


Fig. 6.2. Esquema de una antena emitiendo el campo electromagnético

Las antenas pueden ser de diferentes formas en función del patrón de radiación que se desee obtener para el uso de la aplicación.

Una antena isotrópica es aquella que genera un campo electromagnético de una esfera. Este tipo de antena es un ideal, no es posible dicha perfección esférica.

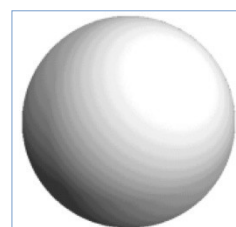


Fig. 6.3. Modelo de patrón de radiación esférico de una antena isotrópica

Otro tipo de antena es la omnidireccional cuyo campo electromagnético de radiación es similar a un toroide.

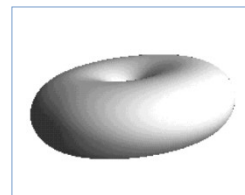


Fig. 6.4. Modelo de patrón de radiación de una antena omnidireccional

La antena direccional es la que el campo electromagnético emitido presenta un volumen en forma de lóbulo.

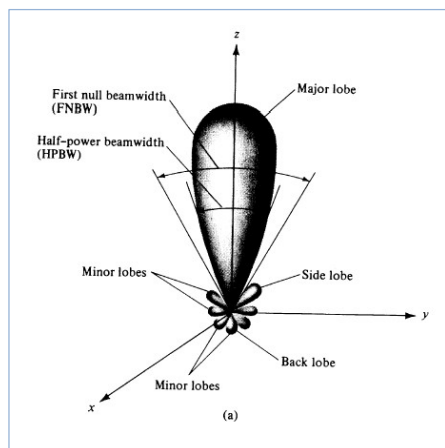


Fig. 6.5. Modelo de patrón de radiación en forma de lóbulo de una antena omnidireccional

Dado que el transmisor envía información para que sea recibida por el receptor, dicha información viaja por el aire atmosférico y con el transcurso del tiempo la onda emitida tendrá un proceso de atenuación hasta que finalmente a una determinada distancia del emisor desaparezca dicha onda electromagnética., como se muestra en la Fig. 6.6.

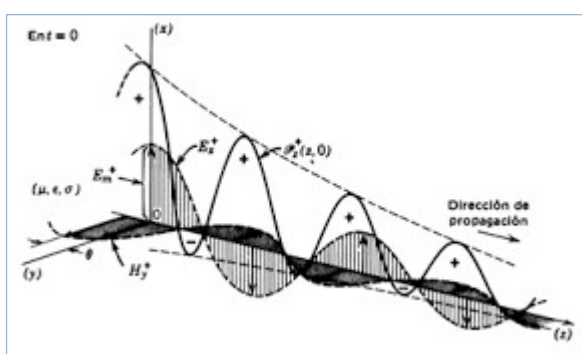


Fig. 6.6. Modelo atenuación de una onda electromagnética

Un problema que es inherente al equipo de radio y no se puede eliminar es el ruido térmico procedente de los propios circuitos eléctricos del equipo de radio, como se observa en la Fig. 6.7. en que aparece una tensión que es un efecto interno y no se puede evitar. Este voltaje podrá influir en la información pero se puede filtrar.

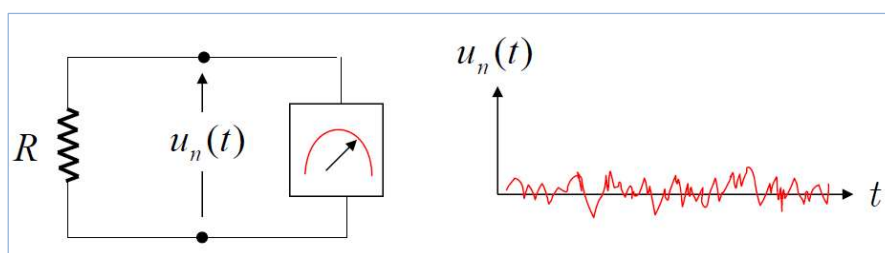


Fig. 6.7. Ruido térmico de un equipo de radio

Este ruido térmico es un voltaje que en algunos casos puede afectar a la aplicación que se haga, como es el caso de medir distancias por el tiempo transcurrido de viaje de la señal.

Al medir la distancia a través del tiempo de viaje de una señal (como en radares o telémetros), se necesita detectar el momento preciso de recepción de una señal. El ruido térmico, al ser una fluctuación de voltaje aleatoria, puede hacer que la señal de retorno sea difícil de identificar y que se interprete un tiempo de llegada erróneo.

Otros problemas de la transmisión de información con señal electromagnética vía aérea atmosférica es que la señal puede degradarse debido a interferencias con otras transmisiones o por efectos atmosféricos, como tormentas, radiación solar, etc.

Estas posibles interferencias producirán una deformación de la onda electromagnética y puede afectar al contenido del mensaje transmitido.

En la Figura 6.8 se observa la deformación de la señal por el ruido y como la forma de la señal se va diferenciando de voltajes parecidos a las ondas cuadradas de la señal pura digital.

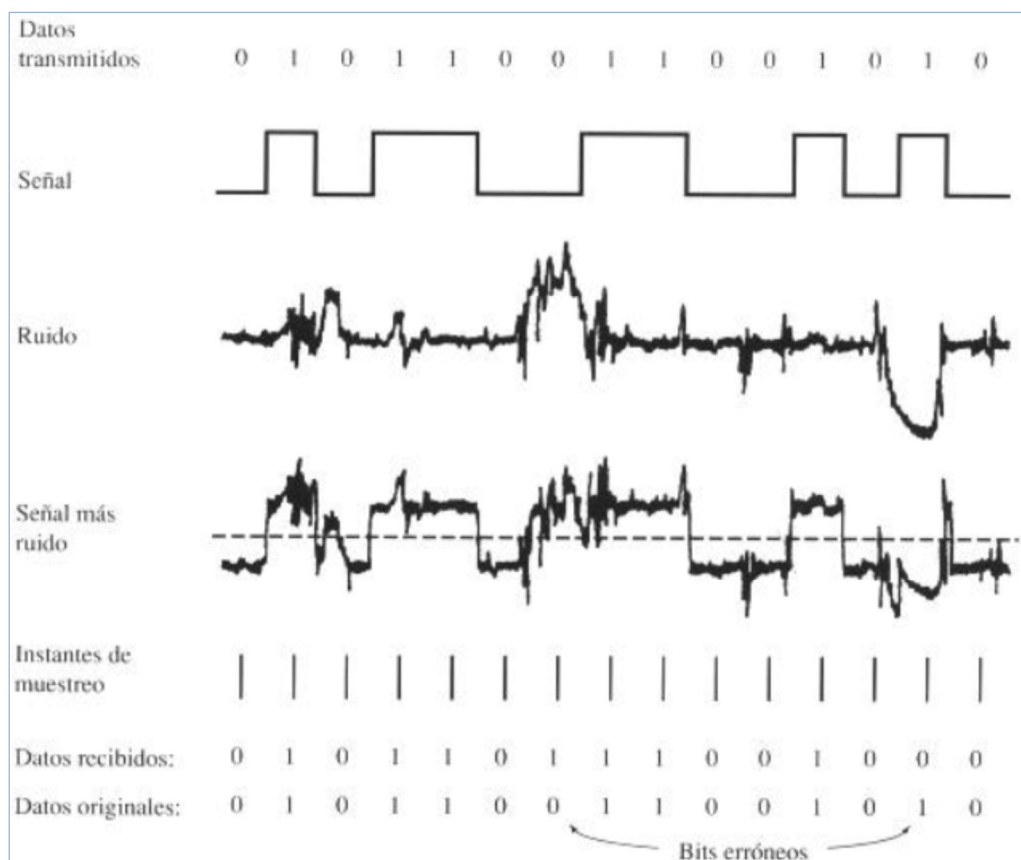


Fig. 6.8. Señal electromagnética deformada por ruido

Las señales físicas son de tipo analógico, por lo que el término analógico o digital hace referencia a como se interpreta el formato de la señal recibida.

En las señales digitales es incluso posible detectar y corregir errores mediante el uso de bits de redundancia.

A diferencia de las señales analógicas, se puede eliminar el ruido

Bit es la parte más reducida de una señal digital, que sólo puede tomar dos valores (0 ó 1)

En el caso de las comunicaciones aeronáuticas del radar de vigilancia secundario SSR y también la información transmitida por el transpondedor en ADS-B y Multilateración, los pulsos emitidos en forma de señal modulada digital serán los correspondientes a los bits de información y que podrán ser degradados desde su emisión al viajar por el aire atmosférico y ser sometidas a posibles interferencias.

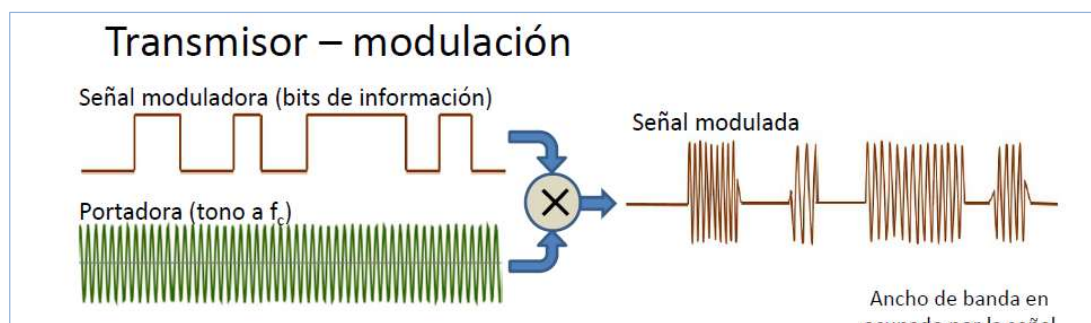


Fig. 6.9..Esquema modulación señal digital



## 7.- Los nuevos sistemas de nueva generación de vigilancia y navegación aérea. Radar Primario PSR. Radar Secundario SSR. Vigilancia Dependiente Automática por Difusión ADS-B. Multilateración WAM

### 7.1.- Definiciones.

En este apartado se incluyen algunas de las definiciones de los conceptos más importantes que aparecen en los documentos a estudiar del siguiente capítulo, dado que es necesaria su previa comprensión para afrontar adecuadamente su análisis.

Las siguientes definiciones proceden de la legislación española, de la Unión Europea y de la OACI.

#### ▪ Vigilancia

La definición de servicios de vigilancia para la seguridad de las aeronaves determinando su ubicación física se indica en el Artículo 2 del Reglamento CE nº 549/2004 de creación del cielo único europeo.

***“Reglamento CE nº 549/2004 del Parlamento europeo y del Consejo de 10 de marzo de 2004 por el que se fija el marco para la creación del cielo único europeo.***

#### **Artículo 2.- Definiciones.**

***38) servicios de vigilancia:*** las instalaciones y servicios utilizados para determinar las posiciones respectivas de las aeronaves con el fin de establecer una separación segura;”

#### ▪ Vigilancia Dependiente Automática ADS, primera legislación nacional española en aviación civil

Con la adaptación a las nuevas tecnologías de navegación y vigilancia aérea, y no existiendo en España legislación que regulase su aplicación para la aviación civil, la primera vez que la tecnología Vigilancia Dependiente Automática ADS se introduce en la legislación española para uso civil es en la ORDEN PRE/697/2008 de modificación del Reglamento de Circulación Aérea, modificación 8 años posterior al REAL DECRETO 57/2002 del Reglamento de Circulación Aérea.

Esta modificación se indica resumidamente en la introducción al articulado jurídico de la ORDEN PRE/697/2008, y explica la necesidad de adaptar la norma a las modificaciones de la OACI para las materias de Vigilancia Dependiente, comunicaciones CPDLC, Servicios y Gestión del Tránsito Aéreo, procedimientos de rutas RNAV del grupo RNP.

La orden ORDEN PRE/697/2008 lo justifica en la siguiente forma:

***“ORDEN PRE/697/2008, de 12 de marzo, por la que se introducen modificaciones en el Reglamento de Circulación Aérea, aprobado por el Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, relativas a las comunicaciones. BOE nº 65, 15 marzo 2008.***

*En la actualidad, es preciso modificar el Reglamento de circulación aérea para su adaptación a los anexos del Convenio sobre Aviación Civil Internacional y a los documentos de la citada Organización de Aviación Civil Internacional respecto a la Vigilancia Dependiente Automática (ADS) y a las Comunicaciones por enlace de datos entre piloto y controlador (CPDLC). Así pues, se introduce el capítulo 8 del anexo 10, volumen II, de Telecomunicaciones aeronáuticas, relativo al Servicio Móvil Aeronáutico-Comunicaciones por enlace de datos; los apartados del anexo 11, «Servicios de tránsito aéreo», referentes a las especificaciones de rutas RNAV basadas en los tipos de RNP, y, por último, los capítulos 13 y 14 del Documento 4444 de OACI «Procedimientos para los Servicios de Navegación Aérea-Gestión del Tránsito Aéreo» sobre la función ADS y las comunicaciones CPDLC.*

*La Vigilancia Dependiente Automática (ADS) forma parte del Plan Mundial CNS/ATM de la OACI y fue definida por el Comité FANS (Futuros Sistemas de Navegación Aérea) como una función para el uso de los servicios de tránsito aéreo (ATS), según la cual las aeronaves automáticamente transmiten, por enlace de datos, datos extraídos de los sistemas de navegación a bordo, que incluyen, como mínimo, la identificación de la aeronave y su posición en tres dimensiones.”*

La definición de vigilancia dependiente automática-radiodifusión ADS-B se indica en la Orden PRE/1802/2011 de modificación del Reglamento de Circulación Aérea que lo define en la forma siguiente:

***“Orden PRE/1802/2011, de 24 de junio, por la que se introducen modificaciones de carácter técnico en el Reglamento de Circulación Aérea, aprobado por Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, relativas a la seguridad de los servicios de tránsito aéreo.***

**Artículo único.**

**Vigilancia dependiente automática-radiodifusión (ADS-B).**

*Medio por el cual las aeronaves, los vehículos aeroportuarios y otros objetos pueden transmitir y/o recibir, en forma automática, datos como identificación, posición y datos adicionales, según corresponda, en modo de radiodifusión mediante enlace de datos.”*

La definición de servicios de vigilancia se indica en la Circular aeronáutica 1/2012 de la Dirección General de Aviación Civil, y es correspondiente a la creación del cielo único europeo, SES Single European Sky. La vigilancia consiste en la localización de la posición de las aeronaves para su separación por seguridad, y la norma lo define en la forma siguiente:

***“Circular aeronáutica 1/2012, de 23 de mayo, de la Dirección General de Aviación Civil, por la que se modifica el anexo III del Real Decreto 931/2010, de 23 de julio, por el que se regula el procedimiento de certificación de proveedores civiles de servicios de navegación aérea y su control normativo.***

**Artículo único.**

***ANEXO III. Clasificación de los servicios de navegación aérea ”***

| Servicios                                      | Tipos de servicio                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Parte del servicio                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Sub-parte del servicio                   |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Comunicaciones, Navegación y Vigilancia (CNS). | Vigilancia (S). (definición SES: los servicios de vigilancia implican aquellas dependencias/instalaciones y servicios usados para determinar las respectivas posiciones de las aeronaves con el fin de permitir una separación segura).<br>(Nota: el servicio incluye la generación de los datos de vigilancia mediante sensores, así como su posterior distribución y procesamiento hasta su entrega para el uso de operaciones ATM). | Provisión de datos a partir de radar de vigilancia primario (PSR).<br>Provisión de datos a partir de radar de vigilancia secundario (SSR).<br>Provisión de datos a partir de Automatic Dependent Surveillance (ADS).<br>Provisión de datos a partir de radar de superficie (SMR).<br>Provisión de datos a partir de sistemas de multilateración (MLAT). | Modo A/C.<br>Modo S.<br>ADS-C.<br>ADS-B. |

La definición de vigilancia dependiente se indica en el Reglamento de Ejecución UE nº 923/2012 del reglamento del aire que lo define en la forma siguiente:

***“Reglamento de Ejecución UE nº 923/2012 de la Comisión de 26 de septiembre de 2012 por el que se establecen el reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea, y por el que se modifican el Reglamento de Ejecución UE nº 1035/2011 y los Reglamentos CE nº 1265/2007, CE nº 1794/2006, CE nº 730/2006, CE nº 1033/2006 y UE nº 255/2010.***

**Artículo 2.- Definiciones**

47) **vigilancia dependiente automática - radiodifusión (ADS-B)**: un medio por el cual las aeronaves, los vehículos de aeródromo y otros objetos pueden transmitir y/o recibir, en forma automática, datos como identificación, posición y datos adicionales, según corresponda, en modo de radiodifusión mediante enlace de datos;

48) **vigilancia dependiente automática - contrato (ADS-C)**: un medio que permite al sistema de tierra y a la aeronave establecer, mediante enlace de datos, las condiciones de un acuerdo ADS-C, en el cual se indican las condiciones en que han de iniciarse los informes ADS-C, así como los datos que deben figurar en los mismos;”

La primera definición de Señales Espontáneas Ampliadas ADS-B, Extended Squitter, que se incluye en la legislación nacional español se indica en el Real Decreto 552/2014 del Reglamento del aire, y lo define en la forma siguiente:

**“Real Decreto 552/2014, de 27 de junio, por el que se desarrolla el Reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea y se modifica el Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Aérea.**

2. Instrucciones para completar el formulario de plan de vuelo.

2.6. Casilla 10. Equipo y capacidades.

**2.6.3. Equipo y capacidades de vigilancia.**

2.6.3.2. En otro caso, para indicar el tipo de equipo o capacidades de vigilancia, en funcionamiento, que se lleva bordo, se deberá insertar una o más de las siguientes letras, hasta un máximo de 20 caracteres, para:

b) SSR en Modo S:

1.º La letra «E», para el Transpondedor - Modo S, incluye identificación de aeronave, altitud de presión y **capacidad de señales espontáneas (squitter) ampliadas (ADS-B).**

4.º La letra «L», para el Transpondedor – Modo S, incluye identificación de aeronave, altitud de presión, **capacidad de señales espontáneas (squitter) ampliadas (ADS-B) y de vigilancia mejorada.**”

▪ **Navegación**

La definición de servicios de navegación se indica en la Circular aeronáutica 1/2012 de la Dirección General de Aviación Civil, y es correspondiente a la creación del cielo único europeo, SES Single European Sky. Los servicios de navegación consisten en proporcionar a las aeronaves posicionamiento e información temporal , y la norma lo define en la forma siguiente:

**“Circular aeronáutica 1/2012, de 23 de mayo, de la Dirección General de Aviación Civil, por la que se modifica el anexo III del Real Decreto 931/2010, de 23 de julio, por el que se regula el procedimiento de certificación de proveedores civiles de servicios de navegación aérea y su control normativo.**

**Artículo único.**

**ANEXO III. Clasificación de los servicios de navegación aérea “**

| Servicios                                      | Tipos de servicio                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Parte del servicio                                                                                                                                               | Sub-parte del servicio                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Comunicaciones, Navegación y Vigilancia (CNS). | Navegación (N).<br>(definición SES: los servicios de navegación implican aquellas dependencias/instalaciones y servicios que proporcionan a las aeronaves posicionamiento e información temporal).<br>(Nota: el servicio incluye la generación de la señal aeronáutica de radio navegación en el espacio, así como su posterior distribución y procesamiento hasta su entrega a la aeronave para su utilización). | Provisión de señal en el espacio NDB.<br>Provisión de señal en el espacio VOR.<br>Provisión de señal en el espacio DME.<br>Provisión de señal en el espacio ILS. | CAT I.<br>CAT II.<br>CAT III a.<br>CAT III b.<br>CAT III c.                                                                                                                                               |
|                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Provisión de señal en el espacio MLS.<br><br>Provisión de señal en el espacio GNSS.                                                                              | CAT I.<br>CAT II.<br>CAT III a.<br>CAT III b.<br>CAT III c.<br>Sistema Principal GNSS (GALILEO).<br>Sistema de aumentación basado en satélites (SBAS).<br>Sistema de aumentación basado en tierra (GBAS). |

Las definiciones de ADS-B out, emisión, y ADS-B in, recepción, se indican en el Anexo 10 de la OACI:

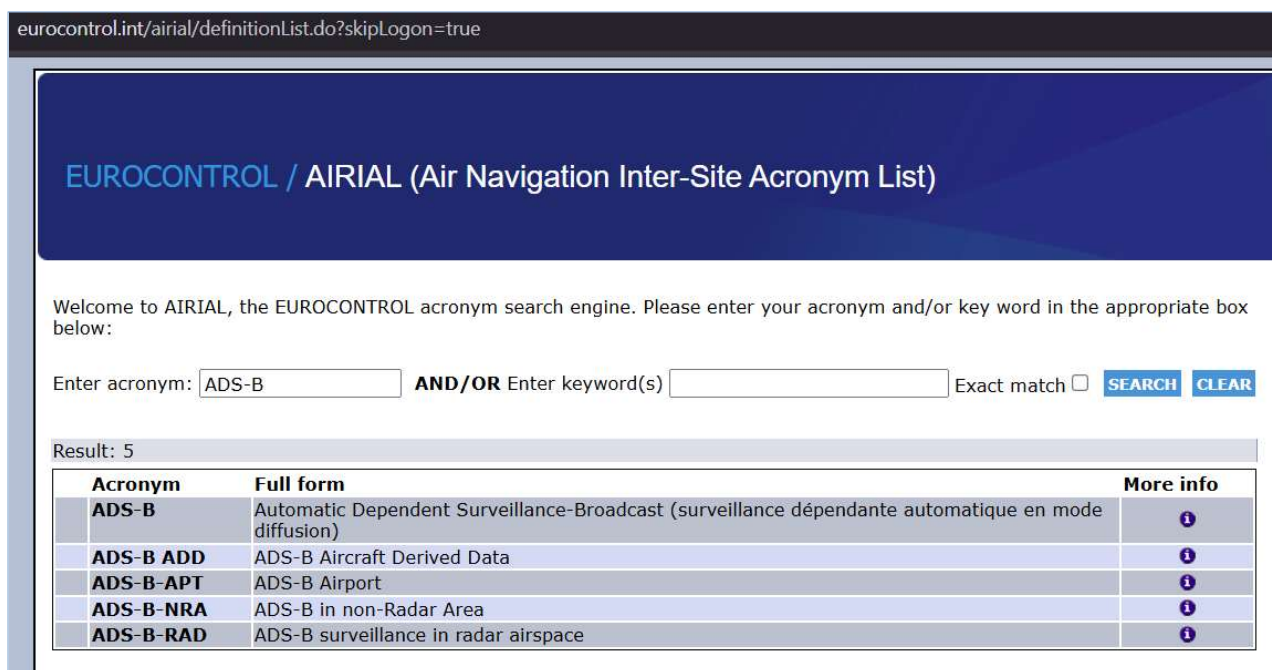
**“OACI. Anexo 10. Telecomunicaciones Aeronáuticas. Volumen 4. Sistemas de Vigilancia**

- **Vigilancia dependiente automática-radiodifusión - emisión (ADS-B OUT).** Una función en una aeronave o vehículo que transmite en radiodifusión periódicamente su vector de estado (posición y velocidad) y otra información obtenida de los sistemas de a bordo en un formato adecuado para receptores con capacidad ADS-B IN.
- **Vigilancia dependiente automática-radiodifusión - recepción (ADS-B IN).** Una función que recibe datos de vigilancia de fuentes de datos ADS-B OUT. “

Existen diferentes aplicaciones del sistema ADS-B y que las normas citan con sus acrónimos. Para comprender el significado de los acrónimos se incorpora la dirección de internet de una página de EUROCONTROL donde se puede obtener el significado de cada una de los acrónimos que se indican en las normas de EUROCONTROL.

La página es EUROCONTROL / AIRIAL (Air Navigation Inter-Site Acronym List, y la dirección es:

<https://www.eurocontrol.int/airial/definitionList.do?skipLogon=true>



The screenshot shows the EUROCONTROL / AIRIAL (Air Navigation Inter-Site Acronym List) website. The search bar contains 'ADS-B' and the results show 5 items. The table lists the acronym, full form, and a link for more information.

| Acronym   | Full form                                                                                          | More info         |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| ADS-B     | Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (surveillance dépendante automatique en mode diffusion) | <a href="#">i</a> |
| ADS-B ADD | ADS-B Aircraft Derived Data                                                                        | <a href="#">i</a> |
| ADS-B-APT | ADS-B Airport                                                                                      | <a href="#">i</a> |
| ADS-B-NRA | ADS-B in non-Radar Area                                                                            | <a href="#">i</a> |
| ADS-B-RAD | ADS-B surveillance in radar airspace                                                               | <a href="#">i</a> |

Fig. 7.1. Imagen web de acrónimos de EUROCONTROL

Tabla de acrónimos del sistema ADS-B con la muestra de sus significados:

| Acronym   | Full form                                                                                          |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ADS-B     | Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (surveillance dépendante automatique en mode diffusion) |
| ADS-B ADD | ADS-B Aircraft Derived Data                                                                        |
| ADS-B-APT | ADS-B Airport                                                                                      |
| ADS-B-NRA | ADS-B in non-Radar Area                                                                            |
| ADS-B-RAD | ADS-B surveillance in radar airspace                                                               |
| SPI IR    | Surveillance Performance and Interoperability Implementing Rule                                    |

Tabla 7.1. Acrónimos de ADS-B y su significado obtenido en la web de acrónimos de EUROCONTROL



Resumen de los términos de vigilancia y el año de publicación:

- 2004 - Servicios de vigilancia
- 2008 - Vigilancia Dependiente Automática (ADS)
- 2011 - Vigilancia dependiente automática-radiodifusión (ADS-B)
- 2012 - Tipos de servicio. Vigilancia (S)
- 2012 - Vigilancia dependiente automática - radiodifusión (ADS-B)
- 2012 - Vigilancia dependiente automática - contrato (ADS-C)
- 2014 - Señales espontáneas (squitter) ampliadas (ADS-B)

## 7.2.- Cadena de vigilancia

La Unión Europea en el proyecto de cielo único europeo, ha establecido el concepto de cadena de vigilancia, para el cual ha regulado actuaciones en el Reglamento de Ejecución UE nº 1207/2011 de la Comisión de 22 de noviembre de 2011 por el que se establecen los requisitos de rendimiento e interoperabilidad de la vigilancia del cielo único europeo. La definición oficial de cadena de vigilancia es la siguiente:

“ 6) «cadena de vigilancia»: sistema formado por la suma de componentes embarcados y terrestres utilizados para determinar los respectivos elementos de datos de vigilancia de las aeronaves, incluido el sistema de tratamiento de datos de vigilancia, si este último ha sido activado;

7) «cadena de vigilancia cooperativa»: cadena de vigilancia que requiere componentes tanto terrestres como embarcados para determinar los elementos de datos de vigilancia;”

El grupo del proyecto SESAR ha elaborado un documento para establecer procedimientos y herramientas de monitorización del rendimiento de la estructura de vigilancia incluyendo a la propia cadena de vigilancia que son las instalaciones y equipos que toman los datos de vigilancia y los transfieren al sistema.

En la Fig. 7.2 que es un modelo de herramientas de monitorización SPM Tool, Surveillance Performance Monitoring Tool, se observa como los elementos de la cadena de vigilancia, Radar, ADS-B, y Multilateración envían la información recopilada al tracker centro de computación del sistema de vigilancia para que los operadores dispongan de la información de forma inmediata.

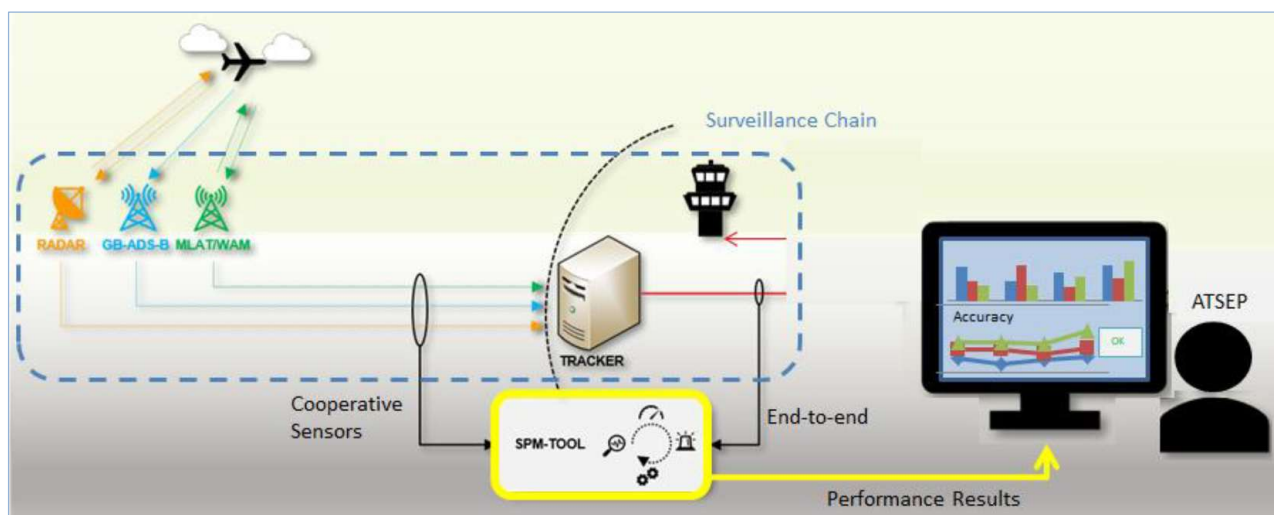


Fig. 7.2. Estructura de la cadena de vigilancia en la SPM Tool, Surveillance Performance Monitoring

Por lo tanto la cadena de vigilancia incluye a los componentes, Radar primario, Radar secundario, ADS-B y Multilateración.

### 7.3.- PSR - Radar Primario de vigilancia

La palabra **RADAR** es el acrónimo de **R**ADIO **D**ETECTION **A**ND **R**ANGING correspondiente a un equipo radioeléctrico inventado por el físico escocés Sir Robert Watson-Watt en el año 1935 cuando trabajaba en el National Physical Laboratory del Reino Unido en las investigaciones para detectar tormentas eléctricas. Como resultado de sus investigaciones en 1935 publicó el informe “*La detección de aeronaves por métodos radiofónicos*”. En 1936 se realizaron las primeras pruebas de este nuevo sistema y en 1939 se instalaron antenas en la costa este de Inglaterra que se utilizaron en la segunda guerra mundial para detectar los aviones de guerra.

El Radar es un radiotransmisor que emite ondas electromagnéticas a través de una antena parabólica que gira en el plano horizontal de forma que cuando alcanzan un objeto, las ondas se reflejan y vuelven a la antena que las emitió, de forma que la diferencia de tiempo entre la emisión y la recepción es la información que permite calcular la distancia a la que se encuentra el objeto dado que la velocidad de la onda electromagnética es un dato conocido por ser la velocidad de la luz, además del ángulo horizontal o azimut, del ángulo vertical o elevación de la antena del radar. El sistema disponía de una pantalla de visualización donde se observaban los objetos detectados, aviones, tormentas, etc.

En 1940 técnicos del MIT Radiation Laboratory, laboratorio perteneciente al Massachusetts Institute of Technology, desarrollaron el radar. En 1951 se crea el Lincoln Laboratory teniendo sus raíces en el MIT Radiation Laboratory, y en desde su inicio siguió investigando y desarrollando el sistema radar.



Fig. 7.3. Radar Primario de Vigilancia

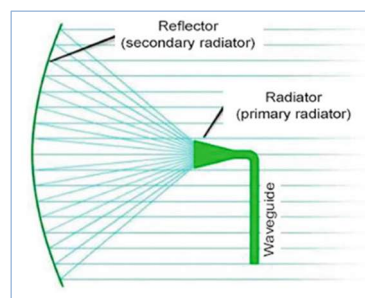


Fig. 7.4. Principio de funcionamiento del deflector del radar

En la Figura 7.3 se observa la fotografía del Radar Primario de Vigilancia del fabricante Indra con una antena parabólica. En la Figura 7.4 se observa el principio de funcionamiento del deflector de la antena del radar primario de forma que la señal es conducida por el guía ondas hasta el radiador primario que lo dirige al reflector parabólico que lo emite al espacio. El radar primario se denomina PSR, Primary Surveillance Radar. El fabricante Indra tiene el radar primario modelo ASR-12 con características de 15 rpm de rotación, alcance 60NM, y potencia eléctrica de 19,2 kW.



Fig. 7.5. Radar primario, pulso emitido y eco en pantalla.

En la Figura 7.5 se observan tres momentos, un primer pulso del radar que llega a la aeronave, un eco del radar al reflejarse en la aeronave, y la pantalla del radar que muestra la forma cuadrada del pulso emitido por el radar y la forma triangular del eco recibido del objeto detectado. La potencia eléctrica de emisión debe ser muy grande para que la señal alcance el objetivo y se refleje de forma que pueda volver a la antena emisora considerando la atenuación y degradación por perturbaciones.

Se trata de una vigilancia independiente y no cooperativa.

La tecnología de radar primario posteriormente se utilizó conjuntamente con el nuevo sistema de radar secundario desarrollado por el Lincoln Laboratory del MIT, y que se indica en el siguiente apartado.

[illegible]

Fig. 7.6. Mapa de cobertura de radar primario PSR en España. ENAIRE

## 7.4.- SSR - Radar Secundario de vigilancia y Vigilancia Dependiente Automática - Radiodifusión ADS-B

Después de la segunda guerra mundial donde el esfuerzo de investigación consiguió inventos como el radar primario, se continuaron las investigaciones para el uso de la aviación civil y se creó un nuevo tipo de radar, el radar secundario SSR, Secondary Surveillance Radar.



Fig. 7.7. Radar secundario.



Fig. 7.8. Radar secundario montado en conjunto con el radar primario.

En la Figura 7.7 se muestra la fotografía de una antena de radar secundario que es un array en forma lineal, y también se muestra en la Figura 7.8 donde se instala combinada junto a una antena parabólica de radar primario.

El radar secundario donde el funcionamiento es diferente dado que no se emplean impulsos esperando ecos de radar sino que se emite una señal de interrogación que es enviada a las aeronaves y que las aeronaves dan una respuesta mediante un equipo de radio embarcado denominado transpondedor.

Se trata de una vigilancia independiente y cooperativa.

El transpondedor es un radio transmisor receptor que de forma automática envía repetidamente un mensaje con sus datos a los receptores de su alrededor, radar secundario del aeropuerto, otras aeronaves, con un sistema de transmisión de datos denominado Vigilancia Dependiente Automática - Radiodifusión ADS-B, Automatic Dependent Surveillance - Broadcast.

El concepto de radar de vigilancia secundario surge del problema de la identificación del objetivo dado que en su origen el uso era militar y se trataba de detectar aviones enemigos y diferenciar la detección de aviones amigos, conocido como *Identification Friend or Foe* (IFF) cuestión de la que se creó un grupo de investigación IFF del National Physical Laboratory del Reino Unido quienes se unieron con el Naval Research Laboratories de Estados Unidos en 1943 y que para el uso militar adoptaron las frecuencias de la banda de 950-1150 MHz para el radar secundario SSR.

En 1954 la OACI adoptó las frecuencias del radar secundario SSR para uso civil.

El radar secundario sufre una distorsión dado que cuando recibe la señal de respuesta de dos aeronaves al mismo tiempo no puede reconocer la información que le llega. A este tipo de distorsión se la llama "*garbling*" y la solución es el Modo S que hace interrogaciones selectivas y utiliza un enlace de datos para evitar la sobrecarga del sistema y el solapamiento de señales.

Otro problema del SSR es el FRUIT, *False Replies Un-synchronised In Time*, que se debe a la interacción de la interrogación sobre el mismo objetivo de dos estaciones interrogadoras distintas que actúan simultáneamente, lo cual sucede cuando aumenta la cantidad de estaciones de tierra y de transpondedores.

En el caso del FRUIT la solución es que a cada interrogación de una aeronave distinta se le asigna un tiempo para la respuesta de forma que cuando un transpondedor está respondiendo el otro está bloqueado hasta que finalice la transmisión del primero. También existía un problema con la inexactitud del azimut.

El Modo S desarrollado por el Lincoln Laboratory del MIT en 1989 dio solución a estos problemas.



En la Fig. 7.9. se observa el esquema de funcionamiento del Air Traffic Control Radar Beacon System (ATCRBS), donde la antena del radar secundario emite la señal de interrogación a una frecuencia de 1.030 MHz que llega al objetivo, la aeronave, cuyo transpondedor embarcado da respuesta con una señal de 1.900 MHz.

En el mensaje de respuesta se incluyen entre otros, el nivel de vuelo según lectura del altímetro, y el código de identificación o código Squawk ( 3563 en la imagen ).

El código Squawk es un número de 4 cifras asignado por el controlador ATC que esté operando el área donde se encuentra la aeronave y que cuando el control se pase a otro controlador se le asignará otro código Squawk distinto.

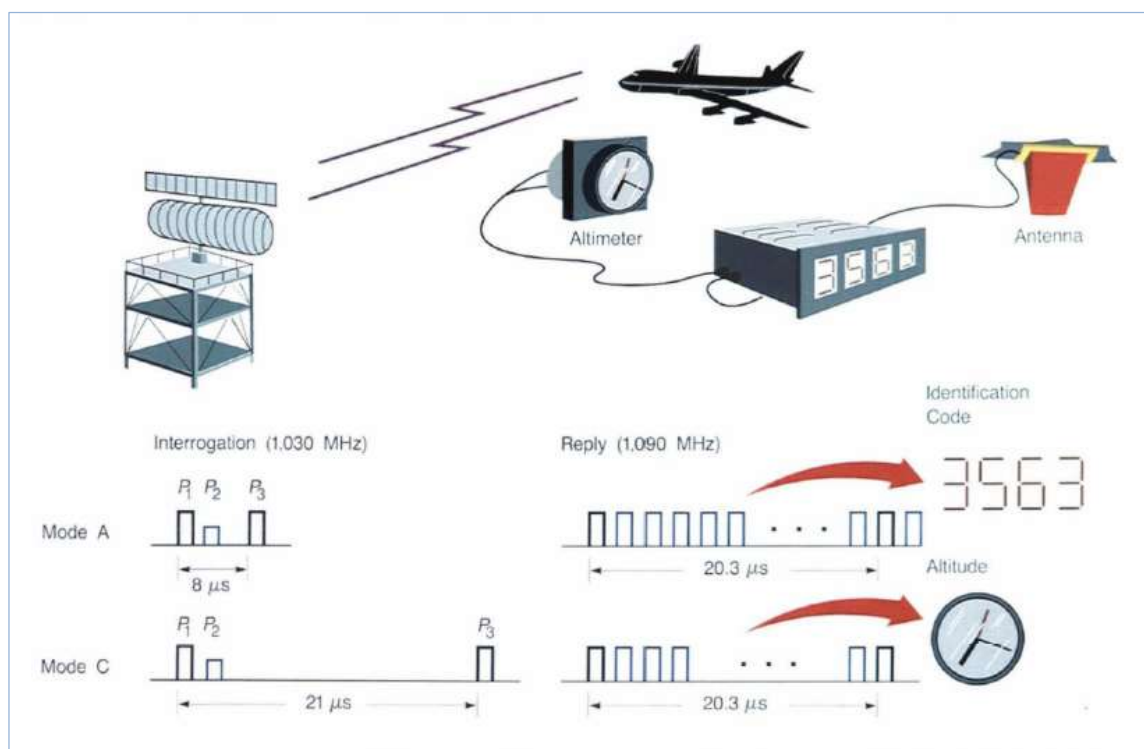


Fig. 7.9. Air Traffic Control Radar Beacon System (ATCRBS). Fuente Lincoln Laboratory. MIT.

Un problema de la emisión de radar secundario era que en cortas distancias los lóbulos laterales del haz principal de la interrogación puedan afectar a las aeronaves cercanas y que éstas respondan. Para evitar este efecto se procede a la supresión de lóbulos laterales de transmisión con un nuevo pulso el P2 que se introduce entre la separación del pulso P1 y el pulso P3, como se observa en la Figura 7.10.

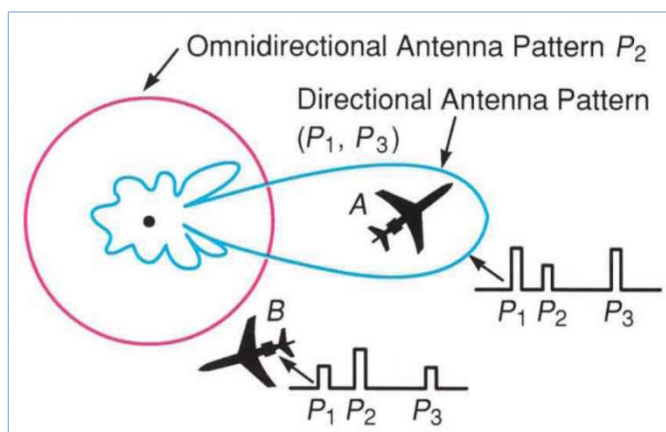


Fig. 7.10 Técnica de supresión de lóbulos laterales. Fuente: Lincoln Laboratory. MIT.

El problema de la inexactitud del azimut se debe a la técnica de recorrido por ventanas deslizantes como se observa en la Figura 7.11, y ello debido a que se utiliza una frecuencia de respuesta de aproximadamente 400 interrogaciones/s lo cual puede interferir con el funcionamiento de los sensores vecinos.

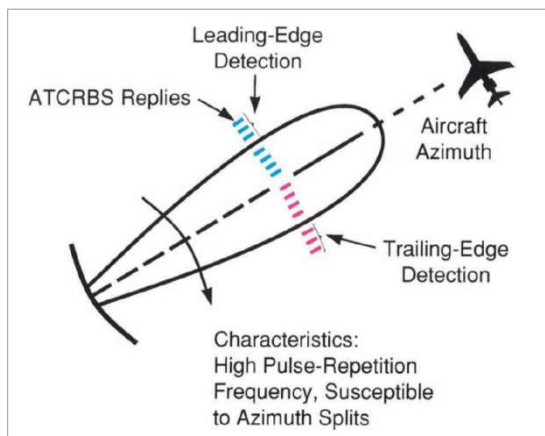


Fig. 7.11. Técnica de ventanas deslizantes midiendo el azimut..

Para evitarlo se utiliza la técnica monopulso que se observa en la Figura 7.12.

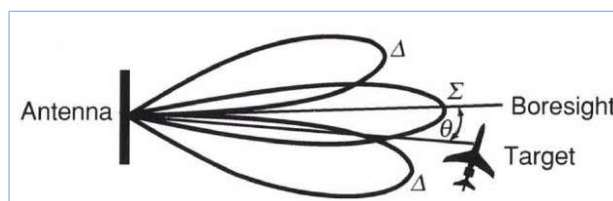


Fig. 7.12. Técnica monopulso midiendo el azimut.

Anteriormente en este capítulo se ha citado el problema del “garbling”. En la Figura 7.13 se observa el solapamiento de la señal de respuesta de las dos aeronaves A y B de la figura.

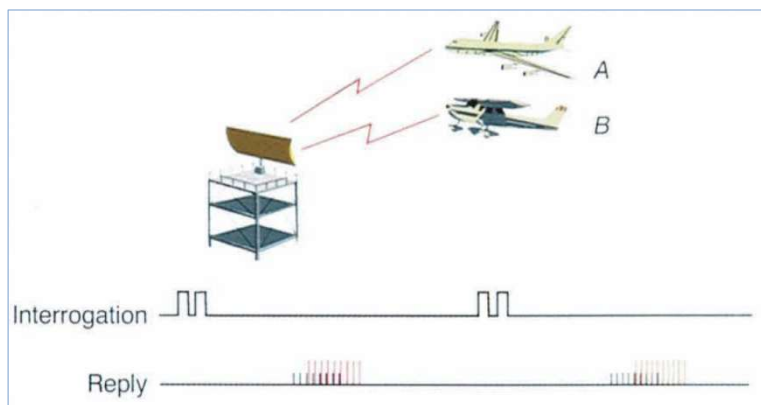


Fig. 7.13. Garbling o solapamiento de respuestas de transpondedores distintos.

Para evitar el *garbling* se hace un ordenamiento de las interrogaciones del radar en tierra y de las respuestas selectivas del transpondedor de la aeronave, mediante un sistema de llamada general “All-Call”, como se observa en la Figura 7.14 donde las respuestas interrogaciones y respuestas de las aeronaves A y B están ordenadas, espaciadas y no se solapan, que es el degarbling cuando se emiten por monopulsos, Fig. 7.15.

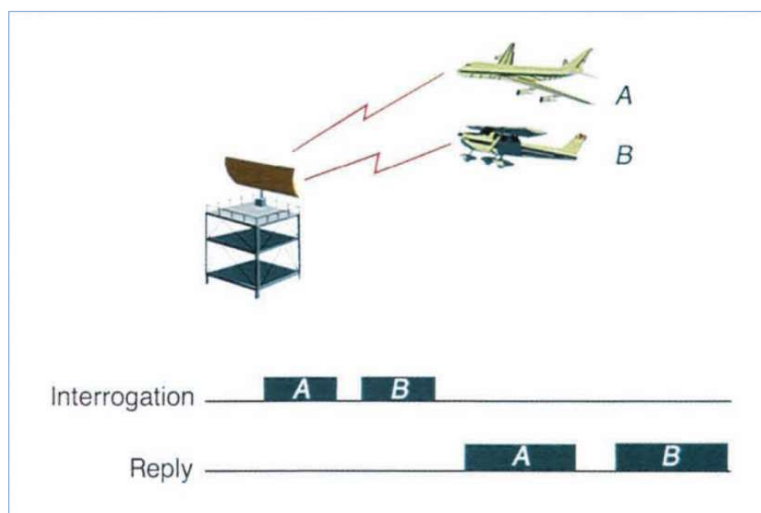


Fig. 7.14. Respuestas ordenadas sin solapamiento..

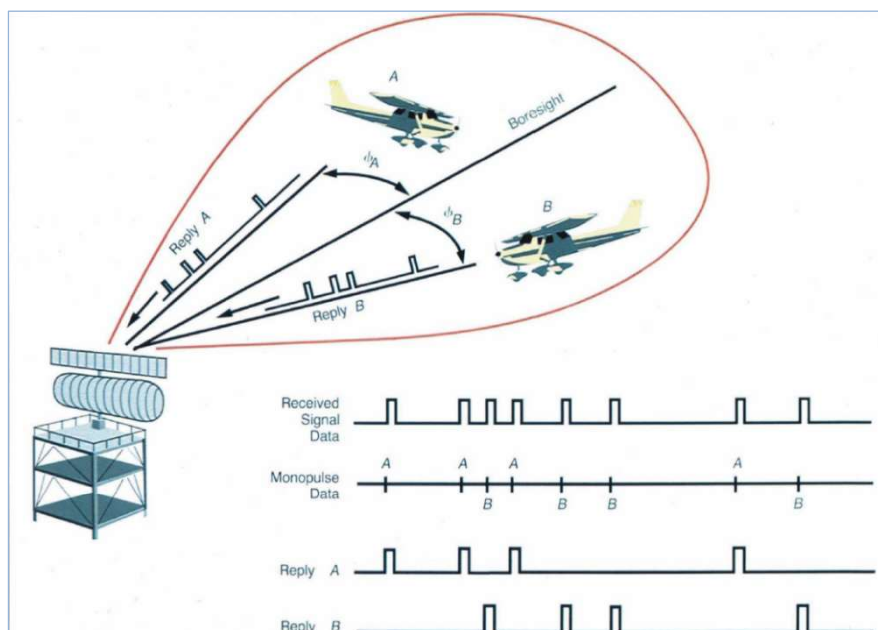


Fig. 7.15. Degarbling por monopolso..

Las formas de onda de los mensajes Modo S se muestran en la Figuras 7.16 Interrogación All Call, Figura 7.16 interrogación Modo S , y 7.17 respuesta modo S.

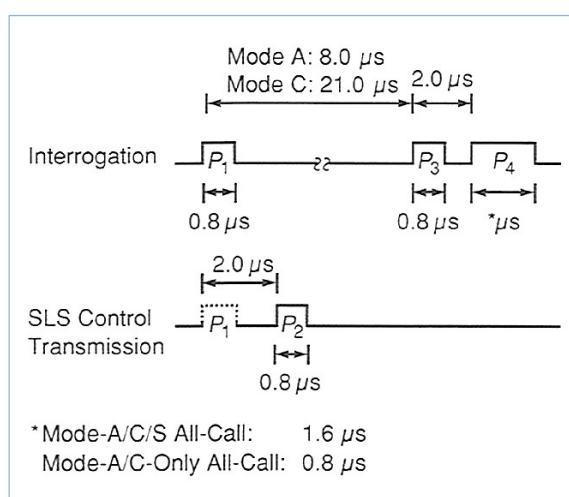


Fig. 7.16. Modo S, interrogación all call..

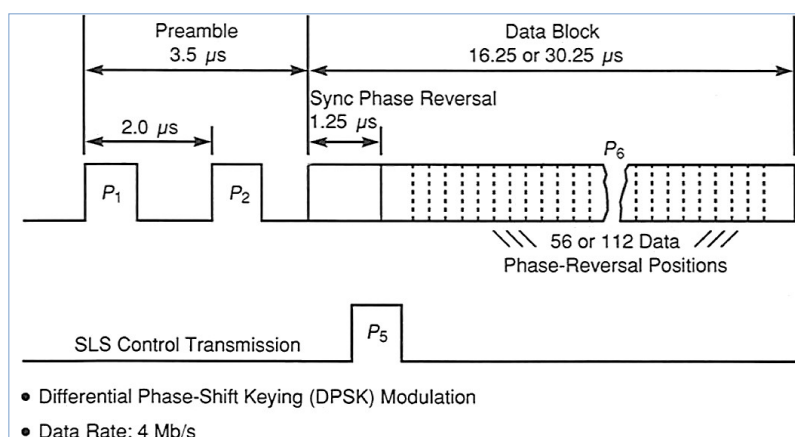


Fig. 7.17. Modo S, interrogación.

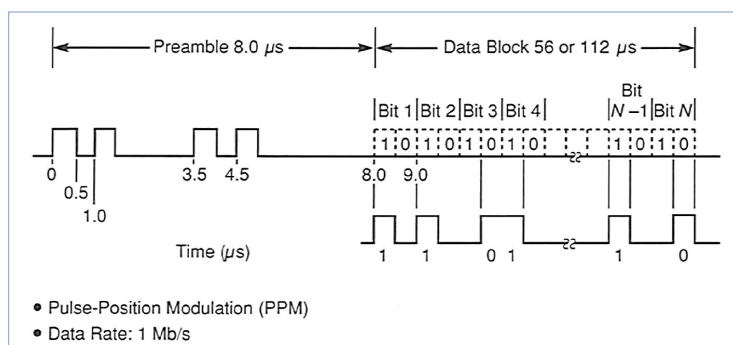


Fig. 7.18. Modo S, respuesta.

Los mensajes incorporan bits de paridad para comprobar en la recepción que durante la transmisión no se ha perdido o deteriorado información y el mensaje recibido es exactamente igual al emitido.

En la Fig.19 se muestra un equipo de transpondedor con su unidad de control y antena de emisión, todo embarcado en la aeronave.

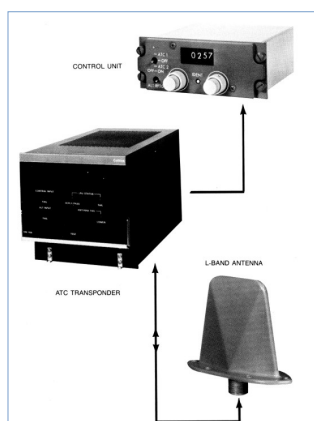


Fig. 7.19. Transpondedor, antena y unidad de control.

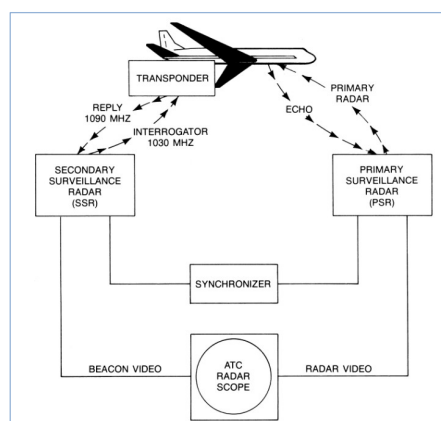


Fig. 7.20 Esquema de proceso del radar primario y secundario.

En la Figura 7.20 se observa el proceso de funcionamiento entre el radar primario, la aeronave y el radar secundario, de forma que en primer lugar el radar primario envía una señal que alcanza la aeronave y el eco reflejado se recibe en el radar primario que comunica al radar secundario el contacto y este emite la interrogación a la aeronave a 1.030 MHz que devuelve su respuesta a 1.090 MHz.

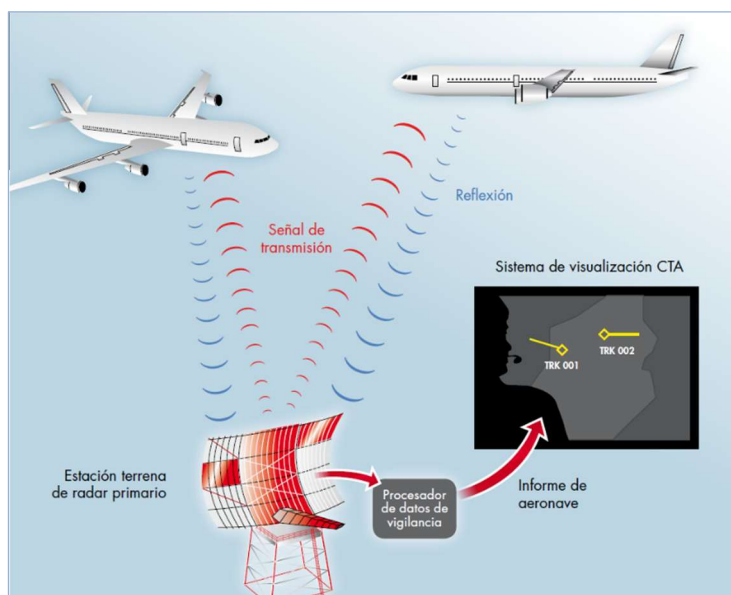


Fig. 7.21. Radar primario detectando aeronaves con el eco radar.

En la Figura 7.21 se muestra el funcionamiento del radar primario con el eco radar de las aeronaves.



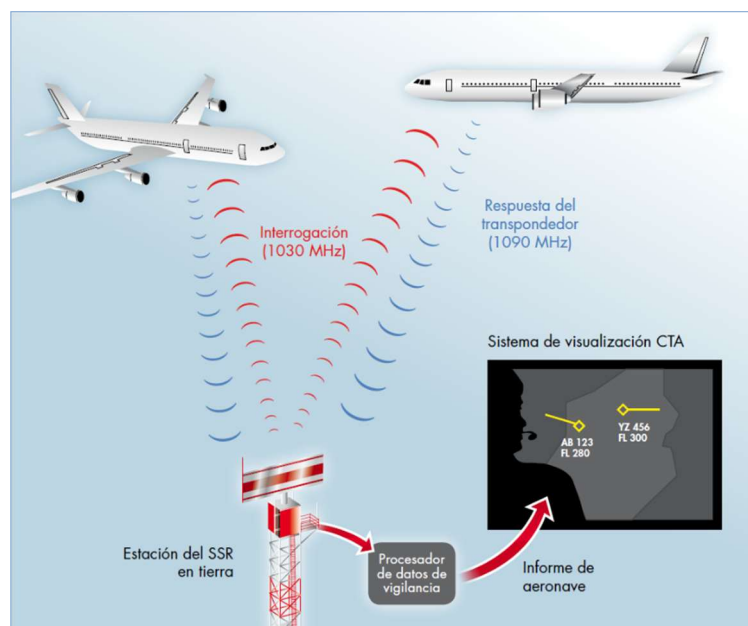


Fig. 7.22. Radar secundario interrogando y recibiendo respuesta de las aeronaves.

En la Figura 7.22 se muestra el funcionamiento del radar secundario interrogando aeronaves.

La cobertura de radar secundario SSR en España se documenta en el ENR 1.6-11 de 18-jun-20 de AIP ESPAÑA que se indica en la Figura 7.23.

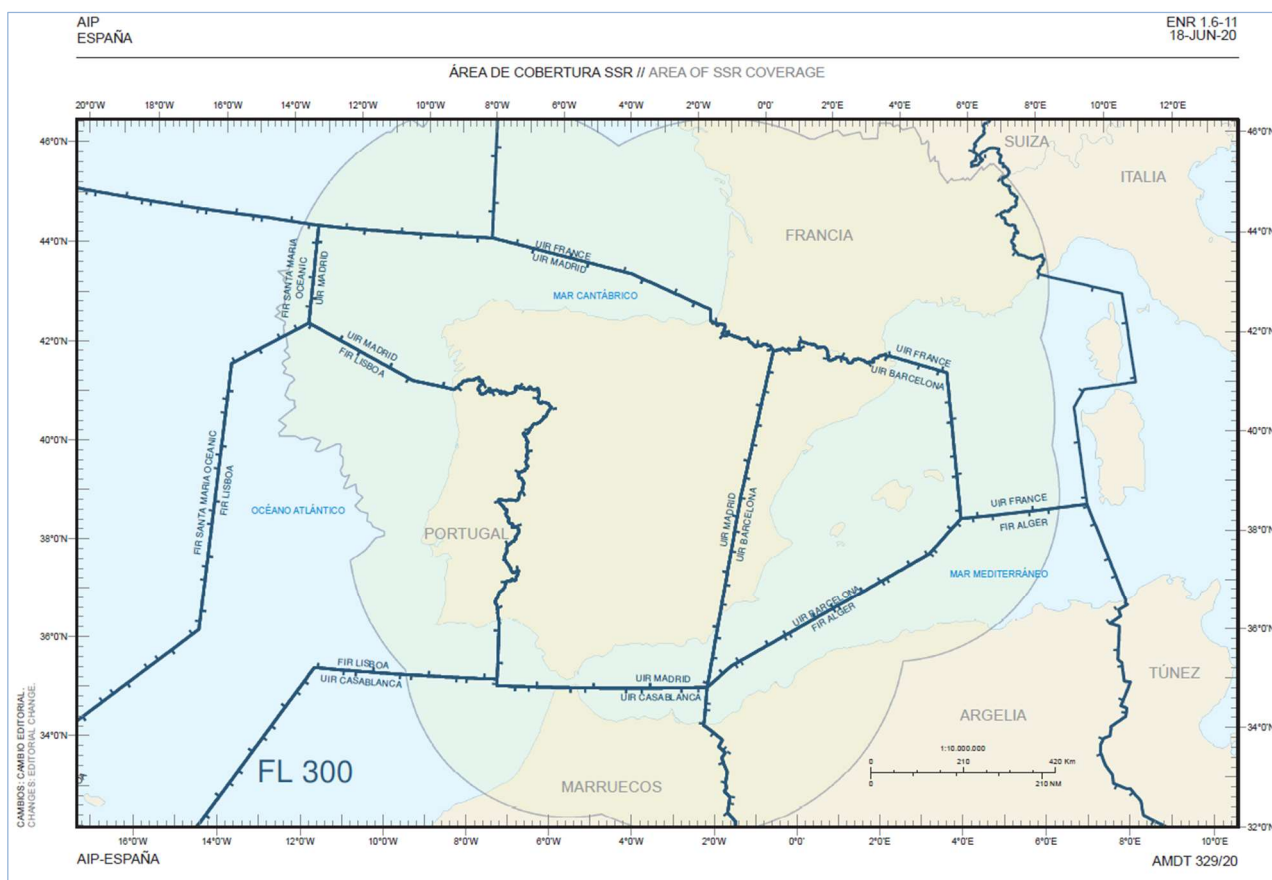


Fig. 7.23. Mapa de cobertura de radar secundario SSR en España.

## 7.5.- Vigilancia Dependiente Automática - Radiodifusión ADS-B

Como se ha indicado en el apartado de definiciones del capítulo 7, según la Orden PRE/1802/2011, Vigilancia dependiente automática-radiodifusión (ADS-B) es el medio por el cual las aeronaves, los vehículos aeroportuarios y otros objetos pueden transmitir y/o recibir, en forma automática, datos como identificación, posición y datos adicionales, según corresponda, en modo de radiodifusión mediante enlace de datos.

En el sistema ADS-B la aeronave utiliza el mismo equipo embarcado que es el transpondedor para comunicarse con otras aeronaves, con satélites y con antenas en estaciones de tierra para información de ATC.

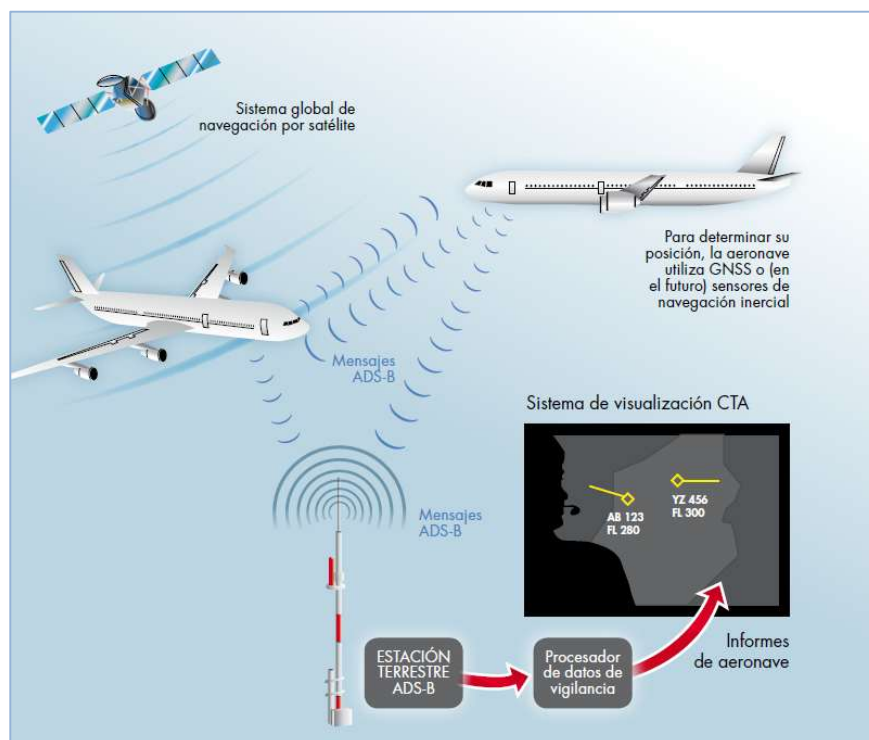


Fig.1.2. Ilustración sistema ADS-B.

Vigilancia dependiente automática-radiodifusión (ADS-B) es un sistema de seguimiento y vigilancia de las aeronaves que sobrevuelan un determinado espacio aéreo.

Permite a los controladores aéreos y a los pilotos de aeronaves próximas conocer la posición precisa de todas las aeronaves del entorno y sus trayectorias. El sistema se denomina automático porque no requiere que el piloto esté accionando permanentemente el dispositivo.

Los datos son posición y velocidad. Funciona en modo S a 1.090 MHz, y dispone de servicios como tráfico, tiempo atmosférico, terreno, e información de vuelo.

Existe la posibilidad de eliminar el TCAS, Traffic and Collision Avoidance System. Sistema de alerta de tráfico y evasión de colisión.

Existen dos tipos de ADS-B, el ADS-B out y el ADS-B in.

ADS-B. Out permite transmitir de forma continua los parámetros de vuelo de la aeronave, posición, altitud, velocidad. Requieren GNSS.

ADS-B. In es la parte receptora del sistema ADS-B. Permite recibir los datos de salida de las aeronaves que han utilizado el sistema ADS-B out.

La cobertura de Vigilancia Dependiente Automática - Radiodifusión ( ADS-B ) en España se documenta en el ENR 1.6-15 WEF 08-AUG-24 de AIP ESPAÑA que se indica en la Figura 7.24.

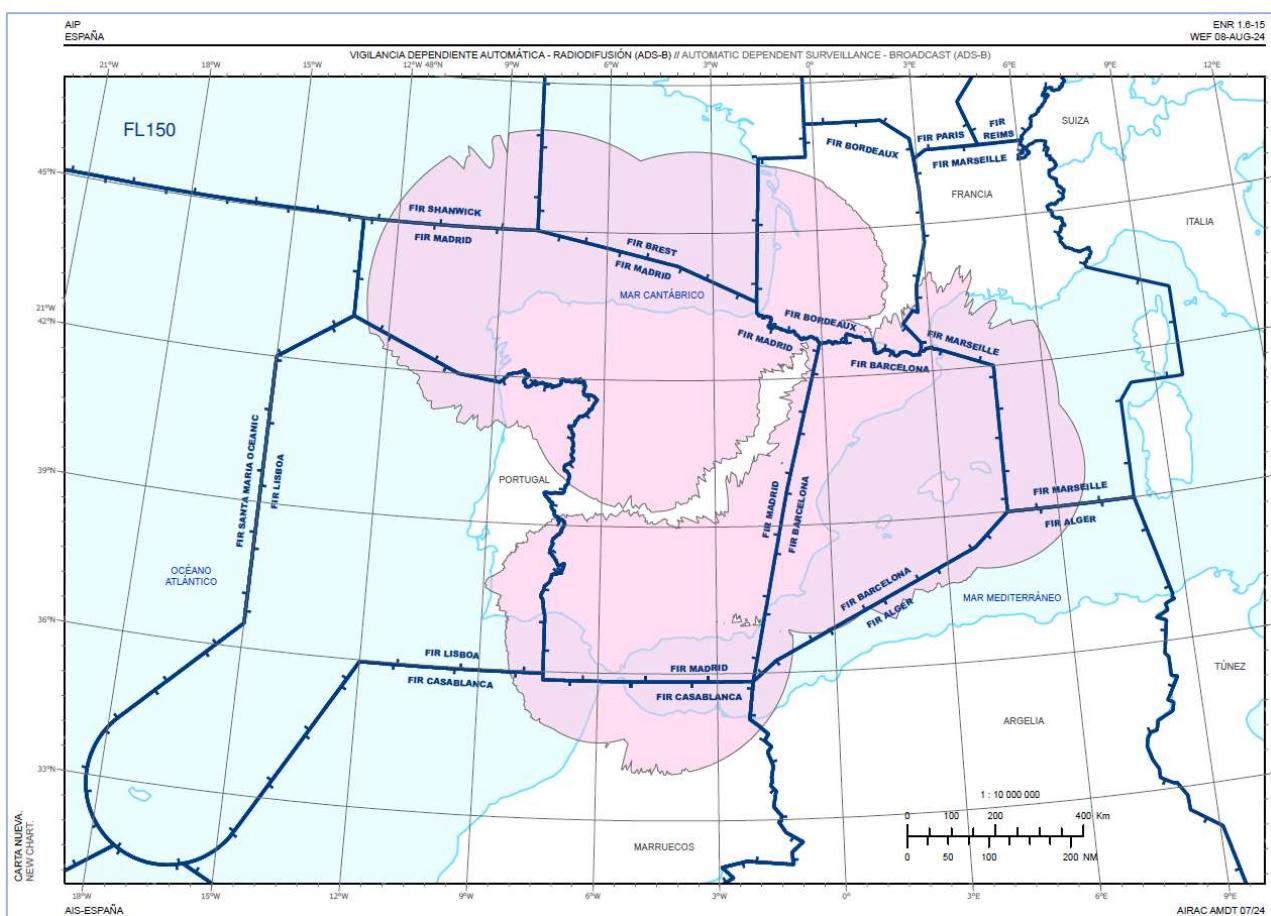


Fig. 7.24. Mapa de cobertura de Vigilancia Dependiente Automática - Radiodifusión ( ADS-B ) en España. ENAIRE

Los mensajes ADS-B se ajustan al protocolo ASTERIX.

## 7.6.- Vigilancia Dependiente Automática Multilateración

La técnica de multilateración se basa en que mediante antenas instaladas en múltiples posiciones, se pueda calcular la distancia del avión a cada una de ellas debido al tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción de la señal de radio, con el fin de obtener el posicionamiento de la aeronave

**“ Real Decreto 552/2014, de 27 de junio, por el que se desarrolla el Reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea y se modifica el Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Aérea.**

*Sistema de multilateración (MLAT): Grupo de equipos configurados para proporcionar la posición derivada de las señales de transpondedor (respuestas o señales espontáneas) del radar secundario de vigilancia (SSR) usando, principalmente, técnicas para calcular la diferencia en el tiempo de llegada (TDOA). A partir de las señales recibidas, puede extraerse información adicional, incluida la identificación.*

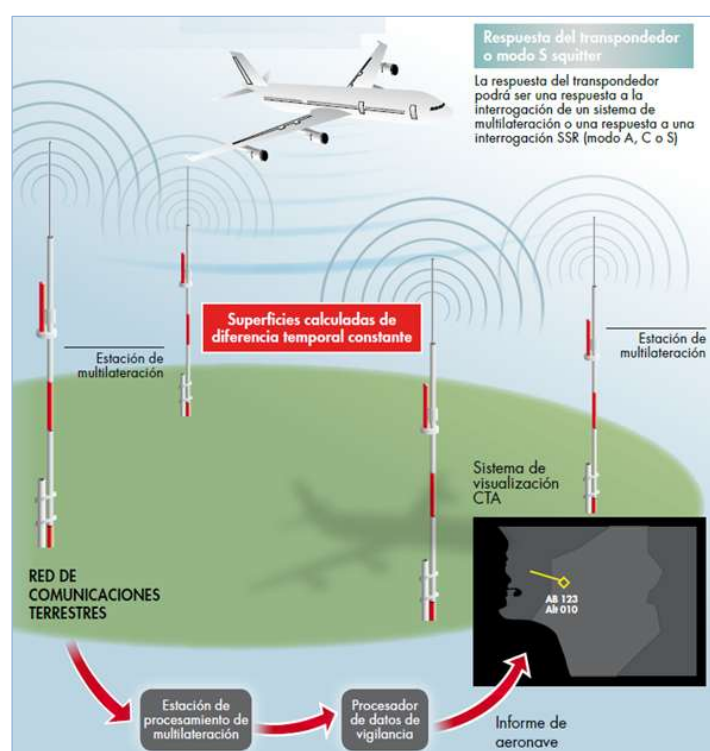


Fig. 7.25. Antenas del sistema de multilateración recibiendo respuesta de las aeronaves.

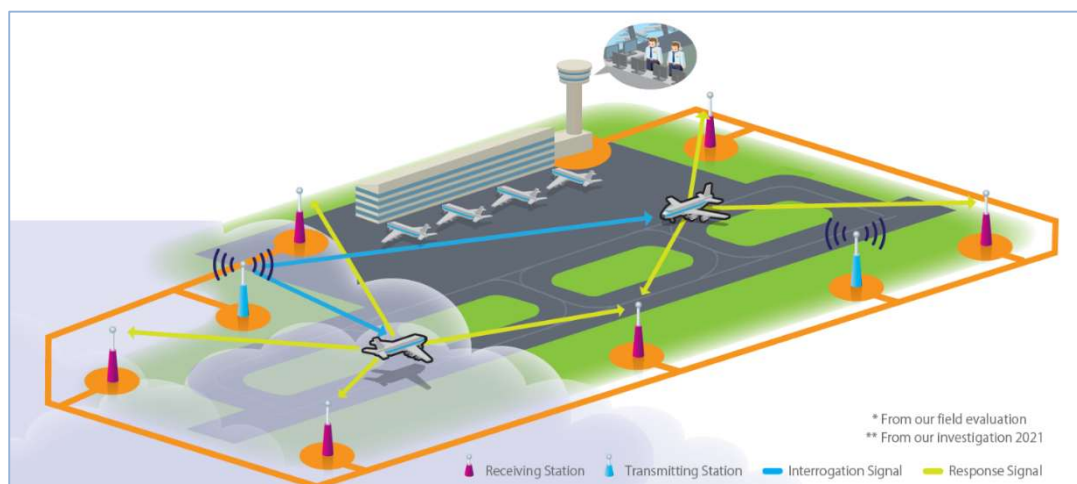


Fig. 1.3. Ilustración del aterrizaje de un avión que comunica vía radio con varias antenas en tierra.



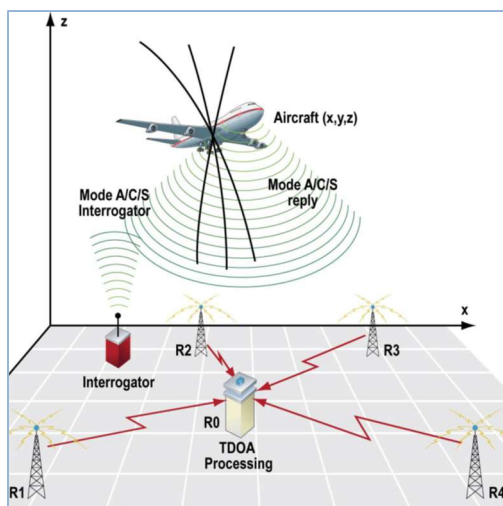


Fig. 7.26. Sistema de Multilateración .

En la Fig. 7.26 se observa un sistema de Multilateración con un interrogador en tierra, la aeronave recibiendo la interrogación y devolviendo la respuesta a las antenas distribuidas en tierra.

Existen dos métodos de cálculo de TDOA. Cada una de las señales recibidas son correladas para producir el TDOA, o de otra forma, el tiempo de llegada TOA se mide y se calcula la diferencia de tiempos entre ellas.

La multilateración es un sistema de cálculo de la posición basado en la geometría hiperbólica que teniendo como referencia la sincronización de las estaciones receptoras, reciben la señal del avión se mide el tiempo de llegada TOA.

$$\widehat{TOA}_i = t_e + \frac{1}{c} \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2} + n_i$$

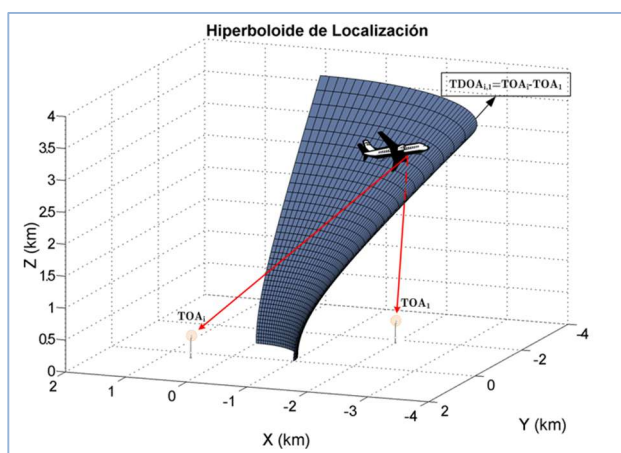


Fig. 7.27. Multilateración. Cálculo del hiperboloide

De la ecuación las componentes son:

$t_e$  tiempo del momento de emisión de la respuesta por el transpondedor

$r_i$  distancia entre la estación receptora y el objetivo

$c$  velocidad de la luz

$n_i$  ruido, si no se conoce se puede estimar

En la Fig. 7.28 se observa el documento comercial del fabricante EASAT que incorpora un diagrama del sistema de multilateración indicando los datos de cada sensor a la categoría ASTERIX a que pertenece, que en el caso de Multilateración es CAT 21.

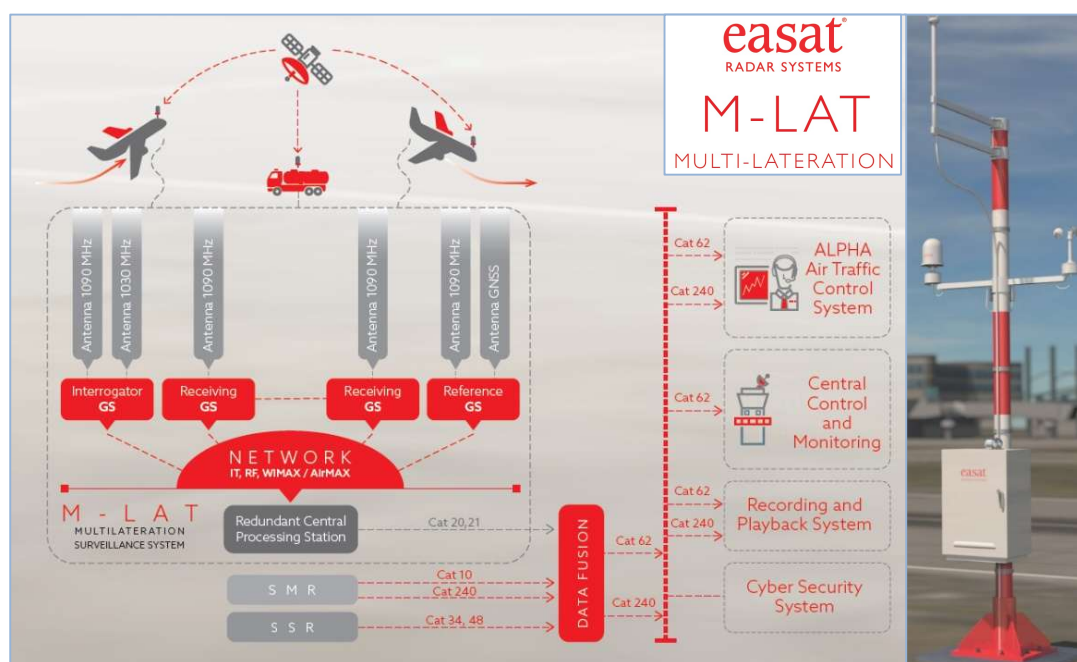


Fig. 7.28. Catálogo equipos de Multilateración. EASAT.

## 8.- Documentos EUROCAE ED-129B y ED-142 de los sistemas de nueva generación de vigilancia y navegación aérea, ADS-B y Multilateración

Los sistemas de nueva generación utilizados actualmente para los servicios de navegación y vigilancia aérea tienen definidas sus especificaciones en los documentos ED-129B y ED-142 de EUROCAE.

Como se ha indicado en el apartado 1.- Objeto del trabajo del presente TFM, se van a explicar dos normas técnicas de los sistemas de vigilancia aérea. Estas normas realizadas por EUROCAE, son el documento ED-129B, versión marzo de 2016, y su actualización ED-129C del año 2023, y el documento ED-142, versión septiembre de 2010.

**Debido a la extensión de las normas, y por encargo del tutor se estudian únicamente los siguientes apartados:**

- a) Documento ED-129B, Capítulos 1, 2, 3, hasta 3.3.3.- Accuracy y las novedades de su actualización versión ED-129C
- b) Documento ED-142, Capítulos 1, 2, 3, hasta 3.4.3.- Target Reports

### 8.1.- Documento EUROCAE ED-129B / 2016 y ED-129C / 2023.

El Documento EUROCAE, ED-129B de publicación marzo de 2016, “ **Technical Specification for a 1090 MHz Extended Squitter ADS-B Ground System** ”, *Especificación Técnica para un Sistema Terrestre ADS-B de Squitter Extendido de 1090 MHz*, se analiza en este apartado de forma que se estudian los Capítulos 1, 2, 3, hasta el apartado 3.3.3.- Accuracy.

Dado la complejidad el título del Documento ED-129B se indican las definiciones de sus términos:

- **Modo S.** *Un modo de direccionamiento selectivo del sistema de Radar de Vigilancia Secundaria (SSR) que funciona utilizando interrogaciones direccionadas en 1030 MHz y respuestas de transpondedor en 1090 MHz. El modo S también admite un enlace de datos bidireccional y un servicio ADS-B conocido como Extended Squitter.*
- **Squitter.** *Transmisión espontánea generada a una velocidad pseudoaleatoria o en función de un evento por un dispositivo transpondedor o no transpondedor sin necesidad de ser interrogado.*
- **Extended Squitter (ES).** *Mensaje largo en Modo S (DF = 17, 18 o 19) que los blancos capaces transmiten automáticamente, sin necesidad de ser interrogados. El Extended Squitter contiene un mensaje ADS-B.*

El Reglamento Europeo nº 1207/2011 que establece los requisitos de rendimiento e interoperabilidad de la vigilancia del cielo único europeo, define el sistema **ADS-B Extended Squitter** como **señales espontáneas ampliadas (ES) ADS-B**.

El Documento ED-129B ha sido realizado por el Grupo de Trabajo 51, ADS-B de EUROCAE, siendo este grupo WG-51, Work Group, el encargado de la aviónica, Vigilancia Dependiente Automática por Difusión, Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (ADS-B). EUROCAE como organización internacional realiza trabajos de especificaciones técnicas como orientación para la fabricación de equipos de la aviación civil, y todo ello en colaboración con la RTCA, SAE Society of Automotive Engineers de EEUU.

Las normas elaboradas por EUROCAE en coordinación con RTCA y SAE están destinadas a la aviación civil para su uso en Europa y todo el mundo.

El documento ED-129B actualiza y sustituye al anterior ED-129A para preparar la norma para ADS-B como un sistema o conjunto de estaciones y no como se hacía anteriormente para una sola estación, de forma que se consideran estaciones terrestres ADS-B y sistemas distribuidos ADS-B.

Todo ello con el objetivo cumplir con el **SPI-IR** Surveillance Performance and Interoperability Implementing Regulation (Reglamento de aplicación sobre el rendimiento de la vigilancia y la interoperabilidad) de la norma Europea nº 1207/2011, y para cumplir requisitos de **GEN SUR SPR** Generic Surveillance Safety and Performance Requirement, Requisito genérico de seguridad y rendimiento de la vigilancia.

El documento ED-129B realiza correcciones de ED-129A, y adapta formatos para el software de intercambio de información de vigilancia en aplicaciones ATM denominado ASTERIX en las categorías 021 y 025.

### 8.1.1.- Análisis. Documento EUROCAE ED-129B. Capítulo 1.

El Capítulo 1 del documento ED-129B, describe las generalidades de las especificaciones técnicas mínimas para un Sistema Terrestre ADS-B de Squitter Extendido de 1090 MHz. El término Squitter significa señales espontáneas.

El sistema ADS-B conecta con los Servicios de Vigilancia ATS, Air Traffic Service, siendo Control de Área en la Región Europea de Navegación Aérea, y Control de Aproximación, de forma que ADS-B es el dispositivo “Sensor SUR” (Sensor Surveillance, sensor de vigilancia) que posibilita los servicios anteriores.

La Tabla 8.1 , muestra resumidamente los elementos de la tecnología de sensor de vigilancia.

Summary of sensor surveillance technology

|                                                                                                                                                                  |        | RADAR-BASED TECHNOLOGY |                            | SATELLITE-BASED TECHNOLOGY           |                                      | OTHER                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------------------------|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
|                                                                                                                                                                  |        | PSR                    | SSR                        | ADS-B                                | ADS-C                                | Multilateration            |
| Independent or Dependent<br>Aircraft position is measured from the ground (Independent) or aircraft position is determined onboard (Dependent)                   |        | Independent            | Independent                | Dependent                            | Dependent                            | Independent                |
| Cooperative or Non-Cooperative<br>Surveillance requires aircraft equipment (Cooperative) or surveillance does not depend on aircraft equipment (Non-Cooperative) |        | Non-Cooperative        | Cooperative                | Cooperative                          | Cooperative                          | Cooperative                |
| No Aircraft Transponder                                                                                                                                          |        | Detection              | –                          | –                                    | –                                    | –                          |
| Mode A                                                                                                                                                           |        | Detection              | Detection & Identification | –                                    | –                                    | Detection & Identification |
| AIRCRAFT TRANSPONDER                                                                                                                                             | Mode C | Detection              | Detection & Identification | –                                    | –                                    | Detection & Identification |
| Mode S                                                                                                                                                           |        | Detection              | Detection & Identification | –                                    | –                                    | Detection & Identification |
| ADS-B                                                                                                                                                            |        | Detection              | –                          | Detection, Identification & Position | Detection, Identification & Position | –                          |

Tabla 8.1. Resumen de tecnología de sensores de vigilancia.

La vigilancia cooperativa requiere que la aeronave esté equipada con un sistema de vigilancia que responda a las transmisiones del sistema de tierra.

La vigilancia no cooperativa calcula desde tierra la posición de la aeronave y no depende de datos transmitidos por la aeronave.

Entre los objetivos del documento ED-129B se encuentra el fin de apoyar las distancias mínimas de separación del control de tráfico aéreo ATC para aeronaves con aviónica de vigilancia cooperativa, siendo de 5 NM entre aeronaves del espacio aéreo en ruta, de 3 NM entre aeronaves del espacio aéreo TMA, de 2,5 NM entre aeronaves sucesivas en la aproximación a la misma pista, y de 2 NM en diagonal entre aeronaves sucesivas en aproximación a pistas paralelas.

Estas distancias se indican también en el Documento 4444 de OACI, Gestión del tránsito aéreo, en su apartado 8.7.3 Mínimas de separación basadas en los sistemas de vigilancia ATS, que indica lo siguiente:

**“8.7.3.1.- A menos que se prescriba otra separación de acuerdo con 8.7.3.2 (respecto al radar), 8.7.3.3 u 8.7.3.4, o el Capítulo 6 (respecto a aproximaciones paralelas independientes y dependientes), la separación horizontal mínima basada en radar y/o en ADS-B será de 9,3 km (5 NM).**

**8.7.3.3.- La mínima de separación o las mínimas basadas en radar y/o en ADS-B aplicables serán las prescritas por la autoridad ATS competente, de acuerdo con la capacidad del sistema o de los sensores ADS-B o radar de que se trate para poder identificar con exactitud la posición de la aeronave en relación con el centro de un símbolo de posición, una traza PSR o una respuesta SSR y teniéndose en cuenta factores que pueden influir en la precisión de la información proveniente de la ADS-B y/o del radar, tales como la distancia desde la aeronave hasta el emplazamiento radar y la escala de la distancia que se utilice en la presentación de la situación. “**

También exige el cumplimiento de estos mínimos de separación de 3 NM y 5 NM en:

- Documento de Eurocontrol SPEC-0147, Specification for ATM Surveillance System Performance (Volume 1), en el apartado 3, Performance requirement specification for surveillance applications.
- Documento EUROCAE ED-142 de publicación septiembre de 2010, **“ Technical Specification for Wide Area Multilateration (WAM) Systems .**

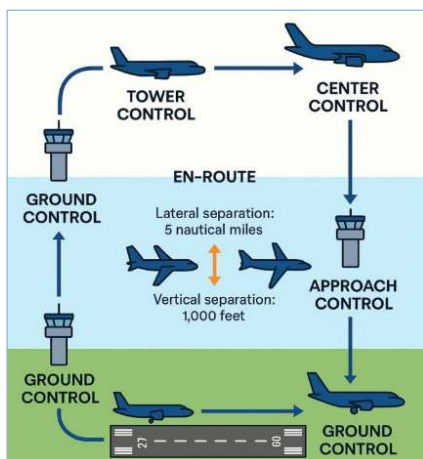


Fig. 8.1. 5 NM separation en Route

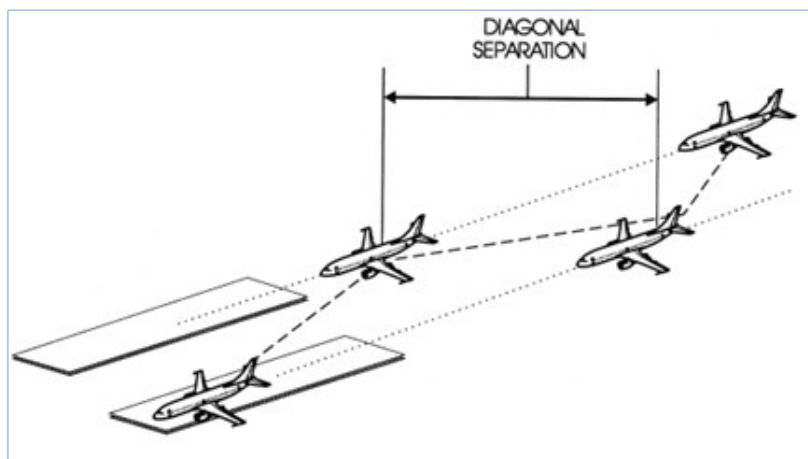


Fig.8.2. Separación en diagonal entre aeronaves sucesivas en aproximación a pistas paralelas.

La separación de 2 NM en diagonal entre aeronaves sucesivas en aproximación en pistas paralelas, también se indica en el Reglamento de Circulación Aérea según Real Decreto 426/2021 como se aprecia en la Figura 4 del RD 426/2001, aquí numerada Figura 8.3.

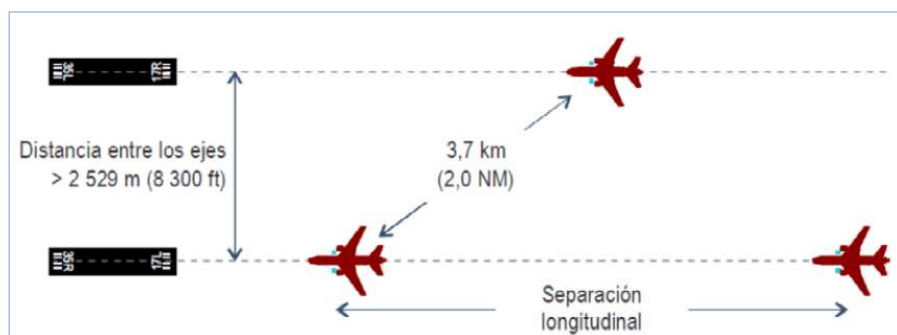


Fig.8.3. Figura 4-26 C. Separación diagonal

El Reglamento de Circulación Aérea según Real Decreto 426/2021 en el apartado de operaciones simultáneas de vuelo por instrumentos en pistas paralelas se basa en la sección 2.3 del Manual sobre operaciones simultáneas en pistas de vuelo por instrumentos paralelas del Doc. 9643 de OACI.

En la Figura. 8.4. ( Fig. 2-9 Doc. 9643 de OACI ) se grafían unas líneas que representan la trayectoria de descenso de las aeronaves para aterrizar en la pista.



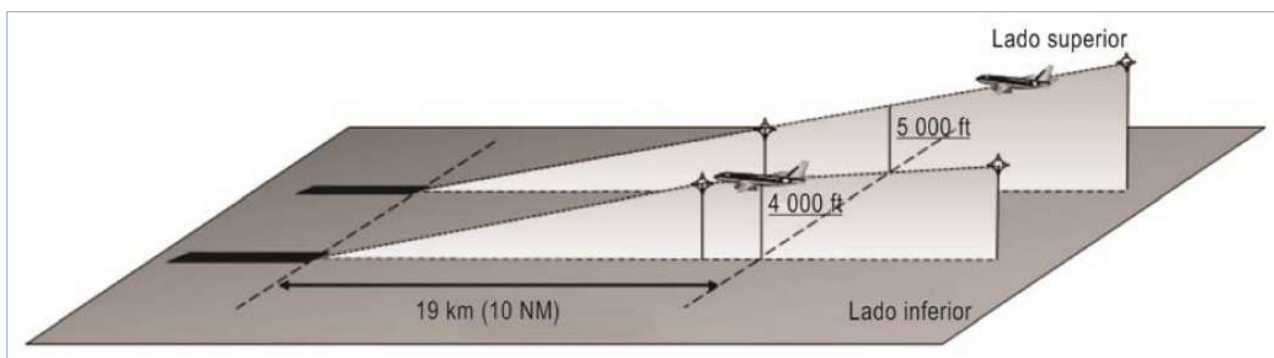


Fig. 8.4. Figura 2-9. Lado superior/Lado inferior para operaciones de aproximación dependiente Modo 2..

El documento ED-129B especifica que el Sistema ADS-B también debe poder gestionar operaciones de superficie aeroportuaria en línea con la aplicación ADS-B-APT ( APT, Airport ).

Esta especificación técnica ED-129B para un Sistema ADS-B está diseñada con el fin de asegurar que el equipo de comunicaciones sea compatible con las instalaciones ADS-B Out basadas en el Extended Squitter de 1090 MHz de las aeronaves certificadas para EASA CS-ACNS prestación del Servicio de Vigilancia ATS dentro del espacio aéreo de media y alta densidad, Figura 8.5.

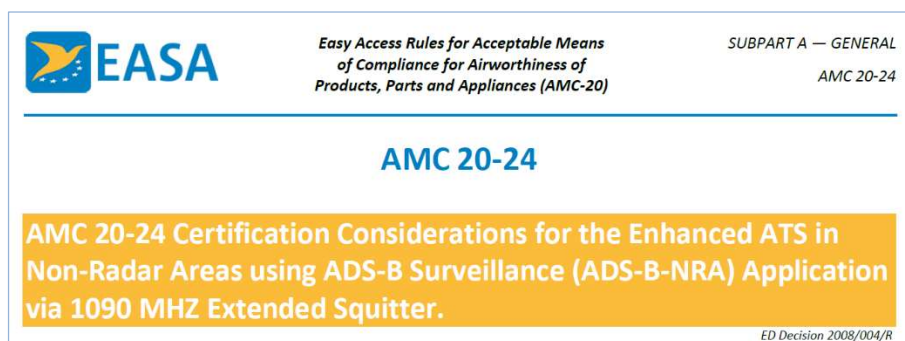


Fig.8.5.. Portada del Documento AMC 20-24 de EASA de Certificación ADS-B, 1090 MHz de Extended Squitter

y también estén certificadas para EASA AMC 20-24 prestación del Servicio de Vigilancia ATS dentro del espacio aéreo de baja densidad, Figura 8.6.

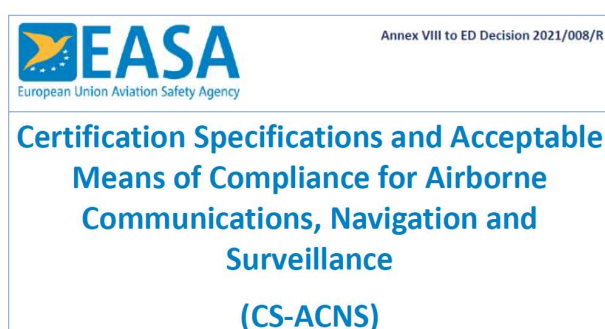


Fig. 8.6. Portada del Documento CS-ACNS de EASA de Certificación de sistemas de vigilancia

En el documento EASA CS-ACNS también se indican las distancias de separación entre aeronaves, 5 NM y 3 NM, según la Tabla 8.2.

| Table 1820: Minimum Horizontal Position and Velocity Data Quality Requirements |                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Quality Parameter                                                              | Requirement                                                                                  |
| Position Accuracy (NACp)                                                       | NACp≤185.2 m (0.1NM) (i.e. NACp≥7) for both 3 NM and 5 NM separation                         |
| Position Integrity Containment Radius (NIC)                                    | 3 NM Sep: NIC≤1 111.2 m (0.6 NM) (i.e. NIC≥=6)<br>5 NM Sep: NIC≤1 852 m (1 NM) (i.e. NIC≥=5) |

Tabla 8.2. (Tabla 20 del Doc. CS-ACNS de EASA) Distancias de separación entre aeronaves, 5 NM y 3

La Vigilancia Dependiente Automática - Radiodifusión (ADS-B) es un sistema de comunicaciones aeronáuticas donde las aeronaves, los vehículos de servicio del aeropuerto y otros objetos como antenas pueden transmitir y/o recibir automáticamente datos de identificación, posición, velocidad y otros datos adicionales en un modo de radiodifusión a través de un enlace de datos.

El sistema ADS-B funciona de forma automática dado no requiere ninguna actuación externa, y es dependiente debido a que depende de los sistemas de posición horizontal y de transmisión de radiodifusión, ambos a bordo de la aeronave para transmitir la información de vigilancia a otros usuarios.

La aeronave que origina la emisión desconoce cuáles son los usuarios que están recibiendo su emisión, puesto que cualquier usuario, aeronave o en tierra puede recibir la información de vigilancia ADS-B dependiendo de si se encuentra dentro del alcance de la emisión. En la Figura 8.7 se representa el esquema de funcionamiento del sistema ADS-B.

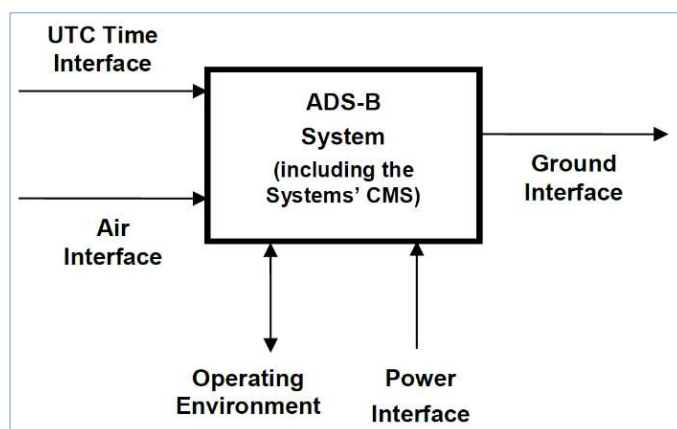


Fig. 8.7. Esquema de funcionamiento del sistema ADS-B.

En el esquema se indican las interfaces de, Interfaz horaria UTC, Interfaz aérea para la entrada de radiofrecuencia (RF) de 1090 MHz, Interfaz de tierra desde donde se envían los informes de blancos a equipos de tierra, Interfaz de alimentación eléctrica, y conexión con el Entorno operativo que es el formado por interfaces y limitaciones físicas, fuentes y disipadores de calor, fuentes de interferencias electromagnéticas y otras entidades que no son interfaces de señal.

La Interfaz horaria UTC es la que fija la referencia de tiempo de sincronización de las funciones de cronometraje internas del sistema con el Tiempo Universal Coordinado (UTC). La hora UTC es la base para todos los datos de tiempo comunicados externamente.

La Interfaz aérea corresponde a la aviónica de la aeronave y la especificación técnica está diseñada para garantizar que los equipos receptores cumplan la especificación y deben ser compatibles con las instalaciones ADS-B Out de las aeronaves certificadas bajo la norma EASA AMC 20-24.

El Interfaz de tierra o de salida transmite los datos necesarios para proporcionar una interfaz con los sistemas de distribución y procesamiento de datos de vigilancia de los canales de salida ADS-B ASTERIX CAT 021 y ADS-B ASTERIX CAT 025, y de los Informes de versión de categoría ASTERIX CAT 247.

También la Interfaz de tierra procesa los datos de la Interfaz SNMP, HTTP o similar para equipos externos de control y supervisión. Opcionalmente pueden incluirse otros resultados del canal de salida ADS-B ASTERIX CAT 023, e Informes de predicción de servicio ASTERIX CAT 238.

En el Interfaz de alimentación los componentes del Sistema disponen de alimentación eléctrica mediante sus respectivas Interfaces de Alimentación.

El entorno operativo está formado por interfaces y limitaciones físicas, fuentes y disipadores de calor, fuentes de interferencias electromagnéticas y otras entidades que no son interfaces de señal.

El documento ED-129B se basa en los supuestos de que el sistema es el componente sensor de vigilancia definido en GENSUR-SPR y considera que las aeronaves están certificadas según el CS-ACNS de la AESA dentro de los volúmenes de cobertura de los entornos ATC de densidad media y alta.

También considera que las aeronaves están certificadas según EASA AMC 20-24 o según EASA CS-ACNS dentro de los volúmenes de cobertura de los entornos ATC de baja densidad.

Las características de transmisión del transmisor ADS-B se ajustan a una potencia de transmisión E.I.R.P. (Effective Isotropic Radiated Power - Potencia Radiada Isotrópica Efectiva), mínima de 125 W, de conformidad con el Anexo 10 de la OACI, considerando que la antena stub típica de un cuarto de onda tiene una ganancia de 0 dB.

Las características de transmisión del transmisor ADS-B cumplen al menos con el anexo 10 de la OACI.



Fig. 8.8. Stub Antenna ADS-B  
Modelo CI 101 Transponder  
Fabricante: Comant Industries

En la fotografía Figura 8.8 se muestra la antena Stub para ADS-B, modelo CI-101 marca Comant del fabricante Comant Industries, Inc. que en el año 2008 se convirtió en Cobham SATCOM Airborne Systems.



Fig. 8.9. Logo marca Comant  
Fabricante aviónica: Cobham Industries



Fig. 8.10. Logo Thales Group

En abril de 2024 la empresa de fabricación de aviónica Cobham SATCOM Airborne Systems pasó a ser una entidad de Thales Group.

La antena del transmisor ADS-B debe tener la característica de ser omnidireccional en acimut. Las aeronaves deben estar equipadas con varias antenas, arriba y abajo en el exterior del fuselaje.

El nivel de potencia de las unidades de transmisión ADS-B de los vehículos terrestres en aplicaciones APT deben ser de suficiente potencia en los alcances cortos de la superficie del aeropuerto.

Está previsto en el futuro documento ED-142A que el usuario pueda incorporar funciones adicionales al sistema en caso de preocupación por la seguridad del entorno operativo.

La arquitectura del sistema ADS-B procesa y consolida los mensajes Extended Squitter (ES) de 1090 MHz recibidos de las aeronaves, así como de los vehículos en movimiento en la superficie de los aeropuertos, de forma que emite Informes de Objetivos para su interconexión con un sistema de procesamiento de datos de vigilancia.

Estos sistemas pueden ser desde un único subsistema receptor hasta una red distribuida de varios subsistemas receptores, lo cual hace que el número de receptores del subsistema de recepción y las posiciones elegidas para la red de componentes producen efectos de rendimiento en el sistema, especialmente en la cobertura de vigilancia a altitudes más bajas.

En la Figura 8.11 se muestra un esquema de ejemplo de arquitectura de un sistema ADS-B, de forma que suele constar de los componentes principales de, subsistema de recepción, subsistema procesador con sincronización horaria UTC y realización de informes, conexiones de red, y sistema de control y supervisión (CMS, Control Management System). El CMS es una infraestructura de vigilancia basada en tierra que gestiona y monitoriza los datos recibidos del sistema ADS-B que está equipado en la aeronave para apoyar el control de tráfico aéreo ATC.

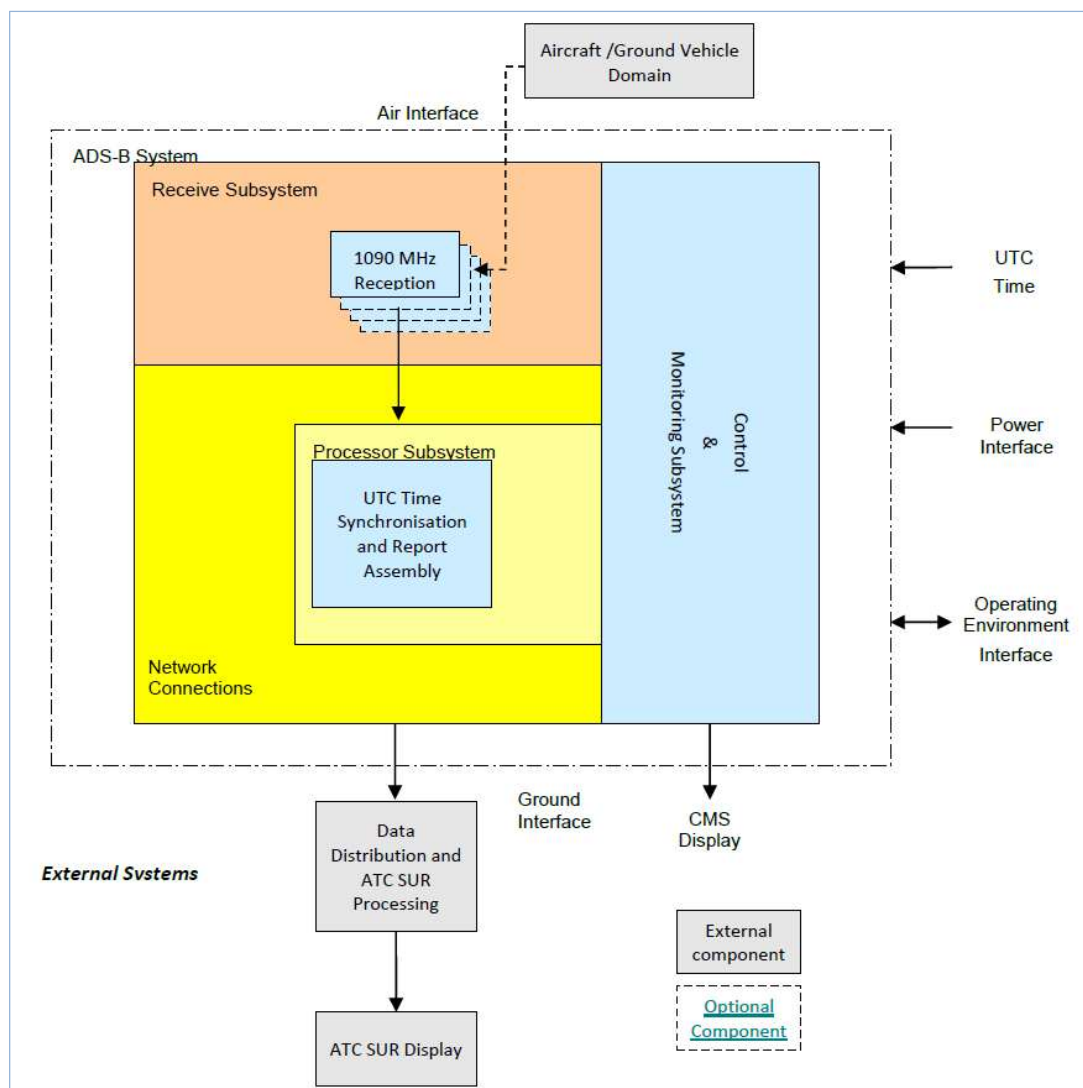


Fig.8.11. Diagrama ejemplo de arquitectura de un sistema ADS-B

Los fabricantes tienen la opción de diseñar la estructura de hardware y software de su sistema ADS-B de cualquier manera que resulte adecuada para cumplir los requisitos indicados en esta especificación

Las principales funciones de los subsistemas de recepción son recibir señales de los transmisores ADS-B de destino a 1090 MHz, digitalizar las señales y transferir los datos digitalizados, siendo la recepción de mensajes de enlace descendente en Modo S de Squitter Extendido utilizando la banda de RF de 1090 MHz.

El mensaje en Modo S de Squitter Extendido se descodifica y se corrige utilizando CRC, código de redundancia cíclica, basado en un procedimiento matemático de detección de errores en los datos transmitidos o almacenados del subsistema de recepción de los transmisores ADS-B. A estos mensajes recibidos y descodificados se les asigna una marca de tiempo.

Los datos ADS-B transmitidos al Servicio de Vigilancia ATS pueden ser transmitidos por un receptor, pero si se añaden dos o más receptores se aumenta el volumen de cobertura y la disponibilidad y con ello se produce una redundancia en la continuidad del servicio.

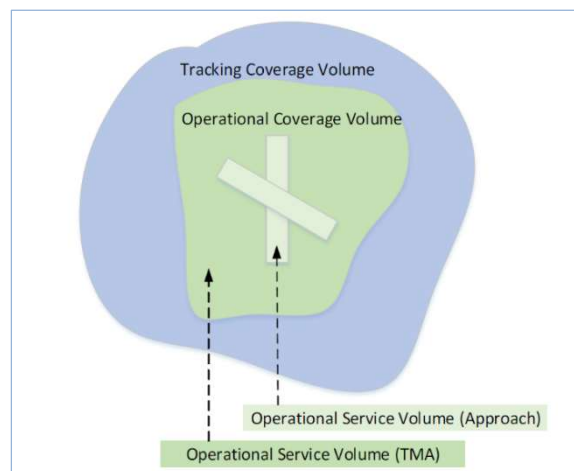


Fig. 8.12 Volumen de cobertura de un sistema ADS-B



La distribución de los receptores permite que la red se diseñe incluyendo varios receptores de reserva para garantizar el rendimiento de detección de mensajes requerido, incluso cuando uno o más receptores estén sin servicio en caso de mantenimiento o reparación.

Las antenas receptoras de estas configuraciones suelen ser omnidireccionales pero pueden emplearse antenas sectorizadas con lo que se puede conseguir un rendimiento de detección superior u, opcionalmente, proporcionar medidas adicionales de seguridad.

El subsistema procesador es el nodo en el que se coteja la información procedente de la estación o estaciones receptoras con el fin de determinar la posición de la aeronave, su identidad y otros parámetros relacionados, basándose en los datos contenidos en el mensaje ADS-B transmitido por la aeronave, consolida los flujos separados de datos ADS-B en una única salida del sistema, y procesa los mensajes ADS-B con direcciones de destino duplicadas y otras funciones de gestión.

Al igual que en los actuales sistemas ADS-B, la arquitectura debe seleccionarse para proporcionar el rendimiento y la disponibilidad requeridos en la forma más rentable. En dicha arquitectura el procesador puede duplicarse para garantizar que se alcanza el tiempo medio requerido entre fallos críticos, MTBCF Mean Time Between Critical Failures, que es una medida de fiabilidad de un sistema.

Las conexiones de red incluyen tanto los enlaces de comunicación entre cualquier parte componente distribuida del Sistema ADS-B y su Sistema de Procesamiento como la interfaz entre el Sistema ADS-B y el subsiguiente procesamiento de datos de vigilancia.

El Sistema de Control y Supervisión (CMS) es una función que permite configurar y controlar el sistema. También informa del estado actual del servicio y de cada uno de los canales. El CMS comprueba la salud del sistema y ayuda a localizar y aislar los componentes averiados.

Para desarrollar un sistema ADS-B deben considerarse unos criterios de rendimiento adecuados para el entorno operativo los cuales han de ser considerados dependiendo de los cambios futuros de las densidades de tráfico dentro de un entorno determinado. Dada la importancia de la elección de criterios, para ayudar al lector del documento, se dan unas consideraciones previas.

El documento ED-129B, los requisitos del servicio de vigilancia ATS se expresan con respecto a ocho "tipos de sector ATC" que describen las características típicas del entorno operativo dentro del espacio aéreo europeo.

| Tipo de sector ATC      | OACI<br>Mínimos de<br>separación | Observaciones                                                                                                                                        |
|-------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ER de baja densidad     | 5 NM                             | Mínimos de separación sectorial entre aeronaves en el espacio aéreo en ruta                                                                          |
| ER de densidad media    |                                  |                                                                                                                                                      |
| ER de alta densidad     |                                  |                                                                                                                                                      |
| TMA de baja densidad    | 3 NM                             | Mínimos de separación en todo el sector entre aeronaves en el espacio aéreo TMA (incluidas aeronaves sucesivas en las mismas aproximaciones finales) |
| TMA de densidad media   |                                  |                                                                                                                                                      |
| TMA de alta densidad    |                                  |                                                                                                                                                      |
| APP2.5 de alta densidad | 2,5 NM                           | Entre aviones sucesivos en la misma aproximación final.                                                                                              |
| APP2.0 de alta densidad | 2,0 NM                           | Entre aeronaves sucesivas en aproximaciones adyacentes instrumentadas para pistas paralelas dependientes.                                            |

Tabla 8.3. Características del tipo de sector ATC

| Tipo de sector ATC      | Npk<br>[ps-hora] | Nnpk<br>[ps-hora] | qpeak | Nav.psy<br>[ps-año] |
|-------------------------|------------------|-------------------|-------|---------------------|
| ER de baja densidad     | 18               | 10                | 0.3   | 75,000              |
| ER de densidad media    | 32               | 16                | 0.4   | 140,000             |
| ER de alta densidad     | 54               | 28                | 0.4   | 250,000             |
| TMA de baja densidad    | 18               | 10                | 0.3   | 80,000              |
| TMA de densidad media   | 28               | 16                | 0.4   | 135,000             |
| TMA de alta densidad    | 42               | 26                | 0.4   | 215,000             |
| APP2.5 de alta densidad | 48               | 28                | 0.4   | 235,000             |
| APP2.0 de alta densidad | 60               | 36                | 0.4   | 300,000             |

Tabla 8.4. Movimientos anuales aeronaves / tipo de sector ATC

En las Tablas 8.3 y 8.4. ER significa En ruta y APP significa Aproximación Final.

Los datos de las tablas son necesarios para conocer las características de movimiento de aeronaves de cada tipo de entorno y establecer las correspondientes tasas de eventos de separación como indica el documento SPR GEN-SUR, Generic Surveillance Safety and Performance Requirement (Requisito genérico de seguridad y rendimiento de la vigilancia).

Con ello es posible identificar las necesidades reales de rendimiento del sistema ADS-B a nivel del sector ATC, y comparar las diferencias entre "puntos calientes" y "puntos fríos" del servicio de vigilancia ATS.

Los requisitos de suministro de datos de Vigilancia ATS del documento ED-129B se basan en el SPR GEN-SUR que determina los requisitos mínimos operativos, de seguridad y de rendimiento (SPR) para un Sistema Genérico de Vigilancia (GEN-SUR) que dé soporte a los Servicios de Control del Tránsito Aéreo (ATC).

El documento SPR GEN-SUR es la base de un enfoque de requisitos de Vigilancia Basada en el Rendimiento (PBS), que vincula los Servicios de Vigilancia ATS, los tipos de espacio aéreo y los mínimos de separación con los respectivos requisitos de suministro de datos de Vigilancia ATS, aplicables a una serie de tipos de Sector ATC típicos dentro del espacio aéreo europeo.

El documento GEN-SUR SPR sigue un enfoque descendente y orientado a las operaciones, en consonancia con el material operativo de la OACI, en particular el PANS-ATM de la OACI y con la normativa europea vigente.

Se establecen conjuntos de requisitos sobre la prestación de servicios de control del tránsito aéreo en diversos entornos operativos típicos y, en particular, con respecto a la separación de aeronaves. Para ello, se han identificado los ocho tipos de Sector ATC continental.

Los requisitos funcionales globales ATC SUR de extremo a extremo se asignan a cuatro componentes lógicos en tierra, la función cooperativa " Sensor de vigilancia", la distribución de los datos de vigilancia, el procesamiento multisensor y las funciones de la pantalla. En la función ATC SUR la aeronave debe ajustarse al Reglamento 1207/2011 de la Comisión Europea.

Los requisitos de este documento son totalmente trazables a los requisitos de referencia GEN-SUR-SPR. Estos requisitos genéricos de referencia y el enfoque de determinación de requisitos subyacente deben tenerse en cuenta a la hora de establecer los requisitos locales de seguridad y prestaciones, incluida su adaptación a las necesidades y especificidades locales, según proceda.

En consonancia con los requisitos de rendimiento de GEN-SUR SPR, se hace referencia a las definiciones ESASSP de las distintas métricas de rendimiento consideradas en el documento ED-129B.

Las desviaciones de las disposiciones del ESASSP que se introduzca en el documento ED-129B deben registrarse. Se considera que estas desviaciones constituyan una aportación al proceso de mantenimiento del documento ESASSP.

Despliegue de "sensores Sur" de una capa frente a los de varias capas El sistema ADS-B está destinado a funcionar como una capa única en el espacio aéreo de baja densidad o como una de al menos dos capas de "sensores SUR" (tecnológicamente diferentes) en el espacio aéreo de densidad media y alta.

Este enfoque está motivado por la dependencia crítica del sistema ADS-B de la (actual) constelación de satélites GNSS, así como de las respectivas instalaciones de receptores GNSS a bordo.

El documento ED-129 considera solamente una separación mínima de 5 NM en un entorno de Espacio Aéreo No Radar, NRA, que es de baja densidad, y se asume que el 100% de las aeronaves operan con aviónica según la norma ED-102 DO-260, o DO-260A. Se centra en expresar los requisitos para una única estación en tierra en lugar de un sistema completo de vigilancia en tierra.

### 8.1.2.- Análisis. Documento EUROCAE ED-129B. Capítulo 2.

El documento ED-129B en el Capítulo 2, describe cuales son los requisitos generales de diseño para un sistema ADS-B, aunque no se han indicado pruebas específicas. El fabricante del equipo puede realizar ensayos para verificar garantizar el cumplimiento de la norma, aunque la mayoría de los requisitos del sistema ADS-B se pueden comprobar. Estas comprobaciones se indican en el Capítulo 3.

Las interfaces del sistema ADS-B se identifican en la Figura 8.7.

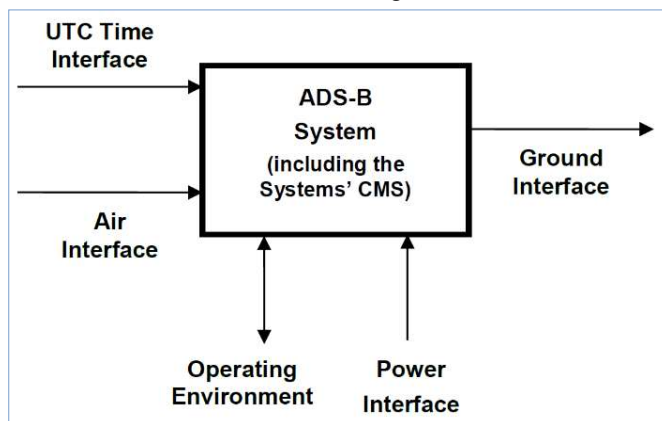


Fig. 8.7. Esquema de funcionamiento del sistema ADS-B

Para las interfaces del sistema los requisitos son los siguientes:

- El Sistema ADS-B deberá incluir una interfaz externa para la sincronización de la hora UTC para soportar el sellado preciso de la hora de los datos ASTERIX.
- El Sistema ADS-B incluirá la información del mensaje recibido más recientemente en los datos ASTERIX notificados, según corresponda.
- El Sistema ADS-B proporcionará una interfaz de monitorización externa.

Los requisitos para las demás interfaces se detallan en el Capítulo 3.

Para el subsistema de control y vigilancia los requisitos son:

- El Sistema ADS-B deberá tener un mínimo de dos modos configurables:
  - Operativo. El sistema está disponible para funcionar. Deseable configuración por defecto.
  - Mantenimiento. El sistema está en mantenimiento. No está disponible para su funcionamiento.
- El sistema CMS informará de un mínimo de dos estados:
  - En funcionamiento - Se alcanza un rendimiento mínimo del sistema en todo el Volumen de cobertura operativa.
  - Fallido - No se alcanza el rendimiento mínimo del sistema en todo el Volumen de Cobertura Operativa - o - el sistema es incapaz de determinar que se alcanza el rendimiento mínimo del sistema en todo el Volumen de Cobertura Operativa.

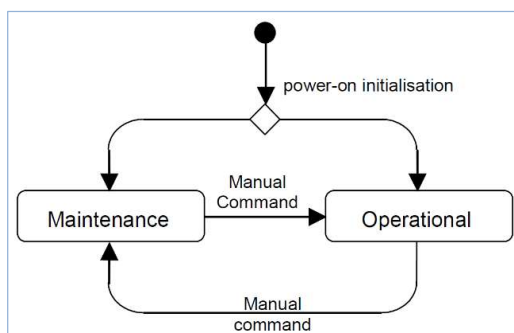


Fig. 8.13. Modos del sistema ADS-B

Para el equipo de pruebas integrado los requisitos son los siguientes:

- Los componentes del sistema incluirán equipos de prueba incorporados (BITE) para evaluar el correcto funcionamiento del sistema en tiempo real y apoyar la identificación de unidades sustituibles en línea defectuosas.

Para la cobertura y detección los requisitos son los siguientes:

- El diseño del despliegue del sistema deberá tener en cuenta lo siguiente:
  - la sensibilidad del receptor y el diagrama de antena,
  - el número y la ubicación de los componentes receptores,
  - el entorno FRUIT

Para la integridad del sistema los requisitos son los siguientes:

- El diseño del despliegue del sistema deberá tener en cuenta lo siguiente:
  - El diseño del software del sistema ADS-B deberá seguir las directrices para el aseguramiento del software contenidas en ED-109A
  - Como mínimo, el diseño del software del sistema ADS-B deberá cumplir los requisitos del nivel de garantía "AL 4" definido en ED-109A.

Para el diseño del hardware los requisitos son los siguientes:

- El equipo in situ del Sistema ADS-B deberá cumplir todas las normas reglamentarias correspondientes de la UE o comparables (marcado CE).

Para la prueba de continuidad del sistema ADS-B se especifican como los respectivos requisitos GEN- SUR SPR en caso de pérdida de todas las pistas de la aeronave durante una larga duración. Los fallos de continuidad suelen estar causados por fallos del hardware del sistema.

Los requisitos de continuidad aquí especificados se determinan a partir de la evaluación de los riesgos relacionados con la Seguridad ATC. Las consideraciones económicas relativas a la pérdida de capacidad de tráfico de aeronaves como resultado de fallos en la Continuidad del Servicio podrían dar lugar a requisitos más estrictos.

Para la prueba de continuidad los requisitos son los siguientes:

- El equipo del Sistema ADS-B, no aplica a los medios internos de comunicación de datos, deberá tener un MTBCF, Tiempo medio entre fallos críticos, que conlleve pérdidas de continuidad de larga duración para todas las aeronaves, mayor o igual a 10.000 horas.
- Los medios internos de comunicación de datos del Sistema ADS-B deberán tener un MTBCF, Tiempo medio entre fallos críticos, que dé lugar a pérdidas de continuidad de larga duración para todas las aeronaves, mayor o igual a 10.000 horas.

Para la mantenibilidad los requisitos son los siguientes:

- El tiempo medio de reparación (MTTR) del sistema debe ser inferior a 30 minutos
- No debe exigirse que el mantenimiento rutinario se realice más de dos veces al año.

Para la capacidad de ampliación del sistema ADS-B los requisitos son los siguientes:

- El Sistema ADS-B debe proporcionar la capacidad de aumentar o alterar el Volumen de Cobertura Operacional o el Rendimiento del Sistema mediante la adición o redistribución de Subsistemas Receptores.



Para las funciones de seguridad los requisitos son los siguientes:

- El Sistema ADS-B deberá proporcionar protección contra intentos de usuarios no autorizados de comandar manualmente cambios de modo.
- El Sistema ADS-B proporcionará protección contra intentos de cambios de configuración por parte de usuarios no autorizados.
- El diseño del sistema deberá considerar las siguientes áreas de seguridad:
  - Seguridad física del emplazamiento,
  - Seguridad de acceso de los usuarios,
  - Seguridad de la red
  - Evaluación del riesgo de amenaza.

### 8.1.3.- Análisis. Documento EUROCAE ED-129B. Capítulo 3.

El documento ED-129B en el Capítulo 3, indica cuales son los requisitos funcionales y las especificaciones mínimas de rendimiento de vigilancia en condiciones estándar del sistema ADS-B, para que pueda realizar las aplicaciones indicadas en el Capítulo 1.

Los requisitos de este apartado que deben cumplirse en condiciones operativas estándar definen:

- la funcionalidad requerida del sistema
- el rendimiento requerido del tratamiento de datos de vigilancia
- los formatos de datos necesarios para interactuar con otros sistemas
- la funcionalidad de control y supervisión requerida

Las condiciones operativas estándar suponen que los transmisores ADS-B funcionan de acuerdo con sus normas aplicables. En condiciones operativas estándar, se acepta que ocasionalmente puedan producirse direcciones de destino duplicadas para pares de aeronaves.

Los sistemas ADS-B tienen un diseño modular, adaptable a los requisitos de vigilancia de superficie, terminal y área amplia, así como aplicable a la operación en terrenos difíciles. Para cada despliegue, habrá que seleccionar la configuración de arquitectura más adecuada y la tecnología de enlace de datos de comunicación de red terrestre relacionada para satisfacer los requisitos del cliente, garantizando la utilización óptima de la infraestructura disponible.

#### **En cuanto a los requisitos funcionales son los siguientes:**

- Para la capacidad del sistema, los requisitos son los siguientes:
  - El Sistema ADS-B deberá ser capaz de recibir y procesar al menos 250 objetivos ADS-B en el volumen de cobertura de seguimiento, cada uno de los cuales esté transmitiendo a una velocidad de 6,2 mensajes ADS-B por segundo.
  - El Sistema ADS-B deberá tener la capacidad de emitir informes ASTERIX Categoría 021 para 250 objetivos a una tasa promedio de 2 informes de posición ASTERIX Categoría 021 por objetivo por segundo.
- Para el procesamiento ampliado de versiones de Squitter, los requisitos son los siguientes:
  - La interpretación de los mensajes Extended Squitter depende del número de versión de la norma o documento del blanco. El número de versión se notifica en el mensaje de tipo 31, Aircraft Operational Status. Los únicos valores válidos para el campo de número de versión a partir de la fecha de esta Especificación Técnica son "0", que indica un blanco conforme con ED-102/DO-260, y si es "1" indica DO-260<sup>a</sup>, si es "2", indica ED-102A/DO-260B, pero los participantes de la versión "0" no proporcionan explícitamente el número de versión. Por ello debe asumirse que los participantes están transmitiendo mensajes de acuerdo con la versión "0" hasta que se reciba un mensaje de tipo 31 que indique lo contrario.

- De acuerdo con ED-102A/DO-260B, Par. 2.2.3.2.7.2.5, el Sistema ADS-B asumirá inicialmente un número de versión de CERO (binario 000) para cada blanco, hasta que los datos recibidos indiquen lo contrario.
- Para blancos donde el campo de Número de Versión (VN) ha excedido su período de validez descrito en la Sección 3.4.4.5, el Sistema ADS-B deberá procesar mensajes Extended Squitter usando los formatos descritos en ED-102A/DO-260B, Apéndice N con un supuesto número de versión 0.

Se espera que los formatos de mensaje de futuras versiones de la 1090 ES MOPS sean compatibles con los mensajes definidos en ED-102A/DO-260B (véase ED-102A/DO-260B, 2.2.7.1). El subcampo ASTERIX I021/210 MOPS Versión VNS proporciona un mecanismo para marcar los informes de los objetivos que utilizan versiones de MOPS no compatibles en caso de que esta expectativa deje de ser válida.

- El Sistema ADS-B procesará los mensajes Extended Squitter utilizando los formatos descritos en ED-102A/DO-260B, Apéndice N cuando el número de versión objetivo sea Versión Asumida 0 o Versión Confirmada 0 o 1.
  - El Sistema ADS-B procesará los mensajes Extended Squitter utilizando los formatos descritos en ED-102A/DO-260B, Sección 2.2.3.2 cuando el número de versión objetivo sea Versión 2 Confirmada.
  - Para un número de versión = 3, el Sistema ADS-B procesará los mensajes Extended Squitter con una Versión Asumida 2.
- Para las direcciones duplicadas, los requisitos son los siguientes:
- El Sistema ADS-B tendrá la capacidad de detectar y procesar mensajes ADS-B de dos aeronaves cualesquiera que compartan la misma Dirección de Destino dentro del Volumen de Cobertura de Seguimiento, cumpliendo todos los requisitos de las secciones 2.2.10.7, 2.2.10.7.1 y 2.2.10.7.2 en ED-102A/DO-260B
- Para la secuenciación de informes de objetivos, los requisitos son los siguientes:
- La secuencia de salida de los informes de objetivo CAT021 para el mismo objetivo deberá seguir estrictamente el orden indicado por la Hora de recepción del mensaje para la posición (I021/073).
- Para la adquisición de objetivos, los requisitos son los siguientes:
- Por defecto, el Sistema ADS-B sólo emitirá informes ASTERIX Categoría 021 para objetivos que hayan pasado la prueba de Razonabilidad de Decodificación Global CPR en 2.2.10.6.2 de ED-102A/DO-260B.
- Para la comprobación de alcance, los requisitos son los siguientes:
- Para los informes de posición que no superen la prueba de comprobación de alcance, el bit CL y RFC del I021/040 será 1 ("Informe sospechoso, comprobación de alcance fallida").
- Para la Validación CPR, Compact Position Recording, los requisitos son los siguientes:
- La información de posición codificada CPR utilizada en la comprobación de alcance podría decodificarse en una posición creíble que es incorrecta. Dependiendo del método de descodificación utilizado, esta posición incorrecta podría corromper las descodificaciones posteriores. Por lo tanto, los siguientes requisitos ayudan a aumentar la integridad de la posición descodificada. No se trata de medidas "antispoofing", sino simplemente de una validación básica de la RCP. Spoofing es una suplantación de identidad.
- Si el objetivo ha superado la validación CPR descrita en la sección 2.2.10.6 de ED-102A/DO-260B, el bit RC del elemento I021/040 subcampo primario ASTERIX Categoría 021 será 0 ("Por defecto").

- El Sistema ADS-B debe ser configurable para entregar Informes de Objetivo cuando se reciben mensajes de posición y fallan la Validación CPR (con la posición inválida en el informe).
- Si se implementa el requisito del párrafo precedente la configuración de esta recomendación está activada y el objetivo no ha superado la validación CPR descrita en la sección 2.2.10.6 de ED-102A/DO-260B, el bit CL del elemento I021/040 del subcampo primario ASTERIX Categoría 021 será 1 ("Informar de sospecha").
- Si se implementa el requisito de dos párrafos precedentes, la configuración para esta recomendación está activada, y el objetivo ha fallado la Validación CPR como se describe en la sección 2.2.10.6 de ED-102A/DO-260B, el bit CPR del elemento I021/040 subcampo primario ASTERIX Categoría 021 será 1 ("CPR Validation failed").

➤ Para el mantenimiento de datos objetivo, los requisitos son los siguientes:

La fase de inicialización comienza con el primer mensaje recibido de un blanco, o con el primer mensaje recibido de un blanco después de que hayan expirado los datos de posición recibidos previamente. Véanse las FIGURAS 2-21, 2-22 y 2-23 de ED-102A/DO-260B para obtener orientación sobre los estados y transiciones del conjunto de informes de blancos.

- Para los blancos que hayan pasado la comprobación de alcance y la validación CPR, el Sistema ADS-B procesará nuevos mensajes de posición Extended Squitter según los requisitos de la Sección 2.2.10.6.3 de ED-102A/DO-260B.
- Si un nuevo mensaje de posición resulta en un cambio de posición que falla la Decodificación CPR Localmente No Ambigua definida en la Sección 2.2.10.6.3 de ED-102A/DO-260B, no se debe generar un informe ASTERIX Categoría 021 a menos que el parámetro de configuración opcional "Outlier Reporting" esté en "enabled".
- Si se implementa el requisito del párrafo precedente, sólo las actualizaciones de posición que superen la decodificación CPR localmente no ambigua se utilizarán como posición de referencia para una decodificación local posterior.
- Si no se han recibido mensajes de posición válidos de un blanco en los 225 segundos siguientes a un mensaje de posición anterior del blanco, se tratarán como mensajes de un nuevo blanco (es decir, se aplicarán los requisitos para la adquisición de blancos de la Sección 3.2.5).

#### **En cuanto a los requisitos de rendimiento son los siguientes:**

Los requisitos de rendimiento especificados en esta sección son aplicables a los objetivos que reciben servicios ATC y están situados dentro de un Volumen de Servicio Operacional definido, a menos que se indique lo contrario, por ejemplo el Volumen de Cobertura Operacional. Estos requisitos asumen los supuestos de equipamiento de aeronaves indicados en la Sección 1.3.3.

➤ Para Actualizar los requisitos de rendimiento, los requisitos son los siguientes:

- Todas las métricas de rendimiento de actualización se basan en el intervalo de actualización (UI) aplicable a la interfaz de salida del sistema ADS-B. Las UI están en consonancia con el ciclo de actualización de la pantalla del controlador de tránsito aéreo, según corresponda al servicio ATC para el tipo de sector ATC respectivo, tal como se define en la sección 3.7.2.1 de GEN SUR.

Informaciones de ayuda. APÉNDICE C, método de cálculo de la IU y la Probabilidad de Brecha Larga (PLG).

APÉNDICE D, recomendaciones para determinar la significación estadística de validar requisitos.

- Para el requisito de probabilidad de actualización (PU), los requisitos son los siguientes:
  - La Probabilidad de Actualización de la Posición Horizontal de un blanco en cualquier lugar dentro del Volumen de Servicio Operacional para los respectivos Intervalos de Actualización del tipo de Sector ATC aplicable, deberá ser mayor o igual al respectivo requerimiento en la Tabla 8.5..

| Tipo de sector ATC        | Intervalo de actualización (s) | Posición horizontal |
|---------------------------|--------------------------------|---------------------|
| ER de baja densidad       | 8                              | 96,0%               |
| ER de densidad media      | 8                              | 97,5%               |
| ER de alta densidad       | 8                              | 98,5%               |
| TMA de baja densidad      | 5                              | 96,5%               |
| TMA de densidad media     | 5                              | 97,5%               |
| TMA de alta densidad      | 5                              | 98,5%               |
| APP2.5 de alta densidad   | 5                              | 99,0%               |
| APP2.0 de alta densidad   | 5                              | 99,0%               |
| ADS-B APT (en movimiento) | 1                              | 90,0%               |
| ADS-B APT (estacionario)  | 10                             | 90,0%               |

Tabla 8.5. Tabla PU de los respectivos intervalos de actualización

- Para el requisito de probabilidad de intervalos largos (PLG), los requisitos son los siguientes:
  - En cada Volumen de Servicio Operativo, la Probabilidad de Huecos Largos que duren más de "n" veces el Intervalo de Actualización respectivo deberá ser menor o igual a los porcentajes mostrados en la TABLA 4 en relación con el número total de Intervalos de Actualización operativos.

| Tipo de sector ATC        | Intervalo de actualización (s) | n = 3  |
|---------------------------|--------------------------------|--------|
| ER de baja densidad       | 8                              | 0.222% |
| ER de densidad media      | 8                              | 0.083% |
| ER de alta densidad       | 8                              | 0.037% |
| TMA de baja densidad      | 5                              | 0.185% |
| TMA de densidad media     | 5                              | 0.074% |
| TMA de alta densidad      | 5                              | 0.030% |
| APP2.5 de alta densidad   | 5                              | 0.015% |
| APP2.0 de alta densidad   | 5                              | 0.012% |
| ADS-B APT (en movimiento) | 1                              | N/A    |
| ADS-B APT (estacionario)  | 10                             | N/A    |

Tabla 8.6. Tabla PLG para los respectivos intervalos de actualización

- Para los requisitos de latencia/retraso y antigüedad de los datos, los requisitos son los siguientes:
  - En cualquier Modo de Salida de Datos, el total máximo de Latencia y retardo de comunicaciones de la unidad receptora, medido desde el momento de recepción de un mensaje ADS-B de posición horizontal hasta que el Sistema ADS-B emite un Informe de Objetivo, deberá ser menor o igual a 1,5 segundos.
- Para el requisito de marca de tiempo del informe de objetivos, los requisitos son los siguientes:
  - El sistema ADS-B deberá proporcionar un sellado de tiempo de recepción de mensajes (TOMR) de los informes de objetivos sincronizado con UTC, para estar dentro de los límites siguientes  $\pm 50\text{ms}$  del tiempo real de recepción de cualquier dato.
  - Cuando se pierda la sincronización con UTC, el Sistema ADS-B deberá ser capaz de mantener una precisión de  $\pm 50\text{ms}$  para el TOMR en el estado de inercia durante al menos 30 minutos.
  - El Sistema ADS-B deberá proporcionar un sellado de tiempo de transmisión de informes de objetivos sincronizado con UTC, con un margen de  $\pm 30\text{ms}$ .



- Para el inicio de la vía interna, los requisitos son los siguientes:
- El tiempo de inicio de seguimiento interno se define desde que un objetivo entra en el Volumen de Cobertura de Seguimiento hasta la salida del primer Informe de Objetivo mínimo completo del Sistema ADS-B antes de que el objetivo entre en el Volumen de Cobertura Operacional. El inicio de seguimiento requiere que la posición horizontal esté disponible.
  - El Retraso de Inicio de Pista, aplicable al nivel de salida del Sistema ADS-B y asociado a cualquier aeronave individual, será igual o inferior a los valores de la TABLA 5 con una probabilidad del 95%.

| Medio Ambiente      | Retardo de inicio de vía ( s ) |
|---------------------|--------------------------------|
| ER_5NM LD           | 27                             |
| ER_5NM MD           | 19                             |
| ER_5NM HD           | 19                             |
| TMA_3NM LD          | 21                             |
| TMA_3NM MD          | 16                             |
| TMA_3NM HD          | 16                             |
| APP_2.5NM (HD)      | 16                             |
| APP_2.0NM (HD)      | 16                             |
| APT (en movimiento) | 5                              |
| APT (estacionaria)  | 15                             |

Tabla 8.7 Tabla Requisitos de retardo de inicio de vía

- Para la precisión, los requisitos son los siguientes:

La exactitud de los datos es notificada por la aeronave a través de NACp, Categoría de precisión de navegación para la posición, y NACv, Categoría de precisión de navegación para velocidad (versión 1 o superior), o NUCp, Categoría de incertidumbre de navegación para la posición (versión 0). No se imponen requisitos adicionales de precisión de las mediciones al sistema ADS-B.

La integridad de los datos es notificada por la aeronave a través de NIC, Categoría de integridad de la navegación (versión 1 o superior, incluida la información complementaria) o NUCp (versión 0). No se imponen requisitos adicionales de integridad de las mediciones al sistema ADS-B.

#### 8.1.4.- Comparación documento EUROCAE ED-129B y ED-129C

El documento ED-129C sustituye a la especificación técnica ED-129B de marzo de 2016 y ha sido actualizado para cumplir con el **SPI-IR**, Surveillance Performance and Interoperability Implementing Regulation (Reglamento de aplicación sobre el rendimiento de la vigilancia y la interoperabilidad) de la norma Europea nº 1207/2011. El documento incluye las especificaciones para estaciones terrestres ADS-B y sistemas ADS-B distribuidos. Los principales cambios de ED-129C respecto de ED-129B son:

- Se introduce un soporte básico para los sistemas de aviónica ADS-B versión 3 (EUROCAE/RTCA ED- 102B/DO-260C).
- Se introducen números únicos para requisitos, recomendaciones, requisitos opcionales y pruebas para mejorar la trazabilidad y las referencias.
- Se alinean las prestaciones con la Especificación de EUROCONTROL para las Prestaciones del Sistema de Vigilancia ATM, AMC/GM al SPI-IR (EU No 1207/2011).
- Se adapta la composición del Target Report de salida a la especificación ASTERIX categoría 021, edición 2.6.
- Se adapta la composición del Informe de Estado de salida a la especificación ASTERIX categoría 025, edición 1.0.
- Se corrigen las deficiencias detectadas en la versión anterior ED-129B (2016). ED-129C sustituye a ED-129B y todas las versiones anteriores dado que se han encontrado varios errores encontrados en ED-129B, proporcionando compatibilidad básica con aviónica ADS-B MOPS Versión 3 conforme a ED-102B / DO-260C, actualizando los tiempos de validez de los datos, y alinea los requisitos de rendimiento con ESASSP 1.2 y la guía de pruebas con un híbrido de ED-261 y ESASSP 1.2

Una comparación entre los documentos ED-129C y ED-129B es del formato y dedicación a capítulos y anexos, por la importancia del enfoque distinta entre ambos documentos.

En la Tabla 8.8 se hace una comparativa de los aspectos que tiene el documento ED-129B y que mantiene sin cambios el documento ED-129C

| Estructura y contenido sin modificaciones entre documentos ED-129B y ED-129C |                                                                                                         |            |                                                                                           |            |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Contenido                                                                    | ED-129B                                                                                                 |            | ED-129C                                                                                   |            |
|                                                                              | Descripción                                                                                             | nº páginas | Descripción                                                                               | nº páginas |
| <b>Introducción</b>                                                          | Foreword                                                                                                | 1          | =                                                                                         | 1          |
| <b>Cap. 1</b>                                                                | General                                                                                                 | 13         | =                                                                                         | 11         |
| <b>Cap. 2</b>                                                                | General design requeriments                                                                             | 3          | =                                                                                         | 4          |
| <b>Cap. 3</b>                                                                | Functional requirements and minimum performance specification under standard conditions                 | 50         | =                                                                                         | 50         |
| <b>Cap. 4</b>                                                                | Minimum performance specification under environmental test conditions                                   | 2          | =                                                                                         | 2          |
| <b>Cap. 5</b>                                                                | Test procedures                                                                                         | 109        | =                                                                                         | 97         |
| <b>Cap. 6</b>                                                                | Installed equipment performance                                                                         | 9          | =                                                                                         | 7          |
| <b>Appendix A</b>                                                            | TRACEABILITY OF PERFORMANCE REQUIREMENTS TO THE EUROCONTROL GEN SUR SPR                                 | 2          | TRACEABILITY OF PERFORMANCE REQUIREMENTS                                                  | 6          |
| <b>Appendix B</b>                                                            | TRACEABILITY MATRIX LINKING MANDATORY REQUIREMENTS TO TEST PROCEDURES                                   | 6          | =                                                                                         | 7          |
| <b>Appendix C</b>                                                            | GUIDANCE ON TECHNICAL PERFORMANCE METRICS CALCULATIONS                                                  | 9          | =                                                                                         | 9          |
| <b>Appendix D</b>                                                            | STATISTICAL CONSIDERATIONS OF PROBABILITY OF UPDATE AND POSITION ACCURACY MEASUREMENTS                  | 13         | STATISTICAL CONSIDERATIONS OF PROBABILITY OF UPDATE AND LONG GAP MEASUREMENTS             | 5          |
| <b>Appendix E</b>                                                            | COMPLIANCE OF ADS-B PROBABILITY OF MEASUREMENT 'PM' REQUIREMENTS FOR NON-HORIZONTAL POSITION DATA ITEMS | 3          | PROBABILITY OF UPDATE AND CHANGE DELAY REQUIREMENTS FOR NONHORIZONTAL POSITION DATA ITEMS | 9          |
| <b>Appendix F</b>                                                            | BDS TO ASTERIX MAPPING                                                                                  | 43         | =                                                                                         | 26         |
| <b>Appendix G</b>                                                            | ASTERIX ITEM OBLIGATIONS                                                                                | 33         | =                                                                                         | 4          |
| <b>Appendix H</b>                                                            | DATA INTEGRATION FROM EXTERNAL ADS-B SYSTEMS                                                            | 4          | GUIDANCE ON TRACING BDS DATA AGES                                                         | 2          |
| <b>Appendix I</b>                                                            | 1090 MHZ FRUIT MODEL                                                                                    | 4          | 1090 MHZ INTERFERENCE / FRUIT AND TARGET CAPACITY CONSIDERATIONS                          | 4          |
| <b>Appendix J</b>                                                            | ASTERIX CATEGORY 021 REPORT RECORD BLOCKING                                                             | 13         | ASTERIX CATEGORY 021 REPORT RECORD BLOCKING                                               | 3          |
| <b>Appendix K</b>                                                            | no existe                                                                                               | no existe  | DATA VALIDATION AND INCONSISTENCY DETECTION                                               | 2          |
| <b>Appendix L</b>                                                            | no existe                                                                                               | no existe  | GUIDANCE ON INCLUSION OF ALL MOPS VERSION 3 DATA IN ASTERIX CAT021 E.D. 2.6               | 2          |
| <b>Appendix M</b>                                                            | no existe                                                                                               | no existe  | GUIDANCE ON PERFORMANCE MEASUREMENT POINTS FOR SURVEILLANCE SYSTEMS                       | 1          |
| <b>Appendix N</b>                                                            | no existe                                                                                               | no existe  | ASESSMENT OF VARIATIONS BETWEEN THE MI METHOD AND THE I NTERARRIVALTIME METHOD            | 8          |
| <b>Appendix O</b>                                                            | no existe                                                                                               | no existe  | MODE 3/A CODE AND SURVEILLANCE STATUS FLAG PROCESSING (VERSION 2)                         | 1          |

Tabla 8.8. Número de páginas de los Capítulos y Apéndices de ED-129B y ED-129C

El signo = en las filas significa que tiene la misma descripción que el anterior documento.

Los apéndices de léxicos y abreviaciones, así como lista de miembros de Eurocae no se incluyen en este análisis.

Ambos documentos tienen una introducción y 6 capítulos. Las diferencias estructurales son las siguientes:

| Páginas<br>Totales ( * )                                                                                                                                                            | ED-129B | ED-129C |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|
|                                                                                                                                                                                     | 326     | 262     |
| ( * ) El número de páginas totales sólo se refiere a la citadas en la Tabla Tabla 8.8 y no incluye las páginas de lista de figura, lista de tablas, ni lista de miembros de Eurocae |         |         |

Tabla 8.9. Número de páginas totales analizadas de ED-129B y ED-129C

El antiguo documento ED-129B tiene 64 más páginas que el nuevo ED-129C por lo que el nuevo documento queda mucho más simplificado en volumen.

Entre los capítulos 1 a 6 es muy similar la cantidad de páginas, pero en el Capítulo 5 Test procedures, hay 12 páginas menos que en el ED-129C que en el anterior ED-129B, lo cual indica que se simplifican los test en la nueva norma. En los Apéndices F y G, también hay variaciones importantes puesto que en el Apéndice F, BDS TO ASTERIX MAPPING disminuyen 23 páginas que tiene menos el nuevo ED-129C, como igual sucede al disminuir de forma importante el Apéndice G, ASTERIX ITEM OBLIGATIONS, que se reduce en 29 páginas menos.

#### **Por todo lo anterior se resume que los cambios en el nuevo documento ED-129C son:**

Se reduce el total de páginas del documento reduciendo páginas en el Capítulo 5 Test procedures, en el Apéndice F, BDS TO ASTERIX MAPPING y en el Apéndice G, ASTERIX ITEM OBLIGATIONS

Con esa eliminación de esfuerzos se aprovecha para se crear nuevos apéndices, del K al O, en los que se crean las tareas de validación de datos y detección de inconsistencias, incluye una guía de inclusión de todos los MOPS , se crea una guía de medición de puntos de performance para sistemas de vigilancia, evaluación de variaciones entre el método MI y el método de tiempo de interlegada, y la tarea de procesamiento del código de modo 3/a y del indicador de estado de vigilancia.

#### **8.1.5.- Empresas de aviónica que fabrican equipos y software para comprobar las especificaciones de la norma ED-129B para ensayo de sistemas ADS-B.**

Una de las empresas fabricantes de aviónica que dispone de software y equipos para realizar el ensayo de verificación de equipos ADS-B para comprobar que cumplen los requisitos del documento ED-129B es la empresa AVIONIX ENGINEERING SP, de Cracovia, Polonia.



Fig.8.14. Logo de AVIONIX ENGINEERING

La dirección de internet es:

<https://avionix.eu/solutions/ed-129b-compliance-test-suite/>

Bajo la herramienta ED-129B Compliance Suite, se dispone de dos instrumentos de software, uno es el producto TrafficSim2000, cuya interface se muestra en la Figura 8.15.

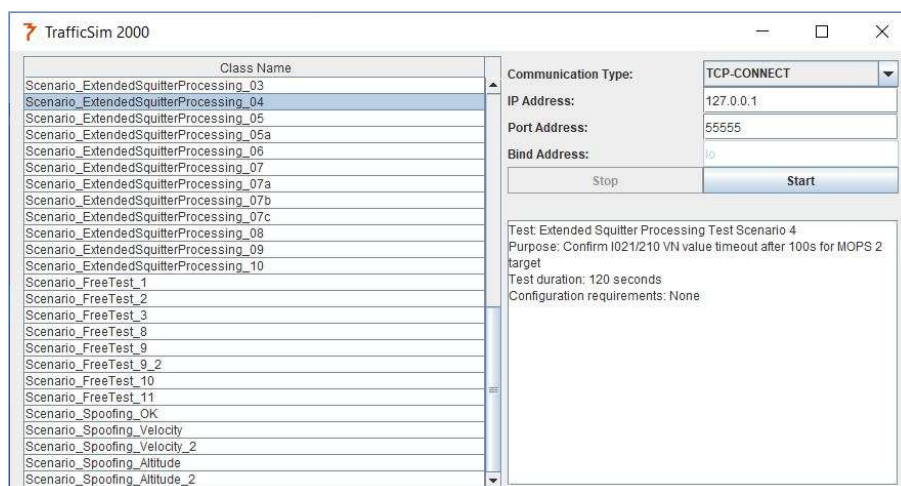


Fig.8.15. Pantalla del software TrafficSim2000 de AVIONIX ENGINEERING

En la Figura 8.15 se muestra la pantalla del software TrafficSim2000 de AVIONIX ENGINEERING en que se están realizando ensayos de verificación del cumplimiento de requisitos del documento ED-129B en un sistema ADS-B y en el que muestra que está realizando tests para extended squitter, spoofing para velocidad y para altitud. En la pantalla se muestra el test en proceso para Extended Squitter con el propósito de confirmar el valor de I021/210 VN para el objetivo MOPS 2 (Minimum Operational Performance Standards), siendo I021/210 VN en el campo de datos del número de versión de MOPS en ASTERIX, campo que se indica en la Tabla 8.10 del cuadro Target 6 de la página 118 de ED-129B.

Este ensayo se corresponde a la verificación de la especificación Asterix category 021 - ADS-B Target Reports de intercambio de datos de vigilancia para informes objetivo de ADS-B. El objetivo MOPS 2 es un data item de bits 6/4.

| Target 6 |        |                    |     |          |          |           |         |                                         |                       |    |                  |
|----------|--------|--------------------|-----|----------|----------|-----------|---------|-----------------------------------------|-----------------------|----|------------------|
| ES Input |        |                    |     |          |          |           |         | Expected ASTERIX<br>Category 021 Output |                       |    |                  |
| Step     | Msg ID | Inject Time<br>(s) | FTC | Altitude | Latitude | Longitude | MOPS VN | Rpt                                     | Position in<br>WGS-84 | FL | NUC <sub>P</sub> |
| 1        | PO1    | 0.5                | 11  |          |          |           |         |                                         |                       |    |                  |
|          | PE2    | 1                  | 11  |          |          |           |         |                                         |                       |    |                  |
|          | PO3    | 1.5                | 11  |          |          |           |         |                                         |                       |    |                  |
|          | PE4    | 2                  | 11  |          |          |           |         | R1                                      |                       |    |                  |
|          | AOS1   | 2.1                | 31  |          |          |           | 0       |                                         |                       |    |                  |

Tabla 8.10. Cuadro de datos Target 6 de ED-129B

AVIONIX dispone de otra herramienta de software que es el producto AVIONIX ASTERIX Inspector, cuya interface se muestra en la Figura 8.16 en un momento que está realizando ensayos de verificación del cumplimiento de requisitos del documento ED-129B en un sistema ADS-B.

Fig. 8.16. Pantalla del software AVIONIX ASTERIX Inspector



En este caso la Figura 8.17 de la pantalla del software muestra que el ensayo se realiza bajo requisitos de la norma DO260B para ASTERIX.



Fig. 8.17. Ampliación pantalla del software AVIONIX ASTERIX Inspector

ASTERIX CAT21v2.4 @ TCP-CONNECT:10.12.0.194:50001:

File

| Report Number | Time                     | Size              | SAC | SIC | Service Identification | RP  | Target Address | Target Identification | TOMRp        | TOMRv        | Time of Report Transmission | Latitude | Longitude | Flight Level | RE | Ground Speed | Track Angle |
|---------------|--------------------------|-------------------|-----|-----|------------------------|-----|----------------|-----------------------|--------------|--------------|-----------------------------|----------|-----------|--------------|----|--------------|-------------|
| 1             | 2021-04-05T12:45:44.190Z | Bytes:91 Items:27 | 60  | 1   | 3                      | 2.0 | 0x44082d       | AUA336                | 12:45:38.789 | 12:45:39.796 | 12:45:40.000                | 52.63005 | 13.58326  | 370.0        | 0  | 461.42578    | 163.76221   |
| 2             | 2021-04-05T12:45:45.747Z | Bytes:91 Items:27 | 60  | 1   | 3                      | 2.0 | 0x44082d       | AUA336                | 12:45:40.468 | 12:45:39.796 | 12:45:42.000                | 52.62643 | 13.58498  | 370.0        | 0  | 461.42578    | 163.76221   |
| 3             | 2021-04-05T12:45:47.754Z | Bytes:91 Items:27 | 60  | 1   | 3                      | 2.0 | 0x44082d       | AUA336                | 12:45:43.843 | 12:45:43.695 | 12:45:44.000                | 52.61989 | 13.5881   | 370.0        | 0  | 461.42578    | 163.76221   |
| 4             | 2021-04-05T12:45:51.740Z | Bytes:91 Items:27 | 60  | 1   | 3                      | 2.0 | 0x44082d       | AUA336                | 12:45:47.414 | 12:45:43.695 | 12:45:48.007                | 52.61243 | 13.59169  | 370.0        | 0  | 461.42578    | 163.76221   |

Fig. 8.18. Ampliación pantalla del software AVIONIX ASTERIX Inspector

En la Figura 8.18 de la pantalla del software se muestra una fase del ensayo del sistema ADS-B con algunos de los parámetros que se analizan en el momento.

## 8.2.- Documento EUROCAE ED-142 / 2010.

El Documento EUROCAE ED-142 de publicación septiembre de 2010, “**Technical Specification for Wide Area Multilateration (WAM) Systems**”, *Especificación Técnica para Sistemas de Multilateración de Área Amplia (WAM)*, se analiza en este apartado de forma que se estudian los Capítulos 1, 2, y el Capítulo 3 hasta el apartado 3.4.3.- Target Reports.

### 8.2.1.- Análisis. Documento EUROCAE ED-142. Capítulo 1.

El Capítulo 1 del documento ED-142 da información general para mostrar la necesidad de las características de los equipos y los ensayos definidos en el resto del documento, por lo que se describen los objetivos de funcionamiento y aplicaciones típicas de los equipos, además de incorporar una lista de definiciones de los conceptos técnicos utilizados, siendo una especificación técnica específica destinada a fijar requisitos mínimos de rendimiento para un Sistema de Multilateración de Área Amplia (WAM), que es parte de un sistema que informa de la situación del espacio aéreo a los controladores de tránsito aéreo y a otros operadores que actúen en el interior de la Región Europea de Navegación Aérea.

Según ED-142 el sistema WAM se diseña para gestionar el tránsito aéreo en la zona de la Conferencia Europea de Aviación Civil, CEAC, y realizar servicios de vigilancia del tránsito aéreo en entornos de alta y baja densidad cuya separación entre aeronaves debe cumplir las distancias de separación horizontal de 3 NM y de separación horizontal de 5 NM.

Todo sistema WAM que cumple con ED-142 es compatible con todas las especificaciones pertinentes de EUROCAE, RTCA, OACI, y EUROCONTROL. El sistema WAM aunque puede comunicar datos ADS-B no es el objeto del ED-142 por lo cual no se considera su estudio.

El documento ED-142 de EUROCAE contiene especificaciones técnicas destinadas a recomendar su uso a entidades como instaladores, usuarios y fabricantes para que de esta forma se pueda garantizar que los equipos funcionarán correctamente según lo previsto. El documento ED-142 no es una guía para diseñadores, aunque da información de ayuda a las partes, fabricantes y usuarios de los sistemas de multilateración, pero si es un ayuda para que estos agentes puedan comprender el comportamiento del sistema y los aspectos importantes a considerar cuando se vaya a seleccionar un sistema.

En la vigilancia del tráfico aéreo, los sistemas utilizan técnicas cooperativas y no cooperativas de localización de aeronaves, de forma que las técnicas no cooperativas se basan en el eco o reflexión del pulso electromagnético dirigido hacia la aeronave, y las técnicas cooperativas deben tener embarcado en la aeronave un transpondedor que recibe señales de interrogación del sistema de vigilancia cooperativo donde responde con una señal propia al interrogador.

Algunos transpondedores realizan transmisiones espontáneas, los del Modo S "Squitter" enviándolas en intervalos de tiempo precisos. Como se ha indicado en el Capítulo 7 de este Trabajo, squitter significa señales espontáneas.

Según la definición, la Multilateración es:

*“Un Sistema de Multilateración es cualquier grupo de equipos configurados para proporcionar posición e identificación derivadas de señales transmitidas por objetivos utilizando técnicas de Diferencia de Tiempo de Llegada (TDOA).”*

Por lo tanto la multilateración es una técnica de localización de aeronaves y se basa en el envío de señales a través del transpondedor de forma que la señal del transpondedor embarcado en la aeronave, se recibe en distintos receptores instalados en lugares identificados, por lo tanto es una interrogación activa. La señal alcanza dichos receptores en momentos diferentes por encontrarse a diferentes distancias de separación del objetivo. El fundamento de la técnica de multilateración se basa en el TDOA, Diferencia de Tiempo de Llegada, que puede calcularse de varias formas, además de la correlación cruzada de las formas de onda capturadas y de las diferencias entre las mediciones absolutas del tiempo de llegada (TOA).

El Informe UIT-R SM. 2211-2 (06/2018) de la Unión Internacional de telecomunicaciones sobre comparación de los métodos de diferencia de tiempo de llegada y de ángulo de llegada para la localización geográfica de señales, define la tecnología TDOA como:

*“ La técnica TDOA mide el tiempo de llegada de una señal de radiofrecuencia a varios puntos en el espacio y compara la diferencia de tiempo entre cada receptor. La manera tradicional de estimar la TDOA es calcular la correlación cruzada de una señal que llega a dos receptores. La TDOA estimada es el retardo que maximiza la función de correlación cruzada. Si se conoce la ubicación de cada receptor, es posible deducir la ubicación de la fuente de las emisiones a condición de que todos los receptores estén sincronizados. Una línea hiperbólica de diferencia de tiempo de llegada constante, denominada isócrona o línea de posición (LoP), complementa una línea de marcación (LoB) de un sistema AOA. Para una discusión más detallada sobre los métodos TDOA. “*

En la Figura 8.19 se muestra el esquema de flujo de datos de un modelo de correlación cruzada.

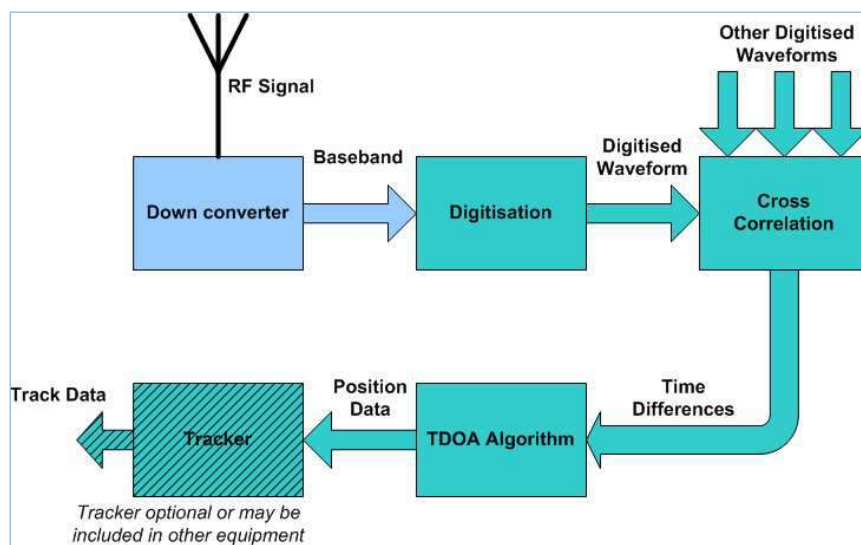


Figura 8.19. Esquema del flujo de datos de la correlación cruzada

En la Figura 8.20 se muestra el modelo de funcionamiento de la multilateración con un avión emitiendo señal a un sistema de receptores WAM.

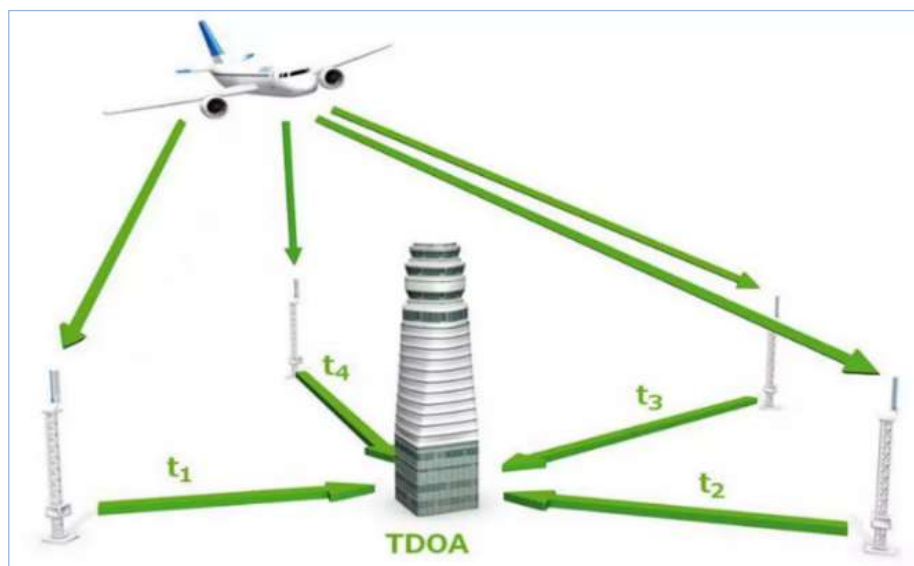


Figura 8.20 Modelo de sistema de multilateración. Un transpondedor en avión y varios receptores .

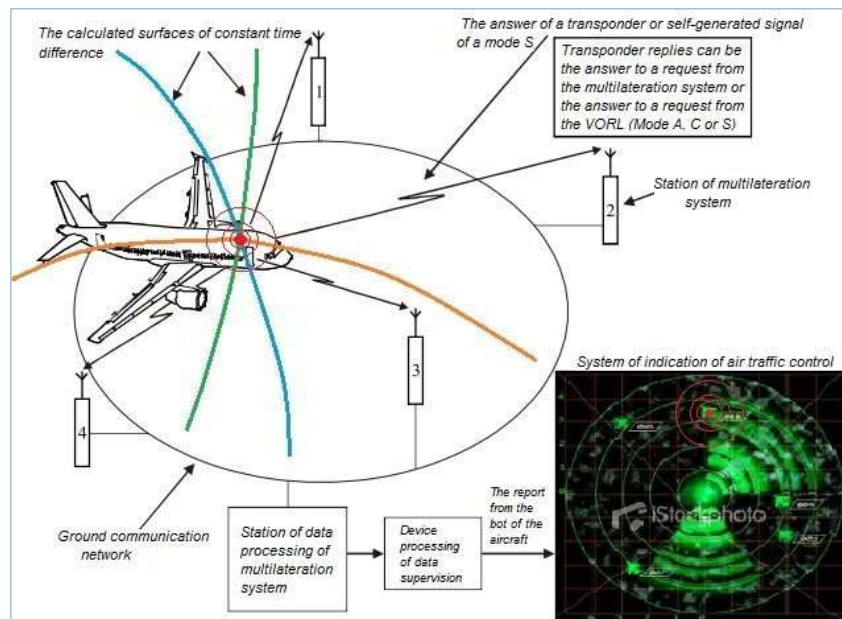


Figura 8.21. Multilateración. Determinación del punto por cruce de 3 planos hiperbólicos

Mediante dos receptores puede utilizarse la medición de TDOA con el objetivo de definir una superficie hiperboloide en la que se encuentra el objetivo, pero un objetivo en cualquier punto de esta superficie tendrá el mismo TDOA, por ello se necesitan mediciones adicionales que permitan eliminar la ambigüedad.

En la Figura 8.22 se muestran un teórico plano hiperbólico calculado con datos de un receptor y 3 planos teóricos hiperbólicos calculados con datos de 3 receptores.

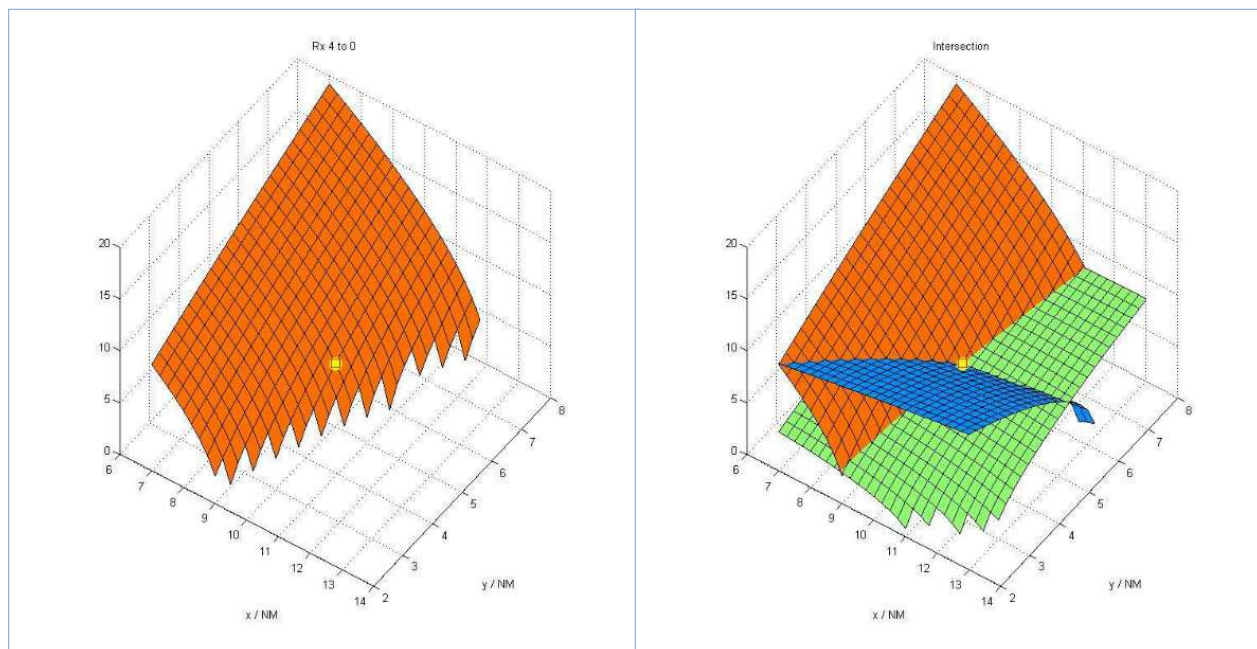


Fig. 8.22. Intersecting Hyperboloids .

Cuando se instala un tercer receptor y se realiza una segunda medición independiente TDOA, se genera otro hiperboloide que, si no hay de errores de medición excesivos, debería intersectar este último plano con el primero reduciendo así la ambigüedad a una curva de hipérbola.

La multilateración de Área Amplia (WAM) es una vigilancia cooperativa independiente.



El principio de diferencia de tiempo de llegada (TDOA) proporcionar la localización e identificación precisa y fiable en tiempo real de todas las aeronaves, vehículos y otros objetos equipados con un transpondedor en Modo A/C/S.

En las áreas con suficiente Interrogación en Modo A/C/S proporcionada por SSR locales o en áreas con alta ocupación de transpondedores, WAM puede utilizar todas las respuestas SSR disponibles para localizar, identificar y rastrear aeronaves, y sirve para duplicar la vigilancia. Es aconsejable duplicar la vigilancia del espacio aéreo en ruta y de las principales áreas terminales.

El documento ED-142 cumple las condiciones del sistema WAM para proporcionar el "Servicio en ruta" de prestaciones mínimas que garantizan la aplicación segura de mínimos de separación de 5 NM, y "Servicio TMA" de prestaciones mínimas que garantizan la aplicación segura de mínimos de separación de 3 NM.

Las técnicas de multilateración se han utilizado con éxito en la vigilancia de aeropuertos durante muchos años. Más recientemente, sin embargo, estas mismas técnicas se están utilizando para aplicaciones de área amplia, como el control en ruta o de terminales.

Un TMA, Área Terminal de Maniobras, es el volumen de espacio aéreo que rodea uno o más aeródromos principales. La extensión lateral variará en función de la disposición de los aeródromos dentro del área terminal o adyacentes a ella. Las dimensiones verticales varían en función de la organización del espacio aéreo y de los procedimientos de gestión del flujo de tráfico aéreo.

La cobertura dentro de las principales áreas terminales se extiende desde las altitudes más bajas de los segmentos intermedios de Aproximación para los principales aeródromos en cuestión. La cobertura en otros lugares se extenderá desde los niveles mínimos en los que se requiere la prestación de servicios de vigilancia, hasta el límite superior del área terminal.

Deben adoptarse disposiciones para la continuidad de la cobertura en las zonas de interfaz con el espacio aéreo en ruta.

El espacio aéreo en ruta es el volumen de espacio aéreo situado fuera de las áreas terminales, donde tienen lugar las fases de ascenso, crucero y descenso del vuelo y dentro del cual se prestan diversos tipos de servicios de tránsito aéreo.

La extensión horizontal de la cobertura debe ser de al menos 30 NM más allá del área de responsabilidad del Centro de Control de Área (ACC) correspondiente, excepto cuando sea imposible conseguirlo debido a limitaciones geográficas.

La multilateración se utiliza en otras aplicaciones como el equipo de control de altura HME, donde la separación vertical mínima reducida RVSM se utiliza para describir la reducción estándar de la separación vertical de 2.000 pies a 1.000 pies para las aeronaves que vuelan entre FL 290 y FL410.

Para validar la capacidad de la aeronave para mantener la altitud según el requisito RVSM, se necesitan unidades de control de altura con una capacidad de medición de altura precisa. Esto se consigue idealmente utilizando un sistema de multilateración.

La información de altitud barométrica comunicada por una aeronave se compara con la medición de altura geométrica siempre que dicha aeronave se encuentre en las proximidades del HME. Esto permite que la población de aeronaves esté sujeta a un proceso de control continuo para ayudar a garantizar que se mantienen los requisitos RVSM.

También se aplica la multilateración para el control de precisión de pistas PRM dado que las operaciones paralelas independientes durante Condiciones Meteorológicas por Instrumentos suelen estar limitadas por la vigilancia radar actual a pistas separadas por 4.300 pies o más.

PRM proporciona al Control de Tráfico Aéreo ATC una visualización de las llegadas a lo largo de una línea central extendida. En el caso de que una aeronave vuele hacia la línea central extendida de la pista adyacente, un sistema PRM alerta automáticamente al ATC. El potencial de alta precisión y alta frecuencia de actualización que ofrece un sistema de multilateración es ideal para las aplicaciones de PMR.

Los conceptos de "intervalo de actualización" y "periodo de salida" son fundamentales para la correcta comprensión de este documento y una diferencia importante entre un sistema WAM y un sistema de radar. El sistema WAM recibe actualizaciones del blanco de forma aperiódica como respuestas a las interrogaciones del propio sistema WAM, como respuestas a las interrogaciones de otros sistemas (por ejemplo, los sistemas SSR y TCAS) y de los mensajes squitter transmitidos espontáneamente por el dispositivo transpondedor/transmisor del blanco. Se trata de un comportamiento fundamentalmente diferente al del radar, que sólo procesa y emite respuestas que se determinan que se han recibido cuando su haz principal apunta en la dirección del objetivo. También significa que el sistema WAM puede emitir datos sobre el blanco de forma aperiódica (inmediatamente después de medir la señal del blanco, es decir, salida "impulsada por datos") o periódica. Este enfoque es diferente al del radar, que sólo puede emitir datos a una velocidad basada en el tiempo de rotación de su antena o en el periodo de exploración.

El término Periodo de Salida se utiliza para definir el periodo seleccionable que el sistema WAM utiliza para dar salida a los informes objetivo periódicamente.

La naturaleza variable del Periodo de Salida WAM significa que el Periodo de Salida no puede utilizarse para evaluar el rendimiento WAM de la misma manera que el periodo de exploración fijo del radar, ya que para diferentes valores del Periodo de Salida, el sistema WAM proporcionará datos de objetivos con diferente probabilidad, precisión y otras características de rendimiento. El término Intervalo de Actualización se utiliza para definir el intervalo de tiempo en el que se mide el rendimiento del sistema WAM. Esto permite evaluar el rendimiento del sistema WAM independientemente del Periodo de Salida configurado en el sistema y permite un mecanismo para una comparación significativa del rendimiento WAM frente al del radar.

En este documento se especifican los valores máximos del Intervalo de actualización para separaciones de 3 NM y 5 NM.

Todos los parámetros de rendimiento de la vigilancia que dependen de un intervalo de tiempo se especifican entonces en términos del Intervalo de Actualización definido

Los sistemas WAM suelen constar de los siguientes componentes principales en tierra que constan en la Figura 8.23:

- Estación terrestre
- Transpondedor de referencia y control
- Procesador central
- Conexiones de red
- CMS e interfaces

La estación terrestre dispone de Unidad receptora (RXU), cuyas principales tareas son recibir señales de los transpondedores SSR/Modo S objetivo, digitalizar las señales, medir el TOA y transferir los datos digitalizados a través de un enlace de datos adecuado al Procesador Central (CP).

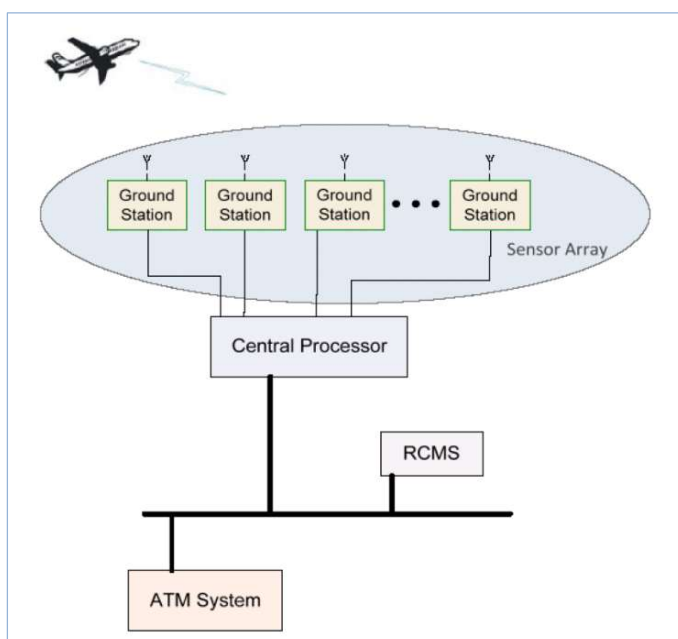


Fig. 8.23. Diagrama transmisión datos de vigilancia de los sensores al sistema ATM.

\* RCMS = Remote Control & Monitoring System

Y también dispone la estación terrestre de una Unidad de transmisión (TXU) cuyas principales son interrogar a los transpondedores SSR/Modo S de destino, de acuerdo con las solicitudes recibidas a través de un enlace de datos adecuado desde el CP.

El transpondedor de referencia y seguimiento (RMTR) forma parte del sistema y se utiliza para la comprobación de Integridad, y se instala en y/o alrededor de la zona de cobertura. Transmite espontáneamente Squitter en Modo S y/o responde a Interrogación. Los Squitters transmitidos también pueden utilizarse para la sincronización de la medición TOA.

El procesador central es el nodo dentro de un sistema WAM en el que se coteja la información procedente de múltiples estaciones receptoras con el fin de medir la posición del objetivo mediante el cálculo de TDOA, y ensamblar los informes del objetivo para su salida desde el sistema WAM. Por lo general, el procesador central también realiza otras funciones de gestión.

Las conexiones de red son los enlaces de comunicación entre los componentes del sistema WAM. Puede tratarse de enlaces dedicados con retardos de transmisión fijos o de infraestructuras de comunicación de uso general. Por lo general, el tipo de conexión de red utilizado vendrá dictado por el método de temporización utilizado por el sistema WAM concreto.

Los CMS e interfaces son las funciones de control y supervisión necesarias del sistema WAM, junto con las interfaces necesarias con los demás equipos.

Definiciones. El capítulo 1 del documento ED-142 incorpora una serie de definiciones necesarias para comprender el contenido del documento, por lo que se indican a continuación.

- **Precisión**

*La precisión es el límite cuantitativo de certeza en la posición calculada para un objetivo en relación con la posición verdadera de ese objetivo. La precisión de la posición horizontal se expresa como la raíz cuadrada media (RMS) de un error de distancia absoluto promediado sobre un conjunto de mediciones estadísticamente significativo:*

$$RMS = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2}$$

*Donde (x, y) es la posición horizontal verdadera del objetivo y (x', y') es una posición horizontal medida por el sistema WAM.*

- **Multilateración activa**

*Una función de multilateración realizada con señales obtenidas por Interrogación del blanco.*

- **ADS-B**

*ADS-B: Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (ADS-B) es un medio por el cual las aeronaves, vehículos de aeródromo y otros objetos transmiten y/o reciben automáticamente datos de identificación, posición, velocidad y otros datos adicionales en un modo de difusión a través de un enlace de datos.*

- **Dirección del avión**

*Combinación única de veinticuatro bits disponibles para asignar a una aeronave con fines de comunicaciones aire-tierra, navegación y vigilancia.*

- **Identificación de aeronaves (ACID)**

*La identificación operativa del vuelo utilizada en el punto 7 del plan de vuelo. Se trata del indicador OACI de la agencia operadora de aeronaves seguido de la identificación del vuelo o de la matrícula de la aeronave (cuando no se dispone de plan de vuelo o no hay indicador de agencia operadora de aeronaves). Por ejemplo, como resultado de Squitter o generados por sistemas externos de interrogación activa.*

- **Acérquese a**

*La aproximación es el área desde el umbral de la pista hasta una distancia de 20 millas náuticas y dentro de la senda de planeo de la pista.*

- **Disponibilidad**

*Probabilidad de que un sistema sea capaz de realizar la función prevista al inicio de la operación prevista.*

*Se cuantifica como la proporción de tiempo que el sistema está realmente disponible con respecto al tiempo que se prevé que esté disponible. Los periodos de mantenimiento planificado se descuentan de las cifras de disponibilidad.*

- **Nivel de garantía (AL)**

*Medida de la garantía del software de los sistemas terrestres utilizados para la comunicación, navegación y vigilancia en un contexto de gestión del tráfico aéreo (CNS/ATM).*

- **Coordenadas cartesianas**

*En el documento ED-142 las coordenadas X, Y, Z en un sistema local de coordenadas cartesianas 3D con origen en un punto de referencia del sistema definido en coordenadas WGS-84, donde:*

- Los ejes X e Y definen un plano tangente al elipsoide WGS-84 en el punto de origen. • Y - el eje apunta al norte geográfico en el origen

- El eje X es perpendicular al eje Y y apunta al este geográfico en el origen.

- Z - el eje es perpendicular a los planos X, Y y se aleja del centro de la Tierra.

*El Punto de Referencia del sistema se define en coordenadas WGS-84 y puede publicarse en la Categoría 019 de ASTERIX utilizando los elementos de datos I019/600 e I019/610.*

- **Procesador central**

*Nodo de un sistema WAM en el que se coteja la información procedente de varias estaciones receptoras con el fin de medir la posición de los objetivos, elaborar informes sobre los mismos y llevar a cabo otras funciones de gestión del sistema WAM.*

- **Continuidad del servicio**

*La capacidad de un sistema o un elemento para realizar su función requerida sin interrupciones no programadas durante toda la duración de la operación prevista, suponiendo que el sistema esté disponible cuando se inicie el procedimiento.*

- **Edad de los datos**

*Intervalo entre el momento de aplicabilidad de una información y el momento de salida.*

- **Modo basado en datos**

*El intervalo entre los sucesivos Informes de Objetivo del mismo objetivo se rige por la velocidad a la que el sistema WAM consigue la detección de Posición con éxito.*

- **Detección**

*Descodificación correcta de una transmisión de destino.*

- **DOP (Dilución de Precisión)**

*La influencia de la configuración geométrica del Sistema de Multilateración con respecto al objetivo en la Precisión de la posición medida de dicho objetivo.*



- **Extrapolación [datos persistentes]**

*El uso continuado de parámetros que permanecen constantes o cambian con poca frecuencia para su inclusión en los Informes de Destino cuando estos parámetros no han sido explícitamente refrescados o actualizados desde la fuente de destino.*

- **Extrapolación [datos variables]**

*Cálculo del valor de un parámetro en un momento determinado basado en una secuencia histórica de valores de dicho parámetro para su inclusión en los informes de destino cuando el parámetro no se ha actualizado explícitamente desde la fuente de destino.*

- **Informe sobre objetivos falsos**

*Cualquiera, un Informe Objetivo en una posición de mayor distancia de la posición verdadera que:*

- 2100 m para una separación de 5NM
- 1690 m para una separación de 3NM.
- Un informe sobre un objetivo falso, es decir, que no se refiere a ningún objetivo sin el Volumen de cobertura operativa.

- **Estación terrestre**

*Una Unidad Receptora o una Unidad Transmisora o un conjunto de Unidad Receptora y Unidad Transmisora coubicadas con toda la infraestructura de apoyo.*

- **Identidad**

*Identificación operativa consistente en la identidad de la aeronave (ACID) o el código SSR Modo A.*

- **Integridad**

*Atributo de un sistema o elemento que indica que se puede confiar en que funcionará correctamente cuando se solicite. (Incluye la capacidad del sistema para informar oportunamente al usuario de cualquier degradación del rendimiento.*

- **Interrogatorio**

*Generación de señales con el fin de obtener una transmisión del objetivo.*

- **Dirección de aeronave ilegal**

*Una dirección formada por todos ceros o todos unos.*

- **Sistema de multilateración**

*Un Sistema de Multilateración es cualquier grupo de equipos configurados para proporcionar posición e identificación derivadas de señales transmitidas por objetivos utilizando técnicas de Diferencia de Tiempo de Llegada (TDOA).*

- **Multitrayectoria**

*Fenómeno por el que las señales llegan a la antena de una unidad receptora por más de una ruta.*

- **Objetivos múltiples**

*Condición por la que las transmisiones de un único objetivo dan lugar a la notificación simultánea de la posición de más de un objetivo.*

- **Dispositivo no transpondedor**

*Dispositivo capaz de emitir 1090 extended Squitter (DF18) que no forma parte de un transpondedor en Modo S.*

- **Volumen de cobertura operativa**

*El volumen geográfico de interés dentro del cual el sistema proporciona vigilancia con el rendimiento requerido.*

- **Período de salida**

*Tiempo entre sucesivos Informes de Objetivo para el mismo objetivo.*

- **Modo retardado periódico**

*El sistema opera con un intervalo de tiempo fijo entre sucesivos Informes de Objetivo para el mismo objetivo. La medición más reciente se retrasa hasta el límite del Periodo de Salida. Se conserva el Tiempo de Aplicabilidad de la medición más reciente.*

- **Modo periódico previsto**

*El sistema opera con un intervalo de tiempo fijo entre los sucesivos Informes de Objetivo para el mismo objetivo. El informe sobre el objetivo contiene información prevista basada en datos anteriores. La hora de aplicabilidad se fijará en el momento en que se cree el informe sobre el objetivo.*

- **Detección de posición**

*Una decodificación exitosa de una transmisión de objetivo en un número suficiente de sensores para permitir el cálculo de la posición de multilateración en al menos la dimensión lateral.*

- **Posición prevista**

*Posición obtenida a partir de un proceso de Extrapolación cuando se opera en Modo Periódico de tal forma que los datos de salida generados en cada Período de Salida son aplicables en el momento de la salida.*

- **Probabilidad de detección de posición (PD)**

*La probabilidad de generar un Informe de Objetivo durante el Intervalo de Actualización definido en el que el Informe de Objetivo ha derivado la posición objetivo de al menos una Detección de Posición Válida ocurrida dentro del Intervalo de Actualización.*

- **Probabilidad de falsa detección (PFD)**

*Relación entre el número total de informes falsos sobre objetivos y el número total de informes sobre objetivos generados por el sistema WAM.*

- **Probabilidad de detección de códigos (PCD)**

*La probabilidad de emitir al menos un código correcto y validado (Modo A, Modo C) dentro de un Intervalo de Actualización en el que se ha emitido un Informe Objetivo. Para el blanco en modo S, la proporción de informes sobre blancos con la dirección correcta de la aeronave respecto al número total de informes sobre blancos en modo S.*

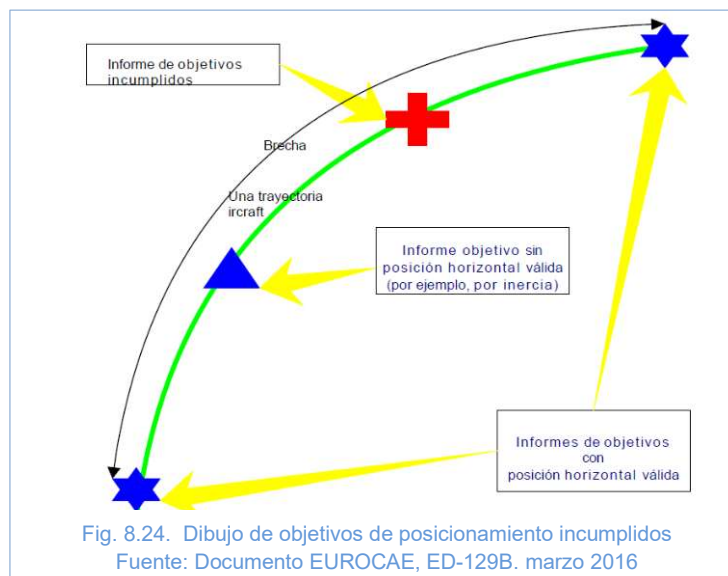
- **Probabilidad de detección de códigos falsos (PFCD)**

*Relación entre el número de informes sobre objetivos que contienen un código incorrecto pero validado y el número total de informes sobre objetivos que contienen un código (modo A, altitud de presión);*

*Para el objetivo de modo S, la relación entre el número de informes sobre el objetivo que contienen una incorrecta dirección de la aeronave al número total de informes de objetivos en modo S.*

- **Probabilidad de posición larga (PLG)**

*La probabilidad de dos o más Intervalos de Actualización consecutivos en los que no se obtiene una Detección de Posición Válida para un objetivo.*



- **Retraso de procesamiento**

*El retardo entre la señal que llega a la unidad receptora y el momento en que se produce. Un El sistema de multilateración emite un informe sobre el objetivo.*

- **Resolución posicional**

*Distancia entre dos objetivos por debajo de la cual el sistema de vigilancia ya no puede alcanzar el rendimiento especificado.*

- **Unidad receptora**

*Dispositivo capaz de detectar señales en el espacio y procesarlas para transmitirlos.*

- **Punto de referencia**

*Origen del sistema de coordenadas de un sistema de multilateración a partir del cual se mide toda la información posicional.*

- **Alisado**

*El suavizado es el proceso de promediado/filtrado por el sistema WAM de múltiples mediciones para un único objetivo con el fin de producir datos de salida consolidados.*

- **Squitter**

*Transmisión espontánea generada a una velocidad pseudoaleatoria por un transpondedor en modo S.*

- **Capacidad del sistema**

*La capacidad del sistema se define como el número mínimo de objetivos que el sistema debe procesar en un intervalo de tiempo determinado.*

- **Objetivo**

*Todo vehículo o aeronave equipado con un transpondedor SSR o equivalente, que se haya encendido y funcione de conformidad con sus Normas Mínimas de Rendimiento Operativo.*

- **Informe de objetivos**

*Salida de un sistema de multilateración que proporciona la posición, la identidad y, potencialmente, información adicional de un objetivo obtenida mediante el cálculo de multilateración sobre una o varias transmisiones de objetivos recibidas en varios sensores (véase también Detección de posición).*

- **Trayectoria del objetivo**

*Reconstrucción del movimiento de un único objetivo dentro de la cobertura de un sistema de vigilancia mediante la asociación de una secuencia de Informes de Objetivos.*

- **Momento de aplicabilidad**

*Tiempo en el que una medición o extrapolación de cualquier parámetro variable puede considerarse verdadera dentro de los límites del error esperado.*

- **Diferencia de tiempo de llegada (TDOA)**

*El TDOA es la diferencia de tiempo relativo en que se recibe una transmisión procedente del mismo objetivo en diferentes unidades receptoras. NOTA: TDOA se refiere directamente a la diferencia de longitud de trayectoria entre un objetivo y una serie de sensores y es el principio sobre el que se realiza la multilateración.*

- **Hora de llegada (TOA)**

*La hora de llegada es la hora a la que se recibe una transmisión de un objetivo en una unidad receptora.*

- **Pista**

*Una serie progresiva de informes sobre objetivos que se han asociado a un único objetivo.*

- **Unidad transmisora**

*Dispositivo capaz de generar señales con fines de Interrogación de blancos de conformidad con el Anexo 10 Volumen IV de la OACI para Radares Secundarios de Vigilancia.*

- **Transpondedor**

*Un dispositivo conforme al Anexo 10 Volumen IV de la OACI para la recepción y respuesta a Interrogación desde un radar de vigilancia secundario.*

- **Actualización**

*Renovación de los informes sobre objetivos relativos a todos los objetivos vigilados.*

- **Intervalo de actualización**

*El intervalo de tiempo máximo permitido entre Informes de Objetivo sucesivos para el mismo objetivo.*

- **Detección de posición válida**

*Una Detección de Posición que indica la posición verdadera de un objetivo dentro de los límites esperados de Precisión.*

- **Validación**

*La determinación de que los requisitos de un producto son suficientemente correctos y completos.*

- **Verificación**

*Evaluación de la aplicación de los requisitos para determinar si se han cumplido.*



## 8.2.2.- Análisis. Documento EUROCAE ED-142. Capítulo 2.

En el de diseño para un sistema WAM, los requisitos utilizados no tienen pruebas específicas, por lo que el cumplimiento puede verificarse mediante la documentación proporcionada por el fabricante.

El sistema WAM contendrá las funciones necesarias para medir la posición horizontal y proporcionar la altitud e identidad de todos los blancos que transmitan en 1090 MHz en su volumen de cobertura previsto y deberá ser capaz de proporcionar al menos las siguientes funciones

- a). Recepción de señales de 1090 MHz: una función para recibir señales de RF de 1090 MHz. Esta función se replicará en diferentes ubicaciones/sitios para soportar la multilateración.
- b). Digitalización y extracción de mensajes en 1090 MHz: una función para digitalizar la señal y extraer las respuestas en Modo A/C, las respuestas en Modo S, la adquisición en Modo S y el Extended Squitter transmitidos por el transpondedor aerotransportado y/o del vehículo.
- c). Determinación TDOA: una función para determinar la diferencia en el tiempo de llegada de la misma señal en todos los sitios de recepción.
- d). Localización e Identificación de la Posición del Objetivo: función que calcula la posición en la que se ha transmitido una señal, Algoritmo TDOA, y gestiona las diferentes Detecciones y datos obtenidos para cada objetivo.
- e). Gestión de salida de datos: función que proporciona a los usuarios los datos de destino y el estado del sistema.
- f). Gestión del Interrogatorio: Función que gestiona la Interrogación que debe enviarse para interrogar activamente a los objetivos.
- g). 1030 MHz Transmisión de interrogación: Una función que transmite interrogaciones en 1030 MHz.
- h). Equipo de prueba integrado BITE: Función que supervisa la salud del sistema y que permite aislar los fallos.
- i). Sistema de control y supervisión CMS: Función que permite configurar y controlar el sistema WAM e informa de su estado de servicio actual.
- j). Prueba de extremo a extremo: Función que comprueba toda la señal de RF y la ruta de procesamiento de datos del sistema.

La posición de multilateración se obtendrá independientemente de la latitud y longitud obtenidas a partir del contenido del mensaje ADS-B. Si se va a utilizar la Vigilancia Mejorada EHS en Modo S.

El sistema WAM recibe señales transmitidas a través de la banda de RF de 1090 MHz, detecta e identifica objetivos equipados con transpondedor conforme al Anexo 10 de la OACI, sólo Modo A/C, Modo S, Extended Squitter y dispositivo no transpondedor, y es capaz de interrogar en Modo A, Modo C y Modo S. La emisión tiene una potencia de interrogación y la tasa de repetición se mantendrán al mínimo, en consonancia con los requisitos operativos, a fin de minimizar el efecto del funcionamiento activo de WAM en el entorno de radiofrecuencias de 1030/1090 MHz, de conformidad con los requisitos del anexo 10 de la OACI.

El sistema WAM no establecerá "Bloqueo de código identificador de interrogador (II) o identificador de vigilancia (SI) en modo S" en ningún objetivo, y no utilizará el Modo S de Interrogación de todas las llamadas UF11, y no utilizará el modo S inter-modo "Modo A/C/S all-call" interrogación" (también conocido como Modo A/C/S largo P4).

El sistema WAM emite informes de objetivos y de estado en múltiples salidas, configurables individualmente.

El sistema WAM deberá proporcionar al menos dos conexiones físicas de salida independientes.

El sistema WAM incluirá un Equipo de Pruebas Incorporado BITE de forma que exista una monitorización continua del estado de funcionamiento del equipo, de forma que el BITE podrá funcionar tanto en modo operativo como en modo de mantenimiento, y el índice de cobertura BITE será al menos del 90% , y el índice de localización de fallos del BITE será como mínimo del 95% .

El sistema WAM BITE deberá ser capaz de registrar una condición de fallo sin la presencia de un sistema externo de control y supervisión.

El sistema de control y supervisión CMS, permite controlar la configuración del sistema WAM. Su implementación se considera específica del fabricante y/o del usuario, por lo que no se define con más detalle en este documento. En el caso de los sistemas que requieran una interfaz CMS externa, ésta deberá ajustarse como mínimo a la norma SNMP, v2.

El sistema WAM ofrecerá como mínimo dos modos, Operativo cuando el sistema está disponible para funcionar, y mantenimiento, cuando el sistema está en mantenimiento y no está disponible para su funcionamiento.

El Sistema WAM tendrá como mínimo dos estados, GO, si alcanza un rendimiento mínimo del sistema en todo el Volumen de Cobertura Operativa, o NOGO, cuando no se alcanza el rendimiento mínimo del sistema en todo el Volumen de Cobertura Operativa, o el sistema es incapaz de determinar ese mínimo rendimiento del sistema en todo el Volumen de Cobertura Operativa, además informará de su estado de funcionamiento GO/ NOGO.

El sistema WAM deberá poder ser comandado manualmente de un modo a otro por un operador de mantenimiento, y tras el encendido, el sistema WAM entrará en el modo en el que se encontraba antes del apagado, y para la seguridad del sistema, el sistema WAM controlará el acceso de los usuarios al sistema.

El diseño del software deberá seguir las directrices para la garantía del software del documento ED-109.

El nivel de garantía debe ser AL4, según el documento ED-109 o en otro caso debe utilizarse para la garantía un argumento de seguridad para el software basado en pruebas en servicio.

El diseño del hardware deberá cumplir todas las normas reglamentarias que sean de aplicación de la Unión Europea, e incorporará la marca CE para demostrar el cumplimiento de las directivas de la UE sobre seguridad de los productos.

El sistema WAM debe proporcionar la capacidad de aumentar o alterar el Volumen de Cobertura Operativa o el Rendimiento del Sistema mediante la adición o redistribución de la Unidad Receptora y/o la Unidad Transmisora.

El sistema WAM deberá proporcionar la capacidad de poner a disposición puntos de acceso en los que se pueda acceder a datos clave y registrarlos, y se documentarán los protocolos y formatos disponibles en estos puntos de registro.

El sistema WAM proporcionará acceso de grabación a los informes de objetivos y a la salida de mensajes de servicio sin afectar al uso operativo del sistema, y proporcionará acceso de grabación a los datos sobre el estado y el rendimiento de los equipos y sistemas sin afectar al uso operativo del sistema, como también proporcionará acceso de grabación para investigar los efectos de la pérdida de una o varias Unidades Receptoras.

El sistema WAM mantendrá un registro cronológico del estado de funcionamiento, los estados y los modos del equipo, y deberá ser capaz de registrar cualquier interacción del usuario en la configuración WAM, incluyendo Intentos de acceso, acciones de control, y cambios de configuración.

La disponibilidad, excluyendo los periodos de mantenimiento no será inferior al 99,99%.

El tiempo medio entre fallos críticos MTBCF y tiempo medio de reparación MTTR debe ser con una cifra de disponibilidad definida que se cumplirá normalmente con cifras de 10.000 horas MTBCF y 1 hora MTTR.

### 8.2.3.- Análisis. Documento EUROCAE ED-142. Capítulo 3.

Las especificaciones mínimas de rendimiento de vigilancia para un sistema de Multilateración de Área Amplia (WAM) para soportar aplicaciones de vigilancia con separación de 3 NM y 5 NM, deberán cumplirse en condiciones operativas estándar.

El sistema WAM proporciona:

- Los mismos datos de vigilancia que SSR
- Nivel de servicio de vigilancia cooperativa independiente equivalente o superior al prestado por la SSR
- Integridad, Continuidad y Disponibilidad equivalentes o mejores a las proporcionadas por SSR Los requisitos enumerados en el resto de este capítulo definen:
- datos de vigilancia necesarios
- funcionalidad necesaria para ser una fuente independiente de datos de vigilancia
- rendimiento e integridad de los datos requeridos

Deberán cumplirse en condiciones operativas estándar.

El sistema WAM deberá ser capaz de detectar y procesar objetivos en Modo A/C y Modo S.

El sistema WAM deberá ser capaz de detectar y manejar correctamente 2 aeronaves con idéntica Dirección de Aeronave separadas por más de 10NM dentro del volumen de cobertura definido.

Cuando se utilicen, las interrogaciones en Modo A, Modo C y Modo S transmitidas por el sistema WAM deberán cumplir todos los requisitos pertinentes del Anexo 10 de la OACI. La potencia de transmisión del sistema deberá poder configurarse de modo que pueda reducirse al mínimo sin dejar de cumplir los requisitos operativos estándar.

Cuando se requieran interrogaciones en modo S, el sistema WAM interrogará a las aeronaves en modo S utilizando interrogaciones selectivas en modo S.

El sistema WAM deberá ser capaz de interrogar los siguientes datos de destino:

- Presión Altitud
- Código del modo A
- Identificación de aeronaves (ACID - BDS 2,0) = ACID = Aircraft Identification
- Informe de capacidad de enlace de datos (BDS 1,0)

Cuando se requieran interrogaciones en Modo A/C, el sistema WAM interrogará a las aeronaves en Modo A/C utilizando la Interrogación en Modo A/C o la Llamada total sólo en Modo A/C .

Los requisitos de rendimiento especificados en esta sección son aplicables a los objetivos situados dentro del Volumen de Cobertura Operativa definido del sistema.

El sistema WAM deberá cumplir los requisitos de rendimiento especificados en el capítulo 3 en el intervalo de actualización definido.

El Intervalo de Actualización definido no deberá exceder de lo siguiente:

- 8 segundos para la aplicación En ruta
- 5 segundos para la aplicación TMA

El sistema WAM emitirá los cambios en la siguiente información de la aeronave dentro de 3 veces el Intervalo de Actualización máximo (24 segundos para la aplicación En Ruta y 15 segundos para la aplicación TMA) con una probabilidad del 95%:

- ACID= Aircraft Identification
- Código de modo A (cuando lo requiera el usuario)

El sistema WAM emitirá cambios en la siguiente información de la aeronave dentro del Intervalo de Actualización máximo (8 segundos para la aplicación En Ruta y 5 segundos para la aplicación TMA) con una probabilidad del 95%:

- Códigos de emergencia
- SPI (cuando lo requiera el usuario)

La Probabilidad de detección de posición dentro del Intervalo de Actualización definido deberá ser mayor o igual al 97% para cualquier objetivo.

La probabilidad de que se produzca un vacío de posición larga durante más de 3 veces el Intervalo de Actualización máximo +10% (26,4 segundos para la aplicación En Ruta y 16,5 segundos para la aplicación TMA) deberá ser inferior o igual al 0,1%

La probabilidad de falsa detección deberá ser inferior o igual al 0,1%.

El sistema WAM deberá proporcionar una Dirección de Aeronave correcta dentro del Intervalo de Actualización definido con una probabilidad mayor o igual al 99%.

El sistema WAM proporcionará un código de modo A correcto y validado dentro del intervalo de actualización definido con una probabilidad superior o igual al 98 %.

El sistema WAM proporcionará un código en modo C correcto y validado dentro del intervalo de actualización definido con una probabilidad mayor o igual al 96 %.

- La probabilidad de detección de direcciones falsas de aeronaves deberá ser inferior o igual a 0.1%.
- La probabilidad de falsa detección de código en modo A será inferior o igual al 0,1%.
- La probabilidad de falsa altitud de presión será igual o inferior al 0,1%.
- La probabilidad de falsa detección de ACID deberá ser inferior o igual al 0,1%.

Los errores de posición horizontal no deberán exceder:

- 350 m RMS para la aplicación En Ruta
- 150 m RMS para la aplicación TMA

El sistema WAM proporcionará un registro de tiempo de la posición del objetivo sincronizado con UTC.

El error de temporización entre la marca de tiempo (hora UTC del día) asociada a un informe objetivo y la hora de aplicabilidad del informe objetivo deberá ser inferior o igual a 100 ms.

La Resolución Posicional se especifica para dos blancos cercanos equipados con los transpondedores de Modo A/C con diferentes códigos de Modo A dentro de dos separaciones horizontales, de acuerdo con la siguiente tabla:

| Separación horizontal | Tipo de espacio aéreo |                  |
|-----------------------|-----------------------|------------------|
|                       | Servicio en ruta      | Servicio TMA     |
| Separación 1          | 3 500 m (2 NM)        | 1 200 m (0,6 NM) |
| Separación 2          | 7 000 m (4 NM)        | 3 500 m (2 NM)   |

Tabla 8.11. Tipos de espacio aéreo y separaciones



La Probabilidad de detección de la posición de dos blancos diferentes equipados con transpondedor en Modo A/C dentro del Intervalo de Actualización definido deberá ser mayor o igual a:

- 60% en la separación 1
- 98% en la separación 2

La probabilidad de detección correcta de códigos en modo A y C de dos blancos diferentes equipados con transpondedores en modo A/C, dentro del intervalo de actualización definido, deberá ser mayor o igual que:

- 30% en la separación 1
- 90% en la separación 2

En el modo "Data Driven", el retardo de procesamiento será inferior o igual a 1 segundo, medido desde el momento de la recepción de la señal de blanco en una unidad receptora hasta que el sistema WAM emita un informe de blanco.

En el Modo de Retardo Periódico, cuando se transmite la última posición medida recibida dentro del Periodo de Salida, el retardo máximo de Procesamiento será menor o igual a la duración del Periodo de Salida más 1s.

En el Modo de Predicción Periódica, cuando se transmite la Posición Predicha en el momento de la salida, el retardo máximo de Procesamiento será de 0,5 segundos.

El tiempo de inicio de seguimiento se define como el tiempo transcurrido desde que un objetivo entra en el Volumen de Cobertura Operativa del sistema WAM con un transpondedor activo hasta la salida del primer Informe de Objetivo de posición del sistema WAM.

El tiempo de inicio de la Pista deberá ser inferior o igual a 5 veces el Intervalo de Actualización definido con una probabilidad del 99%.

Si el sistema está diseñado para detectar aeronaves durante un despegue, el inicio de la pista debe ser inferior o igual a 3 veces el intervalo de actualización definido con una probabilidad del 99%.

La capacidad de objetivos se define como el número máximo de objetivos para los que el sistema es capaz de cumplir todos los requisitos de rendimiento de vigilancia especificados. La capacidad requerida depende del volumen del espacio aéreo y de las características del entorno.

Como mínimo, el sistema WAM deberá ser capaz de adquirir y mantener simultáneamente el seguimiento de 250 objetivos dentro de su Volumen de Cobertura Operativa declarado.

Se proporcionará un mecanismo de sobrecarga para detectar cuándo el número de objetivos supera un umbral de capacidad configurable. Cuando se supere el umbral, el sistema WAM activará el indicador de desbordamiento, bit ASTERIX OVL en el elemento I019/550, en el informe de estado del sistema.

Cuando se detecte una sobrecarga, el sistema entrará en estado NOGO.

El sistema WAM deberá ser capaz de emitir datos operando en uno o más de los siguientes modos de salida:

- Modo Data Driven: El modo Data Driven es apropiado para sistemas de procesamiento de vigilancia capaces de manejar altas velocidades de datos y actualización no periódica
- Modo retardado periódico: El modo retardado periódico es para sistemas de procesamiento de vigilancia en los que la velocidad de transmisión de datos debe reducirse al mínimo o la actualización periódica es necesaria. Este modo no es apropiado para la entrada directa a sistemas de visualización.
- Modo Predicción Periódica: El Modo Predicción Periódica es adecuado para la entrada directa a sistemas de visualización, y para sistemas de procesamiento de vigilancia.

El sistema WAM deberá ser capaz de proporcionar salida de datos en el formato Eurocontrol ASTERIX Cat020 o ediciones posteriores, y Cat019 o edición posterior.

Se emitirán los dos tipos de datos siguientes:

- Datos del informe sobre el objetivo (parcela/seguimiento) - Informes ASTERIX CAT 020
- Mensajes de servicio (estado general del sistema, estado de los subsistemas, posición de referencia WAM) - Informes ASTERIX CAT 019.

El sistema WAM deberá ser capaz de generar los siguientes datos en los informes de destino:

- Identificador de la fuente de datos
- Descriptor del informe objetivo
- Hora del día (marca horaria)
- Posición horizontal (WGS84)
- Modo 3/A Código
- Identificación de aeronaves (ACID)
- Altitud de presión: FL derivado de la altitud en modo S (incrementos de 25 pies) o del valor en modo C (incrementos de 100 pies).
- Precisión de la posición horizontal (desviación estándar de la posición [error])
- SPI
- Dirección del avión (Dirección de destino)
- Estado del vuelo
- Transpondedor Capacidad de comunicación/ACAS
- Indicación de dirección de avión duplicada o ilegal
- Edad de los datos de la altitud de presión
- Los siguientes elementos de datos de los Informes Objetivo son OPCIONALES:
- Posición horizontal (coordenadas cartesianas)
- Número de pista
- Estado de la pista
- Velocidad de la vía calculada
- Aceleración calculada
- Receptores contribuyentes (a la posición objetivo MLAT)
- Altura calculada (altura medida/geométrica)
- Desviación estándar de la altura calculada
- Modo S MB datos
- Informe consultivo de resolución del ACAS
- Modo-1 Código
- Código Modo-2
- Edades de los datos

## 9.- Técnicas de supervisión y corrección de errores en datos de comunicación

El mensaje recibido puede contener errores en su contenido debido a que la señal electromagnética ha viajado por el aire hasta el receptor y ha podido sufrir interferencias o variaciones por causas atmosféricas.

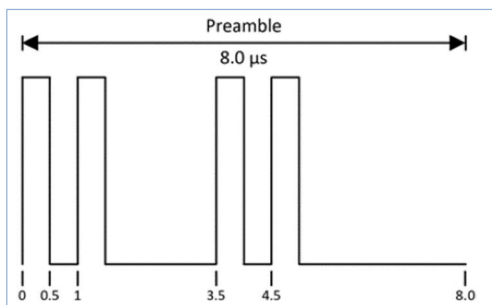


Fig. 9.1. Modelo de señal a emitir con la información

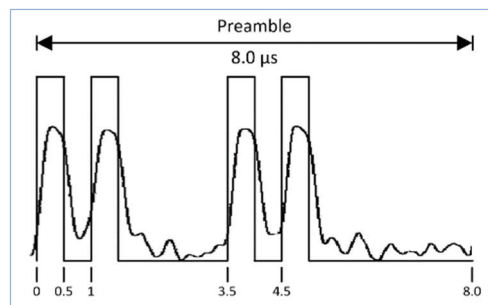


Fig. 9.2. Comparación de la señal emitida con la recibida

Como se observa en la fig. 9.2 puede que la señal recibida no alcance el voltaje necesario para convertir el bit en una unidad, y con ello el mensaje quede modificado en su contenido como se observa en la Fig. 9.3.

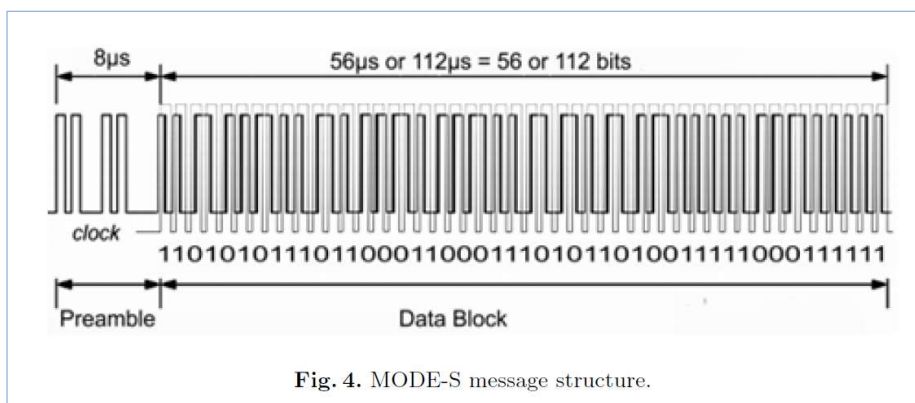


Fig. 4. MODE-S message structure.

Fig. 9.3. Estructura del mensaje con errores

Para corregir estos problemas en el mensaje original se incluyen bit de paridad, de forma que el mensaje Modo S de Squitter Extendido se descodifica y se corrige utilizando CRC, código de redundancia cíclica, basado en un procedimiento matemático de detección de errores en los datos transmitidos o almacenados del subsistema de recepción de los transmisores ADS-B.

A estos mensajes recibidos y descodificados se les asigna una marca de tiempo. La información bit stream se divide en bloques de  $k$  bits, y cada bloque es codificado en bloques de  $n$  bits. Los bits codificados son modulados y enviados al canal. Al llegar al receptor se realiza el proceso inverso.

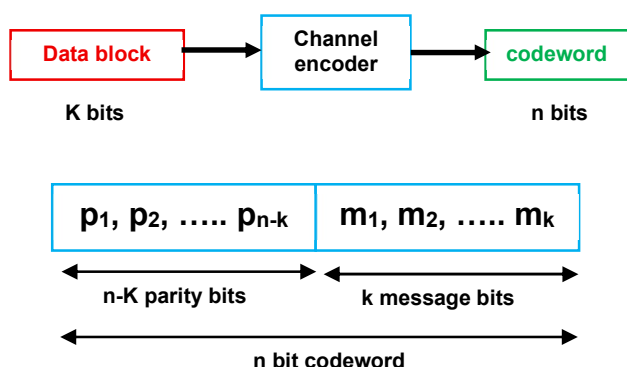


Fig. 9.4. Proceso de crc

## 10.- Aplicación de las tecnologías satélite y ADS-B al transporte marítimo y al transporte terrestre ferroviario

### 10.1- Aplicación de las tecnologías satélite y ADS-B al transporte marítimo

Las tecnologías de comunicaciones aeronáuticas también se usan en el transporte marítimo, dado que los buques utilizan radar de vigilancia y equipos de radio y sistemas de comunicación vía satélite. El sistema ADS-B se utiliza en barcos y la información también se gestiona mediante el protocolo de transmisión de datos ASTERIX.

El fabricante in-innovative navigation GmbH dispone de su solución comercial MST (MultiSensorTracker) con posibilidad de que los buques se comuniquen por ADS-B, el sistema marino de comunicaciones AIS, y transmisión de datos con el protocolo ASTERIX.

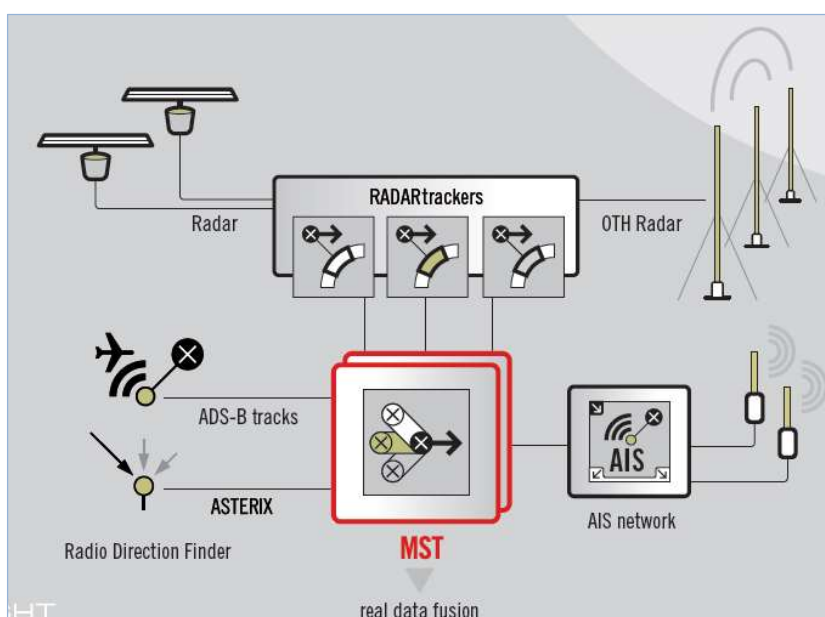


Fig .10.1. Diagrama de funcionamiento MST  
MultiSensorTracker

También el fabricante Cambridge Pixel dispone de soluciones ADS-B con soporte ASTERIX para buques.

#### Features and Benefits

- Receives ASTERIX (CAT-1, 10 or 48) tracks
- Support for AIS (NMEA-0183)
- Support for ADS-B (ASTERIX CAT-21)
- Combines tracks from overlapping radars
- Hands over tracks from adjacent radars
- Consistent track labelling
- Options for 2, 4, 8 or more sensor inputs
- Configurable weighting and priority
- Moving platform support
- Remote control over network interface
- Primary and IFF radars
- Windows and Linux versions
- Web control and monitoring interface
- Windows System Tray option for running in the background
- Complements SPx Server and SPx Tracker-3D

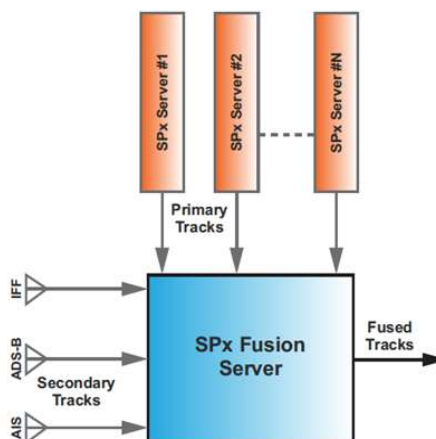


Fig. 10.2. Servicios ADS-B de Cambridge Pixel para buques

Fig. 10.3. Logo Cambridge



Otra empresa que utiliza sistemas ADS-B es JLB Maritime , que combina el sistema de vigilancia marítima AIS con el sistema ADS-B. En su página web , <https://jlbmaritime.com/ais-tracking-ads-b-tracking-nodes-marine-coordination-software> , informa de sus servicios entre ellos el servicio combinado de AIS + ADS-B , como se observa en la Fig. 10.4 la aproximación de un helicóptero a un barco.

Este sistema de vigilancia permite a la aeronave, el helicóptero, localizar la posición del barco y viceversa.



Fig. 10.4. Servicios de tracking para buques, helicópteros, y combinados. Fuente: JLB Maritime

Otras aplicaciones del sistema ADS-B en en la vigilancia en la granjas marinas de torres de viento para generación de energía eléctrica como el que dispone la empresa SYSTEMATIC, que tiene la aplicación SITE destinada a la gestión de posicionamiento en el mar de las torres eólicas que se coordina con los sistemas AIS y ADS-B. <https://systematic.com/int/industries/renewables-utilities/offshore-wind/site/>

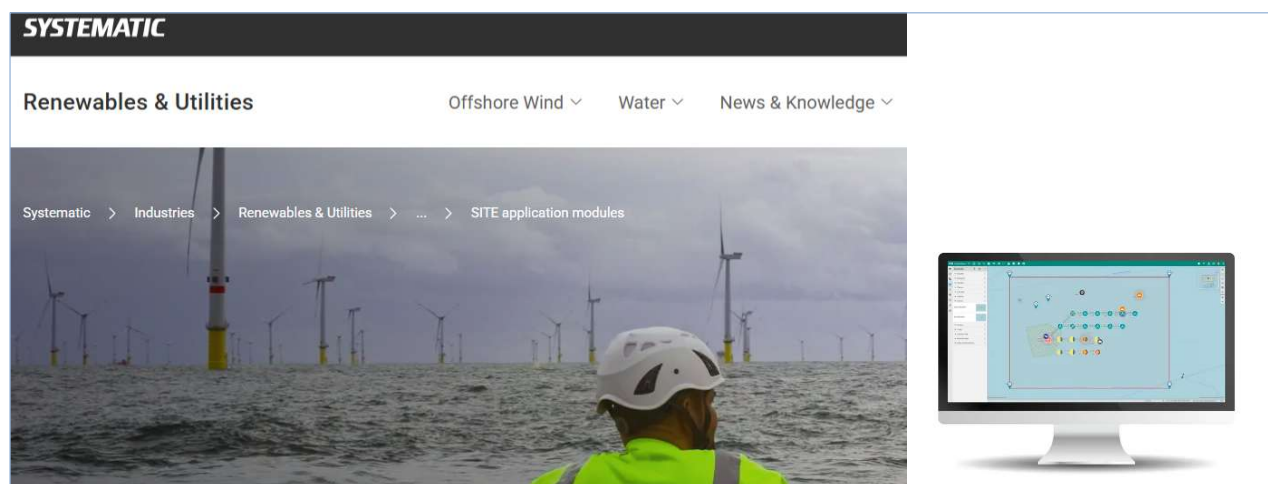


Fig. 10.5. Aplicación SITE de SYSTEMATIC para torres de generación eólica en el mar  
Fuente: <https://systematic.com/int/industries/renewables-utilities/offshore-wind/site/site-application-modules/>

Esta solución de implantar sistemas de vigilancia ADS-B también la utiliza EUROCONTROL, que en el documento EUROCONTROL “Guidelines for Assessing the Potential Impact of Wind Turbines on Surveillance Sensors” de 2014

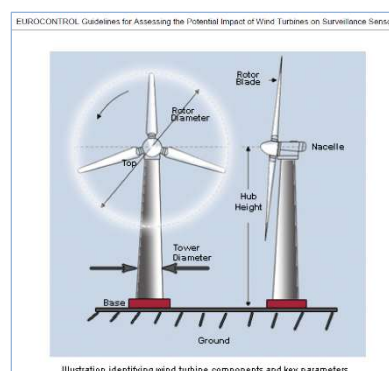


Fig. 10.6. Dibujo de torre eólica Fuente: EUROCONTROL “Guidelines for Assessing the Potential Impact of Wind Turbines on Surveillance Sensors” de 2014

La utilización del sistema de vigilancia ADS-B con buques para transporte marítimo, también lo estudia EUROCONTROL como aplicación para el estudio de múltiples fuentes de la cadena de datos ADS-B y ello a través del proyecto SALSA (SALSA Project).

En base a ello, EUROCONTROL ha publicado su informe *"Satellite-Based ADS-B for Lower Separation Minima Application Multi-Source Study Report"* de 20/03/2017 dentro del programa SALSA Project, de forma que entre otros aspectos de investigación también se estudia la utilización de fuentes de datos ADS-B basados en buques y en aeronaves.

El enfoque de esta técnica es la transmisión de señal ADS-B en espacios aéreos sin radar, o Non-Radar Airspace NRA. Lo que se pretende es superar el déficit de comunicaciones en áreas remotas y áreas transoceánicas de forma que se puedan aprovechar los recursos satelitales.

En la Fig 10.7 se observa la red de transmisión de datos ADS-B entre barcos mercantes, aeronaves, satélites y estaciones en tierra en lo que se llama concepto operativo de alto nivel.

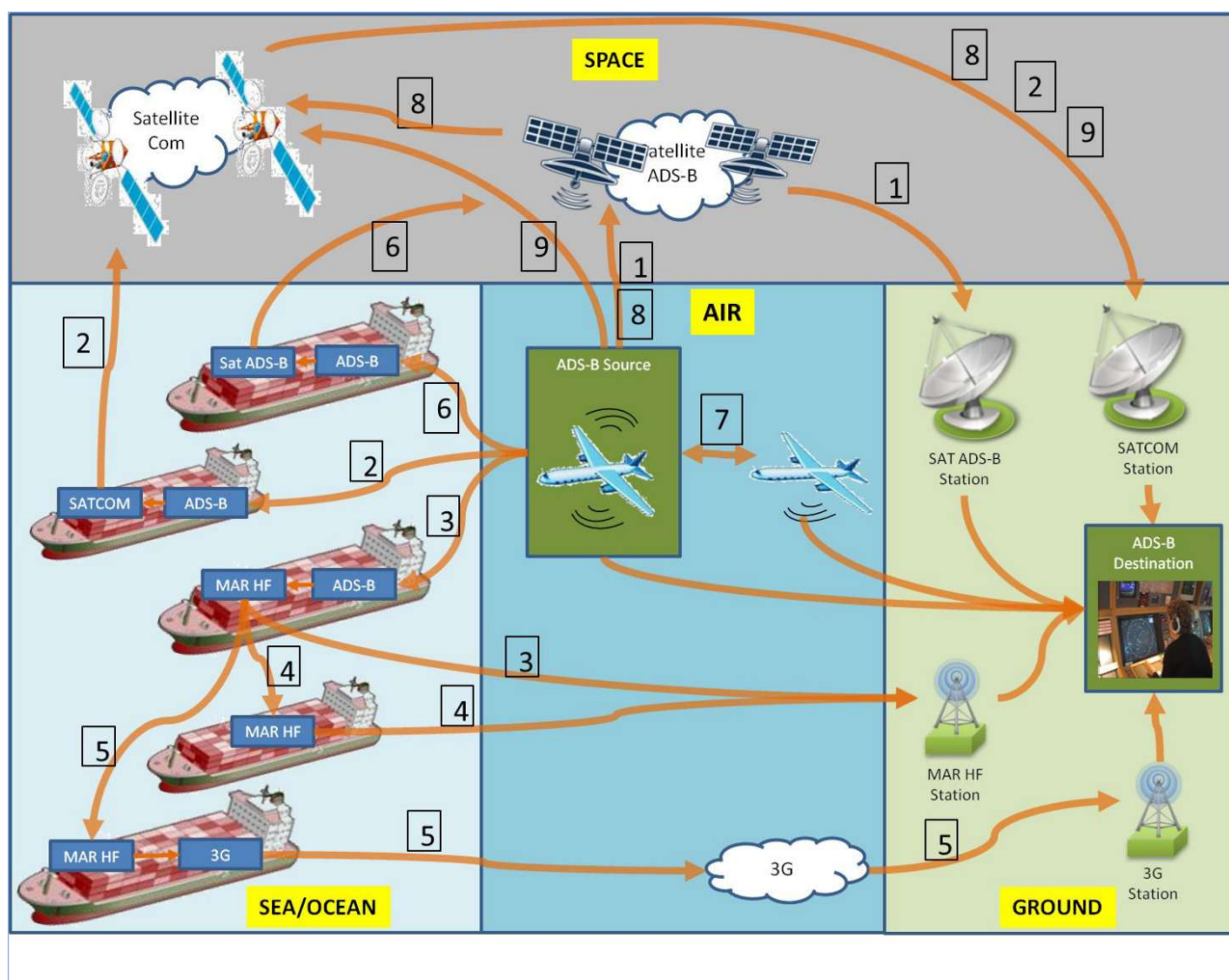


Fig. 10.7. Diagrama descripción de concepto operativo de alto nivel

Fuente: EUROCONTROL, "Satellite-Based ADS-B for Lower Separation Minima Application Multi-Source Study Report", 2017

Las distintas rutas de datos en las que también se encuentran los datos ADS-B procedentes de barcos mercantes, y que se estudia en el informe de EUROCONTROL, se resumen en la Tabla 10.1.

|                                             | Source               | Entry Node                       | Relay 2                       | Relay 3            | Destination                        |
|---------------------------------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------|------------------------------------|
| Current situation                           | Airliner<br>no ADS-B |                                  |                               |                    | ADS-B destination<br>(ATC station) |
| P1 - Satellite ADS-B                        | Airliner<br>ADS-B    | Satellite ADS-B<br>constellation | Satellite<br>ADS-B<br>Station |                    | ADS-B destination<br>(ATC station) |
| P2 - Vessels ADS-B via<br>SatCom            | Airliner<br>ADS-B    | Vessel (SatCom)                  | Satellite<br>Com              | SatCom<br>station  | ADS-B destination<br>(ATC station) |
| P3 - Vessels ADS-B via<br>HF single relay   | Airliner<br>ADS-B    | Vessel (MAAR<br>HF)              | MAAR HF<br>Station            |                    | ADS-B destination<br>(ATC station) |
| P4 - Vessels ADS-B via<br>HF multiple relay | Airliner<br>ADS-B    | Vessel#1<br>(MAAR HF)            | Vessel#2<br>(MAAR HF)         | MAAR HF<br>Station | ADS-B destination<br>(ATC station) |
| P5 - Vessels ADS-B via<br>3G                | Airliner<br>ADS-B    | Vessel (MAAR<br>HF)              | 3G                            | 3G<br>Station      | ADS-B destination<br>(ATC station) |
| P6 - Vessels ADS-B via<br>ADS-B Sat         | Airliner<br>ADS-B    | Vessel (ADS-B<br>Sat)            | Satellite<br>ADS-B<br>Station |                    | ADS-B destination<br>(ATC station) |
| P7 ADS-B out ADS-B in                       | Airliner<br>ADS-B    |                                  |                               |                    | Airliner ADS-B                     |
| P8 ADS-B SAT SatCom                         | Airliner<br>ADS-B    | Satellite ADS-B<br>constellation | Satellite<br>Com              | SatCom<br>station  | ADS-B destination<br>(ATC station) |
| P9 ADS-B information<br>to SatCom           | Airliner<br>ADS-B    | Satellite Com                    | SatCom<br>station             |                    | ADS-B destination<br>(ATC station) |

Table 1 : Paths considered to build the scenarios.

Tabla 10.1. Tabla de rutas de datos ADS-B

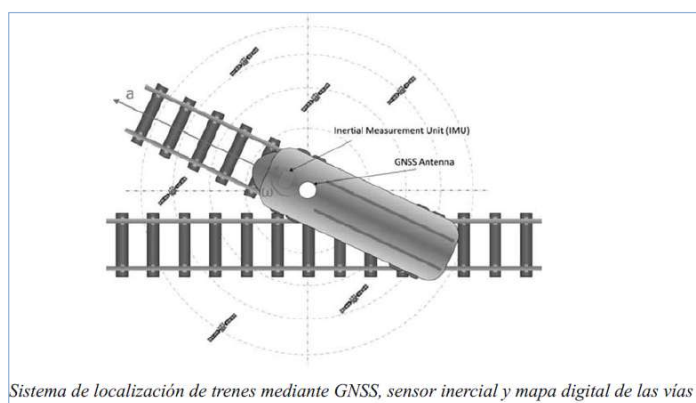
Traducción del inglés: Vessel/ significa buque o barco.

## 10.2- Aplicación de las tecnologías satélite al transporte terrestre ferroviario

En cuanto al posicionamiento de ferrocarriles, hay estudios sobre el uso de satélites para realizar medidas, de forma que se aplican técnicas de Sistema Bayesiano de Localización de Trenes.

La técnica de triangulación por satélites es la utilizada para el cálculo de posición.

Imagen del artículo de D. Omar García Crespillo, Sistema Bayesiano de Localización de Trenes Basado en Medidas GNSS y Sensores Inerciales.



Sistema de localización de trenes mediante GNSS, sensor inercial y mapa digital de las vías

Fig. 10.8 Dibujo posicionamiento de trenes mediante satélite



## Lista de figuras

- Fig. 1.1 Portadas Documentos EUROCAE ED-129B, ED-129C, y ED-142
- Fig. 1.2 Ilustración sistema ADS-B.  
Fuente: Guía de la vigilancia global. Thales Air Systems.
- Fig. 1.3 Ilustración del aterrizaje de un avión que comunica vía radio con varias antenas en tierra.  
Fuente: Japan Radio Co. , Ltd.. <https://www.jrc.co.jp/eng/>
- Fig. 2.1 Logotipo de OACI
- Fig. 2.2 OACI. Convenio de Chicago, 7 de diciembre de 1944. Fuente: OACI
- Fig. 2.3 Portadas de Documentos de OACI
- Fig. 2.4 Logotipo de EASA
- Fig. 2.5 Logotipo de EUROCONTROL
- Fig. 2.6 Organigrama de EUROCONTROL. 1963  
Fuente: EUROCONTROL History Book. 2010
- Fig. 2.7 Organigrama de EUROCONTROL. 1997  
Fuente: EUROCONTROL History Book. 2010
- Fig. 2.8 Logotipo EUROCAE
- Fig. 2.9 Esquema de las actividades de la organización EUROCAE.  
Fuente: EUROCAE technical Work Programme 2023.
- Fig. 2.10 Logotipo ITACA - UPV
- Fig. 2.11 Logotipo de AESA
- Fig. 2.12 Folleto corporativo de las actividades desarrolladas por AESA en el ámbito de la navegación aérea
- Fig. 2.13 Logotipo de AENA
- Fig. 2.14 Logotipo de ENAIRE
- Fig. 2.15 Esquema de prestación de servicios de ENAIRE. Fuente: ENAIRE
- Fig. 2.16 Logotipo Administración Aeronáutica Civil CAA .1938  
Fuente: Federal Aviation Administration FAA <https://www.faa.gov>
- Fig. 2.17 Oficinas nueva Federal Aviation Administration FAA. 1958  
Fuente: Federal Aviation Administration FAA. <https://www.faa.gov>
- Fig. 2.18 Logotipo Federal Aviation Administration FAA
- Fig. 2.19 Logotipo RTCA
- Fig. 2.20 Esquema Resumen Organizaciones Aviación Civil
- Fig. 3.1 Primer vuelo de los hermanos Wright, 1903. Kitty Hawk, Carolina del Norte, Estados Unidos  
Fuente: Library of Congress. Wright's Start - Sept. 29, 1909
- Fig. 3.2 Dibujo periodístico  
Piloto de avioneta pregunta una localización a un pasajero de automóvil  
Fuente:<https://www.nonstopsystems.com/radio/hellschreiber-modes-other-hell-RadNav.htm>
- Fig. 3.3 Mapa de las rutas aéreas del servicio postal de correos de Estados Unidos.  
POST OFFICE DEPARTMENT. Agosto de 1928  
Fuente: National Archives Catalog . <https://catalog.archives.gov/id/6857715>
- Fig. 3.4 Fotografía Primer vuelo de oeste a este de Estados Unidos para el servicio postal.  
Omaha, 2 de julio de 1924  
Fuente: National Postal Museum,.[https://postalmuseum.si.edu/object/npm\\_A.2006-8](https://postalmuseum.si.edu/object/npm_A.2006-8)



- Fig. 3.5 Dibujos y fotografía de aerofaros del U.S. Postal.Department.  
Fuente: Tom Charpentier, <https://inspire.eaa.org/2019/10/17/how-we-found-our-way/>
- Fig. 3.6 Aerofaro recuperado y rehabilitado en el Aeropuerto de Fuerteventura.  
Fuente: AENA. Foto-noticia 25-11-2019
- Fig. 3.7 Dibujo de brújula magnética para orientación respecto al Norte y Sur magnéticos terrestres
- Fig. 3.8 Ruta por tramos de rumbo constante.  
Fuente: AENA, “Descubrir la navegación aérea”. Francisco J. Sáez Nieto, Yolanda Portillo Pérez
- Fig. 3.9 Teniente James H. Doolittle primer piloto que voló guiado por instrumentos. 1929  
Fuente: Federal Aviation Administration FAA . <https://www.faa.gov>
- Fig. 3.10 Torre de control del aeropuerto de Cleveland en 1930  
Fuente: Federal Aviation Administration FAA . <https://www.faa.gov>
- Fig. 3.11 Primeras operaciones de control de tráfico aéreo del Gobierno Federal. 1936  
Fuente: Federal Aviation Administration FAA . <https://www.faa.gov>
- Fig. 3.12 Primeros ensayos de ayudas a la navegación aérea en la estación experimental de CAA. Indianápolis, 1939  
Fuente: Federal Aviation Administration FAA . <https://www.faa.gov>
- Fig. 3.13 Torre de control del aeropuerto de Nueva York para control de tráfico comercial. 1947.  
Fuente: Federal Aviation Administration FAA . <https://www.faa.gov>
- Fig. 3.14 Control federal de la torre de control del aeropuerto.  
Fuente: Federal Aviation Administration FAA . <https://www.faa.gov>
- Fig. 3.15 Antena VOR  
Fuente: <https://www.pasionporvolar.com/>
- Fig. 3.16 HSI Horizontal Situation Indicator. Indicador de desviación de curso
- Fig. 3.17 Antena VOR. Desfase entre radiales.  
Fuente: <https://www.studyaircrafts.com/vor>
- Fig. 3.18 Fotografía estación DME.  
Fuente: Federal Aviation Administration FAA. <https://www.faa.gov>
- Fig. 3.19 Dibujo aeronave con DME calculando la distancia al DME  
Fuente: Federal Aviation Administration FAA. <https://www.faa.gov>
- Fig. 3.20 Dibujo NDB-ADF system operation  
Fuente: Oleg Nicolaevich Skrypnik , Radio Navigation Systems for Airports and Airways. Springer Aerospace Technology.
- Fig. 3.21 Dibujo ADF receiver  
Fuente. <https://www.cfinotebook.net/notebook/avionics-and-instruments/non-directional-radio-beacon>
- Fig. 3.22 Dibujo Aeronave con ADF .  
Fuente: Aerospace Engineering Desk Reference
- Fig. 3.23 Fotografía estación NDB  
Fuente: <https://www.aeroexpo.online/es/prod/intelcan/product-171084-6828.html>
- Fig. 3.24 Dibujo Indicador ILS.  
Fuente: Facilitación de Operaciones Aeronáuticas y Aeroportuarias. AENA SME S.A.

- Fig. 3.25 Dibujo senda de planeo del ILS  
Fuente: Nota de prensa AENA. Aeropuerto de Zaragoza Aterrizaje Instrumental ILS
- Fig. 3.26 Esquema DME, ILS, LOC  
[https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ato/service\\_units/techops/navservices/gbng/ils](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gbng/ils)
- Fig. 3.27 Dibujo aproximación MLS  
Fuente: <https://navigationandguidance6241.blogspot.com/2015/11/v-behaviorurldefaultvml.html>
- Fig. 3.28 Dibujos Altímetro de tres punteros y Altímetro tipo tambor  
Fuente: Instrument Flying Handbook FAA-H-8083-15A. U.S. Federal Aviation Administration
- Fig. 3.29 Dibujo: Componentes del altímetro.  
Fuente: Manual del piloto de conocimientos aeronáuticos. FAA-H-8083-25
- Fig. 3.30 Publicación de NASA U.S. Standard Atmosphere, 1962.  
Gráfica de la variación de temperatura de la atmósfera con la altitud
- Fig. 3.31 Atmósfera ISA. Gráfica variación de presión y densidad de la atmósfera con la altitud  
Fuente: NASA U.S. Standard Atmosphere, 1962.
- Fig. 3.32 Dibujo capa de transición. Niveles de vuelo encima, altitudes debajo  
Fuente: Facilitación de Operaciones Aeronáuticas y Aeroportuarias AENA SME S.A.
- Fig. 3.33 Dibujo Altitud, Altura, y Elevación.  
Fuente: Facilitación de Operaciones Aeronáuticas y Aeroportuarias AENA SME S.A.
- Fig. 3.34 Dibujo ajuste del altímetro por variación de densidad y presión en la atmósfera  
Fuente: Instrument Flying Handbook. FAA-H-8033-15B
- Fig. 4.1 Mapa de España año 1952. Espacio aéreo y sus Regiones, Áreas y Zonas  
Fuente: <https://www.sociedad aeronautica.org>
- Fig. 4.2 Gráfico año 1965. Estructura del espacio aéreo de España  
Fuente: Decreto 3063/1965
- Fig. 4.3 Mapa de España 1965. Espacio aéreo, Regiones, Áreas, Zonas.  
Fuente: Decreto 3063/1965
- Fig. 4.4 Mapa de España año 1965. Región Superior de Información de Vuelo.  
Fuente: Decreto 3063/1965
- Fig. 4.5 Regiones a nivel mundial de Navegación aérea OACI  
Fuente. AENA. Facilitación de Operaciones Aeronáuticas y Aeroportuarias
- Fig. 4.6 Dibujo de intersección de varios tipos de espacios aéreos controlados.  
Fuente: AENA. Curso Básico de Operaciones Aeronáuticas
- Fig. 4.7 Simulación de aerovía con tránsito de aeronaves  
Fuente: AENA
- Fig. 4.8 Dibujo de intersección de varios tipos de espacios aéreos controlados, aerovía, con TMA, y TMA con CTR.  
Fuente: <https://notech.franceserv.com/aerodromes-et-espaces-aeriens.html>
- Fig. 4.9 Dibujo de intersección de varios tipos de espacios aéreos controlados, aerovía, con TMA, y TMA con CTR.  
Fuente: <https://aviationbinet.wordpress.com/2016/09/04/espaces-aeriens>
- Fig. 4.10 Dibujo de aviones volando fuera del espacio controlado en visual VFR  
Fuente: <https://notech.franceserv.com/aerodromes-et-espaces-aeriens.html>

- Fig. 4.11 Cartografía digital aeronáutica. TMA de Valencia, color azul cyan  
Fuente: <https://insignia.enaire.es/>
- Fig. 4.12 Cartografía digital aeronáutica. CTR de Valencia, color azul cyan  
Fuente: <https://insignia.enaire.es/>
- Fig. 4.13 Cartografía digital aeronáutica. ATZ de Valencia, color azul cyan  
Fuente: <https://insignia.enaire.es/>
- Fig. 4.14 Carta de aeronavegación En ruta, ENR\_Peninsula\_Inferior, Sector Este. Valencia  
Fuente: <https://aip.enaire.es/AIP/>
- Fig. 4.15 Carta salida normalizada de vuelo por instrumentos SID, de Valencia. RWY12  
Fuente: <https://aip.enaire.es/AIP/>
- Fig. 4.16 Carta de llegada normalizada de vuelo por instrumentos STAR, de Valencia. RWY12  
Fuente: <https://aip.enaire.es/AIP/>
- Fig. 4.17 Dibujo de ruta, con la trayectoria formada por waypoints  
Fuente: Apuntes asignatura. Transporte, Navegación y Circulación Aérea. ETSID-UPV
- Fig. 4.18 Fases del plan de vuelo  
Fuente: EUROCONTROL. Plan maestro ATM europeo. Resumen ejecutivo. 2015
- Fig. 5.1 Mapa de las regiones de vuelo de Europa. FIR/UIR espacio aéreo  
Fuente: EUROCONTROL.
- Fig. 5.2 Logo SESAR
- Fig. 5.3 Logo ASTERIX  
Fuente: EUROCONTROL Specification for Surveillance Data Exchange ASTERIX part 12 Category 21 ADS-B Target Reports
- Fig. 5.4 Imagen de la estructura de datos en ASTERIX  
Fuente: EUROCONTROL Specification for Surveillance Data Exchange ASTERIX part 12 Category 21 ADS-B Target Reports
- Fig. 6.1 Diagrama de bloques de un sistema vía radio, con emisión y recepción  
Fuente: Apuntes asignatura. Sistemas de Comunicaciones. ETSIT-UPV
- Fig. 6.2 Esquema de una antena emitiendo el campo electromagnético  
Fuente: Apuntes asignatura. Sistemas de Comunicaciones. ETSIT-UPV
- Fig. 6.3 Modelo de patrón de radiación esférico de una antena isotrópica  
Fuente: Apuntes asignatura. Sistemas de Comunicaciones. ETSIT-UPV
- Fig. 6.4 Modelo de patrón de radiación de una antena omnidireccional  
Fuente: Apuntes asignatura. Sistemas de Comunicaciones. ETSIT-UPV
- Fig. 6.5 Modelo de patrón de radiación en forma de lóbulo de una antena omnidireccional  
Fuente: Apuntes asignatura. Sistemas de Comunicaciones. ETSIT-UPV
- Fig. 6.6 Modelo atenuación de una onda electromagnética  
Fuente: Apuntes asignatura. Sistemas de Comunicaciones. ETSIT-UPV
- Fig. 6.7 Dibujo ruido térmico de un equipo de radio  
Fuente: Apuntes asignatura. Sistemas de Comunicaciones. ETSIT-UPV
- Fig. 6.8 Esquema señal electromagnética deformada por ruido  
Fuente: Apuntes asignatura. Sistemas de Comunicaciones. ETSIT-UPV
- Fig. 6.9 Esquema modulación señal digital  
Fuente: Apuntes asignatura. Sistemas de Comunicaciones. ETSIT-UPV

- Fig. 7.1 Imagen web de acrónimos de EUROCONTROL  
Fuente: <https://www.eurocontrol.int/airial/definitionList.do?skipLogon=true>
- Fig. 7.2 Estructura de la cadena de vigilancia en la SPM Tool, Surveillance Performance Monitoring  
Fuente: SESAR - Contextual Note for Surveillance Performance Monitoring (SPM) Tools for Cooperative Systems (ADS-B, WAM, MLAT) (TRL6) - 18 November 2022
- Fig. 7.3 Radar Primario de Vigilancia. Fuente: Indra.
- Fig. 7.4 Principio de funcionamiento del deflector del radar.  
Fuente: Handbook of Microwave and Radar Engineering
- Fig. 7.5 Radar primario, pulso emitido y eco en pantalla.  
Fuente: Video: US War Department. Radar. Technical principles
- Fig. 7.6 Mapa de cobertura de radar primario PSR en España. ENAIRE
- Fig. 7.7 Radar secundario. Fuente Indra
- Fig. 7.8 Radar secundario montado en conjunto con el radar primario. Fuente Indra
- Fig. 7.9 Air Traffic Control Radar Beacon System (ATCRBS). Fuente Lincoln Laboratory. MIT.
- Fig. 7.10 Técnica de supresión de lóbulos laterales. Fuente: Lincoln Laboratory. MIT.
- Fig. 7.11 Técnica de ventanas deslizantes midiendo el azimut. Fuente: Lincoln Laboratory. MIT
- Fig. 7.12 Técnica monopulso midiendo el azimut. Fuente: Lincoln Laboratory. MIT
- Fig. 7.13 Garbling o solapamiento de respuestas de transpondedores distintos.  
Fuente: Lincoln Laboratory. MIT
- Fig. 7.14 Respuestas ordenadas sin solapamiento. Fuente: Lincoln Laboratory. MIT
- Fig. 7.15 Degarbling por monopulso. Fuente: Lincoln Laboratory. MIT
- Fig. 7.16 Modo S, interrogación all call. Fuente: Lincoln Laboratory. MIT.
- Fig. 7.17 Modo S, interrogación. Fuente: Lincoln Laboratory. MIT
- Fig. 7.18 Modo S, respuesta. Fuente: Lincoln Laboratory. MIT
- Fig. 7.19 Transpondedor, antena y unidad de control.  
Fuente: What is a transponder?, Rockwell International
- Fig. 7.20 Esquema de proceso del radar primario y secundario.  
Fuente: What is a transponder?, Rockwell International
- Fig. 7.21 Radar primario detectando aeronaves con el eco radar. Fuente: Thales
- Fig. 7.22 Radar secundario interrogando y recibiendo respuesta de las aeronaves. Fuente: Thales
- Fig. 7.23 Mapa de cobertura de radar secundario SSR en España
- Fig. 7.24 Mapa de cobertura de Vigilancia Dependiente Automática - Radiodifusión ( ADS-B ) en España. ENAIRE
- Fig. 7.25 Antenas del sistema de multilateración recibiendo respuesta de las aeronaves. Fuente: Thales
- Fig. 7.26 Sistema de Multilateración . Fuente: Cobham
- Fig. 7.27 Multilateración. Cálculo del hiperboloide. Apuntes UPV Master MUSIT. Posicionamiento
- Fig. 7.28 Catálogo equipos de Multilateración. EASAT
- Fig. 8.1 Dibujo 5 NM separation en Route  
Fuente: [https://www.linkedin.com/posts/aerovisionary\\_aerovisionary-airtrafficcontrol-atc-activity-7341730510928289794-Bcd\\_](https://www.linkedin.com/posts/aerovisionary_aerovisionary-airtrafficcontrol-atc-activity-7341730510928289794-Bcd_)



- Fig. 8.2 Dibujo separación en diagonal entre aeronaves sucesivas en aproximación a pistas paralelas.  
Fuente: <https://www.airresearch.com/Pilots/AIM-08/Chap5/aim0504.html>
- Fig. 8.3 Figura 4-26 C. Separación diagonal para una distancia entre ejes mayor que 2.529 m  
Fuente: RD 426/2021
- Fig. 8.4 Figura 2-9. Lado superior/Lado inferior para operaciones de aproximación dependiente Modo 2  
Fuente: Doc. 9643 de OACI.
- Fig. 8.5 Portada  
Fuente: Documento AMC 20-24 de EASA de Certificación ADS-B, 1090 MHz de Extended Squitter
- Fig. 8.6 Portada  
Fuente: Documento CS-ACNS de EASA de Certificación de sistemas de vigilancia
- Fig. 8.7 Esquema de funcionamiento del sistema ADS-B  
Fuente: Documento EUROCAE, ED-129B. marzo 2016
- Fig. 8.8 Stub Antenna ADS-B. Modelo CI 101 Transponder  
Fuente: Fabricante Comant Industries
- Fig. 8.9 Logo marca Comant  
Fuente: Fabricante Comant Industries
- Fig. 8.10 Logo Thales Group
- Fig. 8.11 Diagrama ejemplo de arquitectura de un sistema ADS-B  
Fuente: Documento EUROCAE, ED-129B. marzo 2016
- Fig. 8.12 Volumen de cobertura de un sistema ADS-B  
Fuente: Documento EUROCAE, ED-129B. marzo 2016
- Fig. 8.13 Modos del sistema ADS-B  
Fuente: Documento EUROCAE, ED-129B. marzo 2016
- Fig. 8.14 Logo de AVIONIX ENGINEERING
- Fig. 8.15 Pantalla del software TrafficSim2000  
Fuente: AVIONIX ENGINEERING
- Fig. 8.16 Pantalla del software AVIONIX ASTERIX Inspector  
Fuente: AVIONIX ENGINEERING
- Fig. 8.17 Ampliación pantalla del software AVIONIX ASTERIX Inspector  
Fuente: AVIONIX ENGINEERING
- Fig. 8.18 Ampliación pantalla del software AVIONIX ASTERIX Inspector  
Fuente: AVIONIX ENGINEERING
- Fig. 8.19 Esquema del flujo de datos de la correlación cruzada  
Fuente: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-05/surveillance-report-wide-area-multilateration-200508.pdf>
- Fig. 8.20 Modelo de sistema de multilateración. Un transpondedor en avión y varios receptores  
Fuente: <https://www.zhaw.ch/en/engineering/institutes-centres/isc/reference-projects/translate-to-english-flugzeug-multilateration-mlat>
- Fig. 8.21 Multilateración. Determinación del punto por cruce de 3 planos hiperbólicos  
Fuente: <https://masters.donntu.ru/2014/frt/gontsa/diss/indexe.htm>

- Fig. 8.22 Imagen de intersección de hiperboloides.  
Fuente: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-05/surveillance-report-wide-area-multilateration-200508.pdf>
- Fig. 8.23 Diagrama transmisión datos de vigilancia de los sensores al sistema ATM  
Fuente: Documento EUROCAE, ED-129B. marzo 2016
- Fig. 8.24 Dibujo de objetivos de posicionamiento incumplidos  
Fuente: Documento EUROCAE, ED-129B. marzo 2016
- Fig. 9.1 Modelo de señal a emitir con la información.  
Hardware Implementation of Small-Sized MODE-S Signal Receivers. Vasily Meltsov
- Fig. 9.2 Comparación de la señal emitida con la recibida.  
Hardware Implementation of Small-Sized MODE-S Signal Receivers Vasily Meltsov
- Fig. 9.3 Estructura del mensaje con errores  
Hardware Implementation of Small-Sized MODE-S Signal Receivers Vasily Meltsov
- Fig. 9.4 Proceso de crc . Fuente. Autor TFM
- Fig. 10.1 Diagrama de funcionamiento MST MultiSensorTracker  
Fuente: in-innovative navigation GmbH
- Fig. 10.2 Diagrama de servicios ADS-B para buques
- Fig. 10.3 Fuente: Cambridge Pixel Ltd
- Fig. 10.4 Servicios de tracking para buques, helicópteros, y combinados  
Fuente: JLB Maritime
- Fig. 10.5 Aplicación SITE de SYSTEMATIC para torres de generación eólica en el mar  
Fuente: <https://systematic.com/int/industries/renewables-utilities/offshore-wind/site/site-application-modules/>
- Fig. 10.6 Dibujo de torre eólica  
Fuente: EUROCONTROL "Guidelines for Assessing the Potential Impact of Wind Turbines on Surveillance Sensors" de 2014
- Fig. 10.7 Diagrama descripción de concepto operativo de alto nivel  
Fuente: EUROCONTROL, "Satellite-Based ADS-B for Lower Separation Minima Application Multi-Source Study Report ", 2017
- Fig. 10.8 Dibujo posicionamiento de trenes mediante satélite  
Fuente: Sistema Bayesiano de Localización de Trenes Basado en Medidas GNSS y Sensores Inerciales. Omar García Crespillo

## Lista de TABLAS

- Tabla 7.1 Acrónimos de ADS-B y su significado obtenido en la web de acrónimos de EUROCONTROL
- Tabla 8.1 Resumen de tecnología de sensores de vigilancia  
Fuente: “Air Traffic Management, A guide to Global Surveillance”, Thales Air Systems
- Tabla 8.2 Tabla 20. Distancias de separación entre aeronaves, 5 NM y 3 NM  
Fuente: Doc. CS-ACNS de EASA.
- Tabla 8.3 Características del tipo de sector ATC  
Fuente: Documento EUROCAE, ED-129B. marzo 2016
- Tabla 8.4 Movimientos anuales aeronaves / tipo de sector  
Fuente: Documento EUROCAE, ED-129B. marzo 2016
- Tabla 8.5 Tabla PU de los respectivos intervalos de actualización  
Fuente: Documento EUROCAE, ED-129B. marzo 2016
- Tabla 8.6 Tabla PLG para los respectivos intervalos de actualización  
Fuente: Documento EUROCAE, ED-129B. marzo 2016
- Tabla 8.7 Tabla Requisitos de retardo de inicio de vía.  
Fuente: Documento EUROCAE, ED-129B. marzo 2016
- Tabla 8.8 Número de páginas de los Capítulos y Apéndices de ED-129B y ED-129C  
Autor TFM: Javier Sanchis Marco
- Tabla 8.9 Número de páginas totales analizadas de ED-129B y ED-129C  
Autor TFM: Javier Sanchis Marco
- Tabla 8.10 Cuadro de datos Target 6  
Fuente: Documento EUROCAE, ED-129B. marzo 2016
- Tabla 8.11 Tipos de separación en espacio aéreo  
Fuente: Documento EUROCAE, ED-129B. marzo 2016
- Tabla 10.1 Tabla de rutas de datos ADS-B

## Bibliografía

- 1 Documento EUROCAE, ED-129B, año 2016:  
Technical Specification for a 1090 MHz Extended Squitter ADS-B Ground System
- 2 Documento EUROCAE, ED-129C , año 2023  
Technical Specification for a 1090 MHz Extended Squitter ADS-B Surveillance System
- 3 Documento EUROCAE, ED-142, año 2010  
Technical Specification for Wide Area Multilateration (WAM) Systems
- 4 Guía de la vigilancia global. Thales Air Systems
- 5 Japan Radio Co. , Ltd.. <https://www.jrc.co.jp/eng/>
- 6 OACI, Organización de la Aviación Civil Internacional .web
- 7 EASA. European Union Aviation Safety Agency . web
- 8 EUROCONTROL. European Organisation for the Safety of Air Navigation . web
- 9 EUROCONTROL History Book. 2010
- 10 EUROCAE. European Organisation for Civil Aviation Equipment. web
- 11 Instituto ITACA. Univeridad Politècnica de Valencia. web
- 12 AESA. Agencia Estatal de Seguridad Aérea. web
- 13 AENA. Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea. web
- 14 ENAIRE Entidad Pública Empresarial. web
- 15 FAA. Federal Aviation Administration. web
- 16 RTCA. Radio Technical Commission for Aeronautics
- 17 Library of Congress. Wright's Start - Sept. 29, 1909
- 18 <https://www.nonstopsystems.com/radio/hellschreiber-modes-other-hell-RadNav.htm>
- 19 POST OFFICE DEPARTMENT 1928. National Archives Catalog .  
<https://catalog.archives.gov/id/6857715>
- 20 Foto. National Postal Museum,.[https://postalmuseum.si.edu/object/npm\\_A.2006-8](https://postalmuseum.si.edu/object/npm_A.2006-8)
- 21 U.S. Postal.Department.  
Tom Charpentier , <https://inspire.eaa.org/2019/10/17/how-we-found-our-way/>
- 22 AENA . Fotonoticia 25-11-2019
- 23 AENA, “Descubrir la navegación aérea “. Francisco J. Sáez Nieto, Yolanda Portillo Pérez
- 24 Federal Aviation Administration FAA . <https://www.faa.gov>
- 25 BOE nº 141, de 13 de junio de 2012 .  
Circular aeronáutica 1/2012, de 23 de mayo, de la Dirección General de Aviación Civil, por la que se modifica el anexo III del Real Decreto 931/2010, de 23 de julio, por el que se regula el procedimiento de certificación de proveedores civiles de servicios de navegación aérea y su control normativo.
- 26 <https://www.pasionporvolar.com/>
- 27 <https://www.studyaircrafts.com/vor>
- 28 Oleg Nicolaevich Skrypnik , Radio Navigation Systems for Airports and Airways.  
Springer Aerospace Technology.
- 29 <https://www.cfinotebook.net/notebook/avionics-and-instruments/non-directional-radio-beacon>
- 30 Aerospace Engineering Desk Reference



- 31 <https://www.aeroexpo.online/es/prod/intelcan/product-171084-6828.html>
- 32 Facilitación de Operaciones Aeronáuticas y Aeroportuarias. AENA SME S.A
- 33 AENA. Nota de prensa Aeropuerto de Zaragoza Aterrizaje Instrumental ILS
- 34 [https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ato/service\\_units/techops/navservices/gbng/ils](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gbng/ils)
- 35 <https://navigationandguidance6241.blogspot.com/2015/11/v-behaviorurldefaultvmlo.html>
- 36 Instrument Flying Handbook FAA-H-8083-15A. U.S. Federal Aviation Administration
- 37 Manual del piloto de conocimientos aeronáuticos. FAA-H-8083-25
- 38 NASA. U.S. Standard Atmosphere, 1962
- 39 Facilitación de Operaciones Aeronáuticas y Aeroportuarias AENA SME S.A.
- 40 Instrument Flying Handbook. FAA-H-8033-15B
- 41 <https://www.sociedad aeronautica.org>
- 42 BOE nº 255 de 25-10-1965.  
Decreto 3063/1965, de 16 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Aérea.
- 43 AENA. Curso Básico de Operaciones Aeronáuticas
- 44 <https://notech.franceserv.com/aerodromes-et-espaces-aeriens.html>
- 45 <https://aviationbinet.wordpress.com/2016/09/04/espaces-aeriens>
- 46 <https://notech.franceserv.com/aerodromes-et-espaces-aeriens.html>
- 47 <https://aip.enaire.es/AIP/AIP-es.html>
- 48 <https://insignia.enaire.es>
- 49 BOE nº 17 de 19-01-2002  
Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Aérea.
- 50 OACI. Doc. 4444 Gestión del Tránsito Aéreo
- 51 DOUE nº L281 de 1310-2012  
REGLAMENTO DE EJECUCIÓN (UE) nº 923/2012 DE LA COMISIÓN de 26 de septiembre de 2012 por el que se establecen el reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea, y por el que se modifican el Reglamento de Ejecución (UE) nº 1035/2011 y los Reglamentos (CE) nº 1265/2007, (CE) nº 1794/2006, (CE) nº 730/2006, (CE) nº 1033/2006 y (UE) nº 255/2010
- 52 EUROCONTROL. Plan maestro ATM europeo. Resumen ejecutivo. 2015
- 53 DOUE nº 96 de 31-03-2004  
REGLAMENTO (CE) No 551/2004 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 10 de marzo de 2004 relativo a la organización y utilización del espacio aéreo en el cielo único europeo
- 54 EUROCONTROL Specification for Surveillance Data Exchange ASTERIX Part 12 Category 21 ADS-B Target Reports
- 55 Apuntes asignatura. Sistemas de Comunicaciones. ETSIT-UPV
- 56 <https://www.eurocontrol.int/airial/definitionList.do?skipLogon=true>

- 57 Doue Nº 305 DE 23-11-2011.  
Reglamento de Ejecución UE nº 1207/2011 de la Comisión de 22 de noviembre de 2011 por el que se establecen los requisitos de rendimiento e interoperabilidad de la vigilancia del cielo único europeo.
- 58 SESAR - Contextual Note for Surveillance Performance Monitoring (SPM) Tools for Cooperative Systems (ADS-B, WAM, MLAT) (TRL6) - 18 November 2022
- 59 Secondary surveillance radar. Stevens, Michael C. Artech House, Inc. 1988
- 60 Indra
- 61 Handbook of Microwave and Radar Engineering
- 62 Video: US War Department. Radar. Technical principles. 1946
- 63 <https://www.indracompany.com/es/indra-air-surveillance>
- 64 The Mode S Beacon Radar System. V.A. Orlando.  
The Lincoln Laboratory Journal. Volume 2. Number 3. ( 1989 )
- 65 What is a transponder?. Rockwell International
- 66 Global ATM Modernization and Test Equipment. COBHAM. 2015
- 67 Multilateración. Apuntes Posicionamiento UPV Master MUSIT.
- 68 EASAT RADAR SYSTEMS. M-LAT MULTILATERATION RADAR SYSTEM
- 69 Documento de Eurocontrol SPEC-0147, Specification for ATM Surveillance System Performance (Volume 1)
- 70 BOE nº 14 de 16-06-2021  
Real Decreto 426/2021, de 15 de junio, por el que se modifican el Reglamento de Circulación Aérea, aprobado por el Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, y el Real Decreto 1180/2018, de 21 de septiembre, por el que se desarrolla el Reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea; para actualizar la aproximación en pistas paralelas y las separaciones mínimas en las salidas y llegadas de los vuelos en los aeropuertos.
- 71 OACI. Doc 9643 Manual de operaciones simultáneas en pistas de vuelo por instrumentos paralelas o casi paralelas (SOIR) Segunda edición, 2020
- 72 EASA. AMC 20-24 Certification Considerations for the Enhanced ATS in Non-Radar Areas using ADS-B Surveillance (ADS-B-NRA) Application via 1090 MHZ Extended Squitter.
- 73 Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Airborne Communications, Navigation and Surveillance (CS-ACNS). Issue 3. 31 May 20211
- 74 Cobham Industries. Stub Antenna ADS-B Model CI 101 Transponder
- 75 <https://avionix.eu/solutions/>
- 76 EUROCONTROL. NLR-CR-2004-472. Wide Area Multilateration Wide Area Multilateration. Report on EATMP TRS 131/04 Version 1.1
- 77 <https://www.zhaw.ch/en/engineering/institutes-centres/isc/reference-projects/translate-to-english-flugzeug-multilateration-mlat>
- 78 Multilateración.Determinación del punto por cruce de 3 planos hiperbólicos  
<https://masters.donntu.ru/2014/frt/gontsa/diss/indexe.htm>
- 79 Hardware Implementation of Small-Sized MODE-S Signal Receivers  
Vasily Meltsov1[0000-0001-5479-9979], Alexey Lapitsky1[0000-0003-2325-4989],  
and Nikolay Mustafin2[[0000-0001-5986-7221]]
- 80 in-innovative navigation GmbH. MST (MultiSensorTracker)

- 
- 81 Cambridge Pixel Ltd . <https://cambridgepixel.com/>
  - 82 <https://jlbmaritime.com/ais-tracking-ads-b-tracking-nodes-marine-coordination-software>
  - 83 <https://systematic.com/int/industries/renewables-utilities/offshore-wind/site/>
  - 84 EUROCONTROL “Guidelines for Assessing the Potential Impact of Wind Turbines on Surveillance Sensors” de 2014
  - 85 EUROCONTROL, “Satellite-Based ADS-B for Lower Separation Minima Application Multi-Source Study Report “, 2017
  - 86 Sistema Bayesiano de Localización de Trenes Basado en Medidas GNSS y Sensores Inerciales. Omar García Crespillo