



## Grupo de Nuevas Actividades Profesionales



colegio oficial  
**ingenieros  
de telecomunicación**

<b>SERVICIOS GENERALES (COIT)</b> Almagro 2, 1º izda 28010 Madrid Tel.: 913 911 066 Fax: 913 199 704 www.coit.es coit@coit.es	<b>CATALUNYA (COETC)</b> Valencia 84, Local 1ºbis 08015 Barcelona Tel.: 932 292 003 Fax: 932 292 042 www.telecos.cat info@coetc.org	<b>COMUNIDAD VALENCIANA (COITCV)</b> Avda. Jacinto Benavente 12, 1B 46005 Valencia Tel.: 963 509 494 Fax: 963 950 382 www.coitcv.org coitcv@coitcv.org	<b>GALICIA (COETG)</b> Federico Tapia 17 Bis, Entrepantia Local 4 15005 A Coruña Tel.: 981 919 300 Fax: 981 919 301 www.aetg.org administracion.coetg@coit.es	<b>ANDALUCÍA ORIENTAL Y MELILLA (COIT-AORM)</b> Córdoba 6, Oficina 308 29001 Málaga Tel.: 952 225 538 Fax: 952 220 393 www.coit-aorm.org coit-aorm@coit.es
---	---	--	---	--

<b>ANDALUCÍA OCCIDENTAL Y CEUTA</b> Pza. del Duque de la Victoria 1, Planta 3ª 41002 Sevilla Tel.: 954 561 601 Fax: 954 217 821 www.coitaoc.org secretaria@coitaoc.org	<b>PAÍS VASCO</b> C/ Lertsundi, 9 2º, Departamento 4. 48009-Bilbao Tel.: 944 053 169 Fax: 944 414 041 www.aitpv.com info@aitpv.com	<b>REGIÓN DE MURCIA (COITERM)</b> Manresa 1, 9º A 30004 Murcia Tel.: 968 222 307 Fax: 968 222 239 www.coiterm.org coiterm@coiterm.org	<b>CANARIAS</b> Tenerife: C/ El Pilar 30, Entresuelo Oficina 3 38002 - Santa Cruz de Tenerife Tel./ Fax: 902 107 137 www.acit-canarias.org acit@iies.es	<b>ARAGÓN</b> Paseo de la Independencia, 22 7ª Planta. Oficina 4 50004 Zaragoza Tel.: 976 482 097 www.aitar.org dtcoitar@coit.es
--	--	---	---	--

Elementos Técnicos para la Gestión de Frecuencias en Espacios Complejos: ENTORNOS AERONÁUTICOS

# Elementos Técnicos para la gestión de frecuencias en espacios complejos: ENTORNOS AERONÁUTICOS

## Grupo de Nuevas Actividades Profesionales



colegio oficial  
**ingenieros  
de telecomunicación**

COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN

# **Elementos Técnicos para la Gestión de Frecuencias en Espacios Complejos: Entornos Aeronáuticos**

**Colegio Oficial de Ingenieros de  
Telecomunicación**

**Grupo de Nuevas Actividades Profesionales**



colegio oficial  
**ingenieros**  
**de telecomunicación**



colegio oficial  
**ingenieros**  
**de telecomunicación**

Edita: COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN

C/ Almagro, 2. 28010 Madrid

<http://www.coit.es>

Depósito legal: M-47723-2009

ISBN: 978-84-936910-0-4

Fotocomposición: Inforama, S.A.

C/ Príncipe de Vergara, 210. 28002 Madrid

Impresión: Ibergraphi 2002, S.L.L

C/ Mar Tirreno, 7bis. 28830 San Fernando de Henares (Madrid)

### **Grupo de Nuevas Actividades Profesionales del COIT (Grupo NAP):**

La razón primera de existencia de un Colegio Profesional es el interés social de la actividad que le caracteriza y a la que se debe. Para ordenar la profesión dispone de las competencias legales necesarias y para defender ese interés público cuenta con el inmejorable activo de unos profesionales formados especialmente para ello, a los que el Colegio agrupa y representa.

Pero es tal el dinamismo de nuestro sector que los campos de actividad que constituyen nuestro ejercicio profesional se incrementan o se modifican cada día, de ahí que en el año 2003, de acuerdo con los fines colegiales, considerásemos conveniente crear un Grupo de trabajo que se ocupase de detectar las nuevas actividades que van surgiendo, de analizarlas, de evaluar su impacto y, en su caso, de promoverlas. Así nació el Grupo de Nuevas Actividades Profesionales (NAP).

Una resultante de esa misión del Grupo es detectar y proponer, en su caso, la conveniencia o la obligatoriedad de contar con la redacción de un proyecto técnico de telecomunicaciones en estas nuevas áreas, ya sea por su grado de complejidad, porque soporten servicio de telecomunicación de uso público, porque deban quedar garantizados unos requisitos mínimos de calidad y de seguridad, o bien porque se deba hacer un uso eficaz y eficiente de ciertos recursos públicos limitados en un régimen de mercado plenamente liberalizado.

La elaboración de dichos proyectos y la implantación de las nuevas aplicaciones surgidas de este grupo es tarea del colectivo en general y de los ingenieros que ejercen la profesión de manera profesional en particular. Por este motivo, el Colegio ha emprendido una reorganización de los grupos de trabajo y así poder canalizar más rápida y eficientemente los resultados obtenidos en el grupo NAP al colectivo profesional. De esta forma, se ha definido el ámbito de actividad del "Ejercicio Profesional" dependiendo directamente del vicedecano del COIT y que engloba actualmente dos grupos de trabajo: el grupo NAP (integrado por expertos contrastados en diferentes disciplinas de nuestro ámbito de actuación) y el grupo del ejercicio libre de la profesión (ELP) que aglutina e integra a todos los ingenieros de telecomunicación que lideran empresas o gabinetes de ingeniería junto con los libreejercientes tradicionales. Así, se define un espacio de estrecha colaboración entre ambos grupos de manera que el ELP rentabilice el esfuerzo del NAP y que el NAP recoja las inquietudes y experiencias profesionales de ELP.

Los resultados preliminares de esta nueva estructura de trabajo están siendo altamente satisfactorios optimizando las sinergias de ambos grupos. Cabe destacar también, que los dos grupos se encuentran liderados por compañeros con una exitosa trayectoria profesional que aportan la

experiencia y el conocimiento necesarios para garantizar el éxito de ambas iniciativas. Con esta nueva organización, esperamos que, en un futuro próximo, surjan nuevas actividades de la ingeniería de telecomunicación para nuestra sociedad donde se aprecie el valor que nuestro colectivo aporta en los diferentes ámbitos de nuestro entorno.

El grupo NAP aborda ahora su sexto trabajo, que es el último de una trilogía alrededor de la gestión del espectro radioeléctrico en entornos complejos. Tras abordar el entorno sanitario y el entorno ferroviario, esta última entrega de la citada trilogía se centra en otro entorno particularmente complejo como es el entorno aeronáutico.

Estoy convencido de que la línea de trabajo que desarrolla el Grupo NAP del COIT mantendrá al mismo en un foco de atención preferente para nuestros Ingenieros.

Francisco Mellado García, Decano-Presidente del COIT.

# **NAP**

**Grupo de Nuevas Actividades Profesionales**

**Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación**

**Autor: Grupo NAP**

## Miembros

José Ignacio Alonso Montes  
Francisco Falcone Lanas  
Alfonso Fernández Durán  
Carlos Fernández Valdivielso  
Antonio Lecuona Ribot  
Cayetano Lluch Mesquida  
Francisco Mellado García  
José Fabián Plaza Fernández  
Victoria Ramos González  
Gabriel Sala Pano



# **Elementos Técnicos para la Gestión de Frecuencias en Espacios Complejos: Entornos Aeronáuticos**

**Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación  
Grupo de Nuevas Actividades Profesionales**

**Edición: Victoria Ramos**







## PRESENTACIÓN

El entorno aeronáutico es clave para el sector de las Telecomunicaciones, ya que constituye uno de los sectores que mayor consumo hacen de las tecnologías asociadas a las comunicaciones.

La proliferación en estos entornos de sistemas y servicios que utilizan las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, tanto para aplicaciones críticas para la seguridad como para aquellos servicios de carácter no crítico destinados a los pasajeros, hace que sea necesario llevar a cabo un estudio exhaustivo del despliegue de los sistemas de radiocomunicación empleados, considerando tanto las prestaciones como la naturaleza de las bandas de frecuencias que se utilizan.

Las distintas características técnicas de los servicios involucrados en el funcionamiento de estos entornos aeronáuticos, así como la problemática de la compatibilidad electromagnética, hace que para el despliegue de dichos servicios sea necesario realizar proyectos técnicos que aseguren que estos despliegues se lleven a cabo de forma satisfactoria.

Esto hace que sea necesaria una gestión de frecuencias en estos entornos que contribuya a establecer los parámetros técnicos para el despliegue de las diversas redes de comunicaciones y el equipamiento aeronáutico, y que permita el funcionamiento de éstas con los niveles de calidad adecuados y sin interferencias con otros sistemas.

Por todo ello, el Grupo NAP del COIT pretende, con esta serie de estudios, proporcionar los elementos técnicos necesarios para una gestión del espectro radioeléctrico en determinados sistemas que utilizan bandas de uso común y de uso privativo, evitando así problemas de inoperancia o interferencia en servicios críticos, sobre todo teniendo presente el crecimiento esperable de este tipo de redes.

Bajo el rótulo genérico de "Elementos Técnicos para la Gestión de Frecuencias en Espacios Complejos", finaliza esta trilogía de estudios con el análisis de la situación existente en uno de estos espacios complejos como es el entorno aeronáutico.

Cayetano Lluch Mesquida, Coordinador del Grupo NAP





## **ÍNDICE**

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO 1. UTILIZACIÓN DE LAS TIC EN LOS ENTORNOS AERONÁUTICOS .....</b>	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO 2. COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA EN ENTORNOS AERONÁUTICOS .....</b>	<b>23</b>
2.1. Interferencia, inmunidad y susceptibilidad electromagnética.....	23
2.1.1. Interferencia electromagnética en entornos aeronáuticos .....	24
2.2. Compatibilidad electromagnética (CEM) .....	26
<b>CAPÍTULO 3. PROCESOS DE GESTIÓN DE FRECUENCIAS Y NORMATIVA TÉCNICA APLICABLE A LOS SISTEMAS ESPECÍFICOS DE ENTORNOS AERONÁUTICOS .....</b>	<b>33</b>
3.1. Procesos de gestión de espectro y de gestión de frecuencias aeronáuticas.....	33
3.2. Particularidades de la gestión de frecuencias civiles en entornos aeronáuticos .....	34
3.2.1. Frecuencias de socorro.....	35
3.2.2. Utilización de frecuencias inferiores a 30 MHz .....	36
3.2.3. Utilización de frecuencias superiores a 30 MHz.....	38
3.3. Frecuencias aeronáuticas militares.....	44
3.4. Normativa técnica aplicable a los sistemas específicos de entornos aeronáuticos .....	45
3.4.1. Servicio móvil aeronáutico.....	46
3.4.2. Compañías de transporte aéreo.....	48
3.4.3. Cuadro resumen: notas CNAF .....	48
<b>CAPÍTULO 4. NORMATIVA TÉCNICA APLICABLE A LOS SISTEMAS NO ESPECÍFICOS DE ENTORNOS AERONÁUTICOS .....</b>	<b>49</b>
4.1. GSM 900 – DCS 1800 .....	49
4.2. UMTS .....	50
4.3. TETRA .....	51
4.4. RADIOTELEFONÍA.....	52
4.5. RADAR Y RADIOLOCALIZACIÓN .....	53
4.6. Wi-Fi - WIMAX .....	54
4.7. RFID .....	57
4.8. SATÉLITE .....	57
4.9. CUADRO RESUMEN .....	59



---

<b>CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS Y APLICACIONES DE COMUNICACIONES AERONÁUTICAS: ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS FUTURAS .....</b>	<b>63</b>
5.1. Introducción: Comunicaciones aeronáuticas .....	63
5.2. Comunicaciones aeronáuticas críticas para la seguridad aérea .....	63
5.2.1. Sistemas CNS/ATM.....	64
5.2.2. Comunicaciones de operación y control aeronáutico (AOC) .....	108
5.3. Comunicaciones aeronáuticas no críticas para la seguridad aérea .....	113
5.3.1. Comunicaciones aeronáuticas administrativas (AAC) .....	113
5.3.2. Comunicaciones aeronáuticas para los pasajeros (APC) .....	113
5.4. Sistemas de comunicaciones aeronáuticas militares .....	121
5.4.1. Comunicaciones militares VHF.....	121
5.4.2. Comunicaciones militares UHF .....	121
5.4.3. Comunicaciones militares por satélite .....	124
5.5. Sistemas de comunicaciones propios de la aviación general .....	124
5.6. Sistemas de comunicaciones propios de aeropuertos .....	124
5.6.1. Trámites relacionados con pasajeros .....	125
5.6.2. Gestión de equipajes .....	126
5.6.3. Operaciones aeroportuarias: Gestión de medios .....	126
5.6.4. Seguridad aeroportuaria.....	127
<b>CAPÍTULO 6. RESUMEN .....</b>	<b>129</b>
<b>CAPÍTULO 7. ACTUACIONES Y PROPUESTAS .....</b>	<b>131</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>133</b>
<b>ACRÓNIMOS .....</b>	<b>137</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>144</b>



## **ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

<b>ILUSTRACIÓN 1. BANDA VHF AERONÁUTICA.....</b>	<b>41</b>
<b>ILUSTRACIÓN 2. SISTEMAS AERONÁUTICOS BANDA 960–1215 MHZ [CORTESÍA DE MITRE] .....</b>	<b>43</b>
<b>ILUSTRACIÓN 3. BANDA 5030 – 5150 MHZ .....</b>	<b>44</b>
<b>ILUSTRACIÓN 4. USO DE LA BANDA 68–87,5 MHZ (UN-132).....</b>	<b>47</b>
<b>ILUSTRACIÓN 5. ATN: MODELO CONCEPTUAL SIMPLIFICADO .....</b>	<b>65</b>
<b>ILUSTRACIÓN 6. COMPARATIVA USOS VDL 2,3,4 .....</b>	<b>74</b>
<b>ILUSTRACIÓN 7. AMBIENTE ACTUAL SISTEMAS DE COMUNICACIONES .....</b>	<b>82</b>
<b>ILUSTRACIÓN 8. AMBIENTE FUTURO SISTEMAS DE COMUNICACIONES .....</b>	<b>83</b>
<b>ILUSTRACIÓN 9. SISTEMA ILS .....</b>	<b>86</b>
<b>ILUSTRACIÓN 10. SISTEMA DME .....</b>	<b>88</b>
<b>ILUSTRACIÓN 11. COMPARATIVA DE SISTEMAS DE NAVEGACIÓN EN PROCEDIMIENTOS DE APROXIMACIÓN. ....</b>	<b>95</b>
<b>ILUSTRACIÓN 12. ENTORNO ACTUAL SISTEMAS DE NAVEGACIÓN. ....</b>	<b>97</b>
<b>ILUSTRACIÓN 13. AMBIENTE FUTURO SISTEMAS DE NAVEGACIÓN.....</b>	<b>97</b>
<b>ILUSTRACIÓN 14. FUNCIONAMIENTO ADS-B.....</b>	<b>104</b>
<b>ILUSTRACIÓN 15. FUNCIONAMIENTO ADS-C.....</b>	<b>105</b>
<b>ILUSTRACIÓN 16. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA TACAS II. [CORTESÍA DEL MINISTERIO DE FOMENTO] .....</b>	<b>106</b>
<b>ILUSTRACIÓN 17. AMBIENTE ACTUAL SISTEMAS DE VIGILANCIA .....</b>	<b>107</b>
<b>ILUSTRACIÓN 28. AMBIENTE FUTURO SISTEMAS DE VIGILANCIA .....</b>	<b>107</b>
<b>ILUSTRACIÓN 19. ZONA DE COBERTURA SERVICIO SWIFTBROADBAND [CORTESÍA DE INMARSAT].....</b>	<b>116</b>
<b>ILUSTRACIÓN 20. ZONA DE COBERTURA DEL SERVICIO SWIFT64 [CORTESÍA DE INMARSAT].....</b>	<b>117</b>
<b>ILUSTRACIÓN 21. SISTEMA GSMOBA .....</b>	<b>119</b>
<b>ILUSTRACIÓN 22. ESTRUCTURA FUNCIONAL DEL SISTEMA GSMOBA .....</b>	<b>120</b>
<b>ILUSTRACIÓN 23. CANALIZACIÓN Y BANDAS DE GUARDA JTIDS/MIDS ...</b>	<b>122</b>





## **ÍNDICE DE TABLAS**

<b>TABLA 1. ESTÁNDARES DE COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA:</b>	
<b>TABLA RESUMEN. ....</b>	<b>31</b>
<b>TABLA 2. FRECUENCIAS DE SOCORRO. ....</b>	<b>36</b>
<b>TABLA 3. BANDAS DE FRECUENCIAS SUPERIORES A 30 MHZ ....</b>	<b>38</b>
<b>TABLA 4. ADJUDICACIÓN DE FRECUENCIAS A NIVEL MUNDIAL EN LA BANDA 117,975 – 137 MHZ ....</b>	<b>40</b>
<b>TABLA 5. CANALES DME ....</b>	<b>42</b>
<b>TABLA 6. BANDAS DE FRECUENCIAS SISTEMAS 960 – 1215 MHZ ....</b>	<b>42</b>
<b>TABLA 7. INTERFERENCIAS ENTRE SISTEMAS BANDA 960 – 1215 MHZ ....</b>	<b>43</b>
<b>TABLA 8. BANDAS DE FRECUENCIAS MILITARES ....</b>	<b>45</b>
<b>TABLA 9. CANALES SERVICIO MÓVIL AERONÁUTICO (OR) ....</b>	<b>46</b>
<b>TABLA 10. CANALES SERVICIO MÓVIL AERONÁUTICO UN-102 ....</b>	<b>47</b>
<b>TABLA 11. SERVICIO MÓVIL AERONÁUTICO (R), REGLAMENTO DE RADIOCOMUNICACIONES (UIT) ....</b>	<b>48</b>
<b>TABLA 12. NOTAS DE UTILIZACIÓN CNAF. SISTEMAS ESPECÍFICOS DE ENTORNOS AERONÁUTICOS. ....</b>	<b>48</b>
<b>TABLA 13. BANDAS DE FRECUENCIAS TETRA ....</b>	<b>51</b>
<b>TABLA 14. BANDAS DE FRECUENCIAS PMR-446 ....</b>	<b>52</b>
<b>TABLA 15. BANDAS DE FRECUENCIAS RADAR (UN-53) ....</b>	<b>53</b>
<b>TABLA 16. BANDAS DE FRECUENCIAS ICM (UN-51) ....</b>	<b>55</b>
<b>TABLA 17. CANALES PARA SERVICIO DE RADIONAVEGACIÓN POR SATÉLITE (UN-122) ....</b>	<b>58</b>
<b>TABLA 18. CUADRO RESUMEN NORMATIVA TÉCNICA ENTORNOS AERONÁUTICOS (CNAF) ....</b>	<b>61</b>
<b>TABLA 19. COMUNICACIONES AERONÁUTICAS: CLASIFICACIÓN ....</b>	<b>63</b>
<b>TABLA 20. DOCUMENTACIÓN 8,33 KHZ ....</b>	<b>68</b>
<b>TABLA 21. SISTEMAS DE SOPORTE CNS/ATM EMPLEADOS EN ENTORNOS AERONÁUTICOS ....</b>	<b>69</b>
<b>TABLA 22. FORTALEZAS Y DEBILIDADES DE LOS SISTEMAS ACARS Y VDL .</b>	<b>74</b>
<b>TABLA 23. COMPARATIVA ENTRE VDL 2,3 Y 4 ....</b>	<b>75</b>
<b>TABLA 24. CANALES HFDL ....</b>	<b>76</b>
<b>TABLA 25. RETARDOS DE TRÁNSITO MÁXIMOS ....</b>	<b>79</b>
<b>TABLA 26. TABLA RESUMEN SISTEMAS DE ENLACE DE DATOS ....</b>	<b>80</b>





<b>TABLA 27. CATEGORÍAS ILS .....</b>	<b>83</b>
<b>TABLA 28. PARES DE FRECUENCIAS ILS .....</b>	<b>85</b>
<b>TABLA 29. SISTEMAS DE NAVEGACIÓN .....</b>	<b>96</b>
<b>TABLA 30. MENSAJES UF Y DF .....</b>	<b>100</b>
<b>TABLA 31. FRECUENCIAS GSMOBA DE LA QUE SE DEBE AISLAR LA AERONAVE .....</b>	<b>120</b>
<b>TABLA 32. PRINCIPALES SISTEMAS DE GESTIÓN AEROPORTUARIA .....</b>	<b>125</b>
<b>TABLA 33. SISTEMAS AEROPORTUARIOS .....</b>	<b>128</b>



## **INTRODUCCIÓN**

El presente informe, relativo a la gestión de frecuencias en entornos aeronáuticos, se enmarca dentro de la trilogía de la que también forman parte los libros titulados "*Elementos técnicos para la gestión de frecuencias en espacios complejos: Entornos Sanitarios*" y "*Elementos técnicos para la gestión de frecuencias en espacios complejos: Entornos Ferroviarios*", la cual surgió con la intención de analizar la utilización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en espacios complejos, poniendo sobre la mesa la necesidad de realizar una adecuada planificación y gestión de frecuencias ante el despliegue de una gran cantidad de sistemas de radiocomunicaciones en los mismos.

El objetivo fundamental del presente informe "*Elementos técnicos para la gestión de frecuencias en espacio complejos: Entornos Aeronáuticos*" es poner de manifiesto la problemática del despliegue y la compatibilidad de estos sistemas en unos entornos complejos donde conviven múltiples sistemas de comunicaciones, unos propios del sector, y otros utilizados para la provisión de servicios a los usuarios. Por tanto, no se va a realizar un análisis en profundidad de los aspectos técnicos de las tecnologías radio.

El entorno aeronáutico se caracteriza por la utilización de sistemas de comunicaciones para gran número de servicios fijos, móviles y de soporte a las comunicaciones, coexistiendo múltiples sistemas de comunicaciones vía radio en diferentes bandas de frecuencias.

En primer lugar se presentará una panorámica de la utilización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en los citados entornos, mostrando los diferentes sistemas de comunicaciones empleados en los mismos, tanto los de uso específico como los de uso no específico.

Los sistemas de uso específico serán los empleados para proporcionar servicios móviles aeronáuticos y para dar soporte a las comunicaciones de las compañías de transporte aéreo, siendo imprescindibles para garantizar el buen funcionamiento y la seguridad de las infraestructuras y servicios aeronáuticos.

En cuanto a los sistemas de uso no específico, son aquellos que se utilizan para suministrar otro tipo de servicios, de los que se pueden beneficiar tanto las propias líneas aéreas (mediante tareas auxiliares de gestión) como los usuarios del transporte aéreo, accediendo mediante ellos a redes de voz y datos.

Una vez presentada la panorámica general de los sistemas empleados, se realizará un breve análisis del problema de la compatibilidad electromagnética en entornos aeronáuticos, haciendo un recorrido por las principales fuentes de



interferencia y los principales estándares de compatibilidad electromagnética a cumplir.

Del análisis de la compatibilidad electromagnética se concluye la importancia de llevar a cabo procesos de gestión de frecuencias (tanto para el funcionamiento de los sistemas específicos como no específicos) y de establecer una normativa técnica adecuada a este sector, recogida tanto en el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF), como en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

Finalmente se presenta un análisis de los diferentes sistemas y servicios de comunicaciones aeronáuticas, tanto los que se utilizan actualmente como aquellos que se prevé utilizar en un futuro. Del análisis de estos sistemas y servicios se pone de manifiesto la gran complejidad que entraña homogeneizar a nivel europeo los sistemas de gestión de tráfico aéreo.

Con este recorrido por un espacio tan complejo como es el de los entornos aeronáuticos, se trata de dar una visión global de la problemática asociada al despliegue y coexistencia de múltiples sistemas de comunicaciones vía radio, presentando algunas actuaciones y propuestas a realizar con el fin de establecer los parámetros técnicos necesarios y realizar una gestión eficaz de la implantación de los sistemas de radiocomunicación y su coexistencia.

## **CAPÍTULO 1. UTILIZACIÓN DE LAS TIC EN LOS ENTORNOS AERONÁUTICOS**

Los sistemas de telecomunicaciones proporcionan a la navegación aérea las comunicaciones y radioayudas necesarias para la seguridad, regularidad y eficiencia de la misma. En la actualidad existe la necesidad de mejorar los servicios de comunicaciones aeronáuticos para proporcionar a sus usuarios mayor funcionalidad, flexibilidad, fiabilidad e inmunidad frente a interferencias. La tecnología utilizada en el sector es hoy en día lo suficientemente madura como para estar preparada para un cambio que traiga consigo una nueva generación de sistemas de comunicaciones aeronáuticos, especialmente basada en el uso de servicios móviles e inalámbricos.

En los entornos aeronáuticos, tanto civiles como militares, coexisten multitud de sistemas de telecomunicaciones, basados en comunicaciones vía radio, de diversos tipos y con campos de aplicabilidad muy diferentes. Estos sistemas podrían clasificarse en dos grandes grupos:

### **a) Sistemas específicos de entornos aeronáuticos:**

Estos sistemas funcionan en bandas de frecuencia dedicadas, soportando las comunicaciones, la navegación, la vigilancia y la gestión del tráfico aéreo. Estos sistemas son críticos, ya que son imprescindibles para garantizar el funcionamiento de las redes de transporte aéreo y su seguridad. En el CNAF se fijan las bandas específicas en las que se despliegan estos tipos de servicios, tanto para las comunicaciones móviles aeronáuticas como para otros servicios utilizados por las compañías de transporte aéreo.

El CNAF, en su anexo, hace referencia al Reglamento de Radiocomunicaciones, presentando, en lo que a los entornos aeronáuticos se refiere, la definición de distintos servicios de radiocomunicaciones específicos para comunicaciones aeronáuticas, sus modalidades y otros términos radioeléctricos a los que se hará alusión a lo largo de este documento. Son:

- *Servicio móvil aeronáutico*: Servicio móvil entre estaciones aeronáuticas y estaciones de aeronave, o entre aeronaves, en el que también pueden participar las estaciones de embarcación o dispositivos de salvamento. Asimismo pueden considerarse incluidas en este servicio las radiobalizas de localización de siniestros que operen en las frecuencias de socorro y de urgencia designadas.
- *Servicio móvil aeronáutico (R)*: Servicio móvil aeronáutico reservado a las comunicaciones aeronáuticas relativas a la seguridad y regularidad de los vuelos, principalmente en las rutas nacionales o internacionales de la aviación civil.



- *Servicio móvil aeronáutico (OR):* Servicio móvil aeronáutico reservado para asegurar las comunicaciones, incluyendo las relativas a la coordinación de los vuelos, principalmente fuera de las rutas nacionales e internacionales de la aviación civil.
- *Servicio móvil aeronáutico por satélite:* Servicio móvil por satélite en el que las estaciones terrenas móviles están situadas a bordo de aeronaves; también pueden considerarse incluidas en este servicio las estaciones de embarcación o dispositivos de salvamento y las radiobalizas de localización de siniestros.
- *Servicio móvil aeronáutico (R) por satélite:* Servicio móvil aeronáutico por satélite reservado a las comunicaciones aeronáuticas relativas a la seguridad y regularidad de los vuelos, principalmente en las rutas nacionales o internacionales de la aviación civil.
- *Servicio móvil aeronáutico (OR) por satélite:* Servicio móvil aeronáutico por satélite reservado para asegurar las comunicaciones, incluyendo las relativas a la coordinación de los vuelos, principalmente fuera de las rutas nacionales e internacionales de la aviación civil.
- *Servicio de radionavegación aeronáutica:* Servicio de radionavegación destinado a las aeronaves y a su explotación en condiciones de seguridad.
- *Servicio de radionavegación aeronáutica por satélite:* Servicio de radionavegación por satélite en el que las estaciones terrenas están situadas a bordo de aeronaves.

#### **b) Sistemas no específicos de entornos aeronáuticos:**

Por otra parte, existen, además, otro tipo de sistemas no específicos de estos entornos que permiten la prestación de un conjunto de servicios no críticos, destinados tanto a los operadores de las líneas aéreas como a los usuarios y clientes de las mismas. Dichos sistemas soportan servicios de gestión aeroportuaria y acceso a redes de voz y datos de uso común desde tierra o desde el aire. Entre los sistemas empleados para dar soporte a estos servicios destacan GSM900, DCS1800, UMTS, TETRA, Radiotelefonía, Radar y Radiolocalización, RFID, Wi-Fi, WiMAX y el Satélite.

Teniendo en cuenta la gran complejidad que presentan los entornos aeronáuticos es conveniente realizar un análisis de los sistemas que actualmente se emplean para soportar los diferentes servicios que garanticen el funcionamiento y seguridad del tráfico aéreo así como una gestión aeroportuaria eficaz. Asimismo, resulta imprescindible considerar las diferentes posibilidades que existen para implantar nuevos sistemas en un



futuro y analizar la evolución que sufrirá el sector de las telecomunicaciones aeronáuticas en una época de gran cambio para el sector.

Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) han permitido globalizar el mundo de la comunicación facilitando la interconexión entre personas e instituciones a nivel mundial, eliminando barreras tanto espaciales como temporales.

En entornos aeronáuticos la implantación de las TIC ha supuesto un cambio radical en el sector ya que son las que han permitido que, por ejemplo, se automaticen los sistemas de gestión y operación en los aeropuertos mediante sistemas de información, control y telemandos informatizados. La interacción de estos sistemas con sus usuarios (pasajeros, Administración Pública, compañías aéreas, etc.) ha transformado completamente la gestión de las infraestructuras aeronáuticas.

Además de las aplicaciones mencionadas anteriormente para el control de las actividades de las aerolíneas en los aeropuertos, las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones son clave a la hora de ofrecer servicios a los pasajeros (telefonía, acceso a Internet...) y para dar soporte a los sistemas de control y gestión del tráfico aéreo. Estos últimos engloban servicios de comunicaciones, navegación y vigilancia y pueden aplicarse tanto a la aviación civil como a la militar.

Los antiguos centros de control de los aeropuertos que controlaban los despegues, trayectos y aterrizajes de las aeronaves únicamente mediante intercambio de información de voz se han transformado ahora en salas de tratamiento e intercambio de datos con la llegada de las nuevas tecnologías. De este modo presentan información importante de manera rápida y sencilla de interpretar, como puede ser la posición de las aeronaves, la cantidad de combustible en las mismas o datos meteorológicos recogidos en el avión y enviados al centro de datos.

Por lo tanto, es imprescindible tener en cuenta que las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones han revolucionado el sector aeronáutico y actualmente lo están sometiendo a grandes cambios y avances. A lo largo de este documento se analizarán en detalle todos los sistemas de comunicaciones inalámbricos que actualmente se emplean en estos entornos aeronáuticos y se hará también referencia a aquellos sistemas futuros que serán capaces de solventar las limitaciones actuales en todos los servicios relacionados con la aviación tanto civil como militar.





## **CAPÍTULO 2. COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA EN ENTORNOS AERONÁUTICOS**

En este capítulo se presentarán los conceptos de interferencia, inmunidad, susceptibilidad y compatibilidad electromagnética (CEM), haciéndose referencia a su importancia en el funcionamiento de los entornos aeronáuticos.

### **2.1. Interferencia, inmunidad y susceptibilidad electromagnética**

El estudio de los fenómenos de Interferencia Electromagnética (IEM) y la solución a los problemas que ésta ocasiona, han adquirido una notable relevancia en el desarrollo y desempeño de los modernos dispositivos, equipos y sistemas eléctricos, electrónicos y de telecomunicaciones. En el ámbito mundial, el entorno en el que interactúan los diferentes sistemas se hace cada día más complejo debido a tres factores principales: la creciente vulnerabilidad de los dispositivos y equipos, su capacidad de interferir en el funcionamiento de otros y el hecho de que actualmente existe una mayor densidad y disponibilidad de dispositivos inalámbricos.

La Interferencia Electromagnética se define, según la UIT, como el efecto producido por energías indeseadas sobre la recepción en un sistema de radiocomunicaciones debido a la combinación de una o varias emisiones, radiaciones o inducciones. Se manifiesta a través de una degradación en el comportamiento del sistema que conduce a una pérdida de información que no se produciría en ausencia de dicha fuente de energía no deseada.

Otros conceptos importantes asociados al concepto de interferencia son la inmunidad y la susceptibilidad. Se define la Inmunidad como la capacidad de un sistema para continuar operando satisfactoriamente al estar sometido a perturbaciones electromagnéticas o interferencias. Desde el punto de vista de los entornos aeronáuticos, podrían clasificarse en fuentes de dos tipos: fuentes de interferencia accidentales y fuentes de interferencia intencionadas.

Frente al concepto de inmunidad, el concepto de susceptibilidad hace referencia a la capacidad que tiene un equipamiento para funcionar en un ambiente de interferencia. Tanto la inmunidad como la susceptibilidad de un equipamiento dependerá de diferentes factores, como pueden ser la naturaleza de la interferencia, la relación señal a ruido requerida en el receptor, los niveles de interferencia frente al nivel de ruido, el margen entre el umbral de recepción del equipo y el nivel de señal recibido o el tipo de medidas de rechazo a las interferencias.





### 2.1.1. Interferencia electromagnética en entornos aeronáuticos

En los entornos aeronáuticos la interferencia puede tomar distintas formas. Dependiendo de ésta, la fuente de interferencia será más fácil o más compleja de identificar, según la frecuencia de aparición y el tipo de señal interferente. Entre las distintas interferencias posibles destacan:

- *Fuentes continuas de interferencia*: Señales continuas en el tiempo, y, por ello, las fuentes de procedencia son las más sencillas de identificar.
- *Señales esporádicas no continuas*: Más complejas de localizar, una vez detectadas se debe esperar a posteriores ráfagas de señal interferente para detectar su fuente.
- *Ruido no blanco*: Tipo de interferencia que puede producir efectos perniciosos, como pueden ser la aparición de intermodulación o armónicos en el receptor.

Otro modo de clasificar las interferencias es atendiendo a la naturaleza de la fuente, según la cual encontramos interferencias accidentales e interferencias intencionadas. Las interferencias accidentales son aquellas que se producen sin que haya intención ni conciencia de interferir por parte de la fuente de la que procede la energía no deseada. Dentro de las fuentes de interferencia accidentales, algunas de las más importantes se enumeran a continuación:

- *Perturbaciones eléctricas*: Producidas por equipamientos eléctricos que trabajan con potencias considerables. Afectan de manera grave a los equipos de comunicaciones cuando existe un mal aislamiento entre los equipos eléctricos y de comunicaciones o cuando por fallos en el funcionamiento normal de los equipos eléctricos se producen armónicos indeseados.
- *Equipamientos próximos*: Problema similar a las perturbaciones eléctricas, se producen cuando equipos electrónicos o de comunicaciones operan cercanos a un equipo receptor de una gran sensibilidad.
- *Cableado*: Instalaciones antiguas o mal desplegadas pueden producir que los cables y los conectores actúen como una antena y radien energía, afectando a sistemas de comunicaciones que trabajen en frecuencias similares a la de la señal radiada.
- *Productos de intermodulación*: Tipo de interferencia producida por efectos no lineales en los equipos, y que se manifiesta a través de la aparición de componentes de señal en múltiplos de la frecuencia fundamental o, en caso de acoplamiento entre señales de distintas frecuencias, en frecuencias obtenidas a partir de sumas y restas de las frecuencias de las señales acopladas.

- *Autointerferencias*: Producidas cuando un componente del propio sistema transceptor, por un mal funcionamiento, causa perturbaciones en la señal deseada.
- *Interferencia intrasistema*: Caso similar a la autointerferencia, se produce cuando un sistema transceptor interfiere en otro sistema transceptor idéntico.
- *Interferencia entre sistemas*: Este tipo de interferencia se manifiesta cuando un sistema transceptor interfiere en otro sistema transceptor que está trabajando en un modo diferente. Habitualmente este tipo de interferencia es de tipo cocanal o de canal adyacente.
- *Interferencia producida por problemas de coordinación*: Interferencia producida por equipamiento funcionando en unas frecuencias erróneamente asignadas o por equipamiento funcionando por error en una banda de frecuencias no asignada.
- *Incumplimiento de criterios de protección de CEM (Compatibilidad Electromagnética)*: Debido a que los servicios de comunicaciones en un entorno pueden ser cambiantes a lo largo del tiempo, es importante para asegurar un buen funcionamiento de los equipos en términos de interferencia, la actualización y monitorización de estos cambios. Ante nuevos sistemas de comunicaciones entrantes en un entorno, deben tenerse en cuenta las máscaras de interferencia y de espúreos, los criterios de relación señal a ruido requerida y los límites de protección para los receptores, la relación portadora interferencia o los límites cocanal y de canal adyacente.
- *Efectos múltiples*: A veces se puede dar la combinación de varios de los tipos de interferencia señalados, con lo que se hace complicado identificar las fuentes del problema y su solución.

En cuanto a las interferencias intencionadas, son aquellas de cuya existencia se tiene conocimiento o son directamente provocadas por la fuente interferente con el fin de producir efectos perniciosos. En los sistemas de comunicaciones aeronáuticas destacan sobre las demás dos tipos:

*Jamming*, o interferencia hostil con el fin de perturbar las comunicaciones. Este tipo de interferencias se producen cuando se aplica una fuente de interferencia conocida de manera intencionada con el fin de degradar la señal recibida por un receptor denominado víctima.

*Emisiones no permitidas*: La existencia en un entorno de emisiones intencionadas pero que no han sido permitidas. Incluso si éstas no son malintencionadas, puede provocar problemas de interferencia.



Estas interferencias pueden ser de tipo cocanal, de canal adyacente o por intermodulaciones en sistemas de comunicaciones existentes en la zona debido a la imposibilidad de una coordinación apropiada de las bandas de frecuencia utilizadas por los distintos sistemas.

Por último, y atendiendo a la relación entre la naturaleza de las interferencias y las distintas bandas de frecuencias, éstas se pueden clasificar del siguiente modo:

- *Frecuencias inferiores a 10 kHz:* En este rango de frecuencias predomina la interferencia conducida por la red o fuentes de alimentación.
- *Frecuencias entre 10 kHz y 150 kHz:* En esta banda de frecuencias, las interferencias provocadas en su mayoría debido a impulsos de intensidad y fenómenos transitorios de relés, interruptores u otros dispositivos electromecánicos, y fuentes conmutadas cuya propagación se produce por un mecanismo combinado de acoplamiento (radiación en campo cercano) y conducción.
- *Frecuencias entre 150 kHz y 30 MHz:* Las interferencias en este rango de frecuencias se dan por propagación combinada por radiación (en campo lejano) y acoplamiento (radiación campo cercano, capacitiva y/o inductiva).
- *Frecuencias de 30 MHz a 18 GHz:* En estas frecuencias la mayor parte de las interferencias se deben a propagación por radiación.

## 2.2. Compatibilidad electromagnética (CEM)

La compatibilidad electromagnética de los dispositivos y equipos eléctricos, electrónicos y de telecomunicaciones es una de las principales exigencias de calidad, y se puede definir como la capacidad de todo dispositivo, equipo o sistema para funcionar correctamente en el entorno electromagnético sin introducir perturbaciones en él. Para garantizar ésta, es imprescindible el estudio detallado del espectro utilizado en un sistema y los límites aceptables en éste.

De manera general, los elementos básicos que deben ser examinados cuando existe una condición de perturbación son la fuente de interferencia, las perturbaciones generadas y su posible mitigación, el sistema perturbado y los modos de acoplamiento entre éste y el sistema perturbador. El que una condición de perturbación constituya un suceso potencialmente perjudicial dependerá, entre otros factores, de:

- El nivel de la perturbación (magnitud y forma de onda, rango de frecuencia, contenido de energía, máxima tasa de variación, frecuencia de ocurrencia y duración) producida por distintas fuentes (transmisores de radio, líneas de alta tensión, rayos, motores eléctricos...).
- La susceptibilidad del receptor (respuesta de frecuencia, condiciones de diseño, presencia de elementos de protección, materiales,...), que condicionará que ante perturbaciones, éste pueda o no operar correctamente.
- Las condiciones en las cuales se efectúe el acoplamiento que permite a la fuente interferir con el receptor. Este acoplamiento puede producirse por conducción (corriente eléctrica), por radiación (campo electromagnético), por acoplo inductivo (campo magnético) o por acoplo capacitivo (campo eléctrico).

Por consiguiente, la solución a los efectos nocivos podrá encontrarse mitigando la emisión de la fuente, incrementando la inmunidad del receptor o amortiguando la propagación de la perturbación en el medio, de manera que se reduzca la interacción emisor - receptor.

En el caso de las aeronaves, es esencial la evaluación de la compatibilidad electromagnética y de la inmunidad frente a las interferencias tanto de los equipos de vuelo como de los equipos de control y de los equipos involucrados en los sistemas de comunicaciones. Por ello, en equipos o subsistemas embarcados, para cumplir con los criterios de compatibilidad electromagnética se debe poner especial énfasis en el diseño de circuitos, garantizando un buen filtrado de señales y apantallamiento y realizando medidas de los niveles de emisión y susceptibilidad de la circuitería diseñada y cuidando la instalación de los equipos de a bordo, revisando los contactos eléctricos y la puesta a masa además de segregar el cableado.

En cuanto al análisis de la compatibilidad electromagnética entre dos o más dispositivos, éste se puede dividir en cuatro etapas:

- *Definición de requisitos del sistema*: En esta primera etapa, se estudian los parámetros asociados al enlace entre el transmisor y el receptor deseado, con el fin de detallar las características que se deben dar para un correcto funcionamiento. Aspectos importantes a detallar serán las potencias de transmisión, las máscaras de transmisión en el canal principal y los canales adyacentes, las máscaras espectrales de recepción o los niveles de potencia recibida mínima. También se debe tener en cuenta que un sistema transmisor, además de radiar en la banda para la cual está diseñado, también emitirá potencia en otras zonas del espectro. Estas emisiones se conocen con el nombre de emisiones fuera de canal, emisiones fuera de banda y emisiones espúreas.



- *Caracterización de la naturaleza de las interferencias:* En esta segunda etapa se deberán detallar las características del sistema radio cuya compatibilidad está siendo evaluada del mismo modo que se estudiaron las características del sistema principal. Según la naturaleza de las interferencias, podrán ser de origen natural (descargas eléctricas atmosféricas, fuentes de origen solar y cósmico, campo magnético terrestre, ruido térmico debido a temperatura) o humanas (descargas electrostáticas, subsistemas eléctricos y electrónicos, variaciones en la tensión de alimentación y transmisores de radio).
- *Análisis de la relación entre los sistemas interferentes deseados y los no deseados:* Esta etapa consiste en el estudio de la disposición de los distintos sistemas a estudiar. Especialmente importante es caracterizar correctamente la distancia entre los sistemas, las pérdidas debidas a la propagación, el diagrama de directividad de los transmisores y los receptores de cada uno de los sistemas de comunicaciones y sus anchos de banda de recepción.
- *Establecimiento de los criterios en cuanto a compatibilidad electromagnética:* A partir de los niveles mínimos de señal que deberá haber en el receptor para un buen funcionamiento del sistema, se establecerán los niveles máximos de interferencia incidentes que se pueden permitir o los márgenes entre el nivel de señal recibido mínimo y la interferencia máxima a soportar.

Los criterios generales referidos a la compatibilidad electromagnética vienen dados por las regulaciones relativas a las radiocomunicaciones de la UIT o por los SARPs (*Standards and Recommended Practices*) de la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) para sistemas específicos de aviación. Los criterios particulares son definidos en detalle en documentos de ámbito nacional y por cuerpos regulatorios internacionales como EUROCAE, RTCA, ETSI, CEPT o ECC. La JAA (*European Joint Aviation Authorities*) y la FAA (*US Federal Aviation Authorities*) trabajan en la armonización de la normativa aeronáutica.

En 1986 se crean los grupos de trabajo EUROCAE en Europa y SAE en EE.UU. para desarrollar los procedimientos y documentación apropiados para garantizar el cumplimiento de requisitos CEM/HIRF por parte de una aeronave. En 1994 se creó el EEHWG (Grupo de Trabajo para la Armonización de Efectos Electromagnéticos). A partir del trabajo desarrollado por EUROCAE y SAE para generar una normativa armonizada e introducir un requisito HIRF (Campos Radiados de Alta Densidad) en las diferentes partes de las normas de aviación FAR/JAR, se redactaron las "*Notice of Propose Rulemaking (NPRM)*" de la FAA y las "*Notice of Proposed Amendment (NPA)*" de la JAA. En la Parte 25 del CFR 14 de la FAA aparecen normativas asociadas a:

- 25.1309 *Equipment, Systems and Installations.*
- 25.581 *Lightning Protection.*



- 25.954 *Fuel System Lightning Protection.*
- 25.1316 *System Lightning Protection.*
- 25.1353 (a) *Electrical Equipment and Installations.*
- 25.1431 (c) *Electronic Equipment.*

También es necesario destacar la *FAA Notice N8110.71 Guidance for the Certification of Aircraft Operating in High Intensity Radiated Field (HIRF) Environments.*

De acuerdo a todas estas normativas, se llevan a cabo lo que se denominan modos de cumplimiento de certificación, que se acuerdan con las autoridades aeronáuticas competentes para cada aeronave en particular, por medio de:

- Estudio del ambiente electromagnético externo aplicable para la operación.
- Identificación de los equipos/subsistemas, que se podrán clasificar en:
  - Esenciales para la seguridad en vuelo: Funciones cuyo fallo pueda contribuir o causar una condición que pueda reducir la capacidad de la aeronave o la habilidad de la tripulación para controlar la operación del avión bajo condiciones adversas.
  - Críticos para realizar una misión: Funciones cuyo fallo pueda contribuir o causar una condición que pueda impedir la continuidad del despegue, vuelo y aterrizaje seguros.
  - No críticos para la seguridad en vuelo: Sus fallos producen efectos menores.
- Establecimiento del ambiente electromagnético interno en el avión.
- Evaluación del sistema (avión completo).
- Propuesta de verificación de cumplimiento.

Una vez realizado esto, se debe verificar el funcionamiento adecuado de las protecciones diseñadas, para lo cual se deben realizar las siguientes actividades:

- Guías de diseño e instalación CEM (segregación de señales, puesta a masa, pantallas, etc.).
- Medidas de los parámetros anteriores.
- Estudios de similitud en plataformas parecidas.
- Modelado electromagnético.
- Datos de pruebas de calificación CEM en equipos/subsistemas a alto nivel.
- Datos de pruebas de CEM a nivel de avión.



Estos modos de cumplimiento de certificación a nivel avión deberán estudiarse para los siguientes casos:

- **Protección de equipamientos embarcados:** Para el equipamiento embarcado deberá realizarse una prueba funcional de interoperabilidad de los equipos embarcados en situación de vuelo simulada en tierra y un procedimiento cruzado de activación de equipos/subsistemas. En este caso, unos equipos actuarán como fuente de ruido y otros como susceptibles de ser perturbados, realizándose una comprobación funcional durante la secuencia tanto en la activación de equipos como carga eléctrica (generadores eléctricos, luces, etc.) y/o como fuente de emisión (radar, radio-altímetro, radios, etc.).
- **Protección ante campos radiados externos de alta intensidad (HIRF):** Se debe comprobar/validar la protección en el rango desde 10kHz a 40 GHz. Los efectos sobre el avión se pueden dividir en bandas diferenciadas. Por debajo de 1 MHz el acoplamiento es ineficiente y no es excesivamente preocupante. Entre 1 y 400 MHz el cableado del avión es una antena receptora eficiente y preocupa la inducción de corriente debido al acoplamiento. Por encima de 400 MHz el acoplamiento en el cableado es local e ineficiente. La radiación se acopla en aperturas del fuselaje, carcasas de equipos, y en la alimentación a una distancia de  $\lambda$  longitud de onda. Los métodos de cumplimiento a nivel avión serán:
  - Para bajo nivel de campo :
    - **LLSC (*Low Level Swept Coupling*) (1-400 MHz):** Es una técnica indirecta a bajo nivel de campo con la que se obtiene la función de transferencia (campo eléctrico externo versus corriente inducida en el cableado del equipo bajo prueba del avión) del avión completo para un campo incidente de 1 V/m. Inicialmente se realiza una calibración/caracterización del campo eléctrico para las polarizaciones horizontal y vertical, para cuatro posiciones de la aeronave (0°, 90°, 180° y 270°), para lo cual se mide el campo eléctrico generado en la zona, en ausencia de la aeronave. Se trata por tanto de relacionar el campo externo radiado, con la corriente inducida medida en los mazos de alimentación del equipo/subsistema crítico/esencial bajo prueba embarcados. Para ello, con la aeronave apagada se realizan las medidas de corrientes inducidas en los mazos para un campo externo de 1 V/m, con el fin de poder extrapolar a posteriori valores de corriente inducida a niveles de campo altos y comparar con los datos de calificación de equipos.



– Para alto nivel de campo :

- Susceptibilidad radiada (1 MHz a 18 GHz): La aeronave se sumerge en un campo de radiofrecuencia de alta intensidad mientras que los sistemas de a bordo, en situación simulada de vuelo, se monitorizan para comprobar si sucede algún fallo de funcionamiento.

– Para complementar estas técnicas en el rango 10 kHz-100 MHz se realiza lo que se denomina método DCI (*Direct Current Injection*). La imposibilidad de generar altos campos radiados a bajas frecuencias, hace necesario el desarrollo de nuevas técnicas que permitan obtenerlos. Para ello se desarrolla la DCI que, básicamente, consiste en inyectar directamente corriente de RF en la aeronave de forma que se produzca el mismo efecto que si estuviera sometida a un campo radiado. Este método permite obtener intensidades de campo equivalentes a ambientes HIRF altos empleando potencias mucho menores de las que serían necesarias para generar campos de intensidad equivalentes mediante la radiación convencional con antenas.

- Protección ante rayos: en una situación tormentosa los campos electromagnéticos existentes se ven afectados por la presencia de un objeto conductor, como es la aeronave, la cual puede provocar efectos de disparo del rayo y, además, llegar a formar parte del canal de descarga. En la interacción de un rayo con un avión se pueden producir voltajes que dañen a las personas o equipos electrónicos esenciales para el vuelo, ignición de combustible por arcos y eyección de partículas incandescentes. Por ello se deben realizar medidas y caracterizar tanto los efectos directos que puede tener la descarga sobre la aeronave como los efectos indirectos derivados de ésta.

Algunos estándares de compatibilidad electromagnética en entornos aeronáuticos	
25.1309 Equipment, Systems and Installations (FAA)	XX.1431 (c) Electronic Equipment
25.581 Lightning Protection (FAA)	FAA Notice N8110.71 Guidance for the Certification of Aircraft Operating in High Radiated Fields (HIRF) Environments
25.954 Fuel System Lightning Protection (FAA)	2007-06-21 WP 8B Draft new Report ITU-R M.[AMS-FSS] - Compatibility between proposed systems in the aeronautical mobile service and the existing fixed-satellite service in the 5 091-5 250 MHz band
25.1316 System Lightning Protection (FAA)	SARPs de la OACI
25.1353 (a) Electrical Equipment and Installations	EUROCAE, ETSI, CEPT, ECC, JAA, SAE

**Tabla 1.** Estándares de compatibilidad electromagnética:  
Tabla resumen







## **CAPÍTULO 3. PROCESOS DE GESTIÓN DE FRECUENCIAS Y NORMATIVA TÉCNICA APLICABLE A LOS SISTEMAS ESPECÍFICOS DE ENTORNOS AERONÁUTICOS**

### **3.1. Procesos de gestión de espectro y de gestión de frecuencias aeronáuticas**

El proceso de gestión del espectro consiste en los procesos políticos y tácticos de largo plazo asociados al desarrollo de las asignaciones hechas a través de las regulaciones de servicios de radiocomunicaciones de la UIT-R. A través de estos procesos se debe asegurar la posibilidad de proporcionar una adecuada protección y compatibilidad electromagnética entre distintos servicios. En este sentido, se definen los distintos sistemas de comunicaciones que pueden compartir el mismo canal radio, los sistemas que son compatibles funcionando en canales adyacentes y la compatibilidad de canales funcionando en bandas adyacentes.

Dentro de los procesos de gestión del espectro, se puede distinguir entre procesos de gestión intrasistema e intersistema. Los procesos de gestión intrasistema se llevan a cabo cuando dos sistemas independientes con transceptores iguales tienen asignaciones de frecuencias en la misma banda. Estas situaciones son simples de coordinar. Habitualmente se realizan a través de procesos de gestión de frecuencias tras una coordinación inicial. A diferencia de los procesos intrasistema, los procesos intersistema se producen cuando en una misma banda de frecuencia trabajan sistemas de distintos tipos, con lo que la banda es compartida. En estos casos se pueden definir servicios de distintos tipos, siendo los servicios primarios los que tendrán prioridad frente al resto de servicios, denominados secundarios.

A diferencia del proceso de gestión del espectro, el proceso de gestión de frecuencias hace referencia a las actividades de atribución de frecuencias, e implica la aplicación de las reglas de coordinación que permita minimizar la interferencia. Estos procesos están gestionados por las administraciones locales, las autoridades de aviación civil y los proveedores de servicios de navegación aérea, y coordinados por las oficinas regionales de la OACI.



### **3.2. Particularidades de la gestión de frecuencias civiles en entornos aeronáuticos**

El *Anexo 10 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional*, que trata sobre Telecomunicaciones Aeronáuticas, establece en su Volumen V algunas pautas para la utilización del espectro de radiofrecuencias aeronáuticas. Así, en este Volumen se trata de establecer los usos de las distintas frecuencias y los mecanismos de coordinación entre los distintos Estados en referencia a los procesos de gestión y atribución de frecuencias en los distintos servicios que pueden ser utilizados en el ámbito aeronáutico.

Por su parte, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ha instaurado un marco en el cual las demandas para el espectro de radio de los distintos Estados se compaginan con los intereses de los diversos usuarios de servicios de radio, con el fin de realizar una utilización del espectro radioeléctrico que permita un uso eficiente y efectivo de este escaso recurso, y que, a la vez, consiga, en los entornos de despliegue de servicios radio unos ambientes todo lo libre de interferencias que sea posible.

La manera de alcanzar estos objetivos se describe en el Volumen V del Anexo 10 de la OACI, que contiene información sobre la planificación y asignación de frecuencias de las estaciones de radio aeronáuticas que funcionan en diversas bandas de frecuencia y proporciona procedimientos para elaborar medidas efectivas de control de calidad de seguridad de la aviación, procedimientos para la implementación de las normas y métodos recomendados y material de guía y consulta para la utilización de las distintas frecuencias radioeléctricas en los entornos aeronáuticos.

De igual modo, se pide a los Estados contratantes que notifiquen a la Organización cualquier diferencia entre sus reglamentos y métodos nacionales y las normas internacionales contenidas en este Anexo y en las enmiendas del mismo, y se pide que incluyan las diferencias respecto a los métodos recomendados contenidos en este Anexo y en las enmiendas del mismo, cuando la notificación de dichas diferencias sea de importancia para la seguridad de la navegación aérea.

Además, se invita a los Estados a que mantengan a la Organización debidamente informada de todas las diferencias subsiguientes, o de la eliminación de cualquiera de ellas notificada previamente.

El Volumen V del Anexo 10 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional se estructura básicamente en tres partes. Una primera parte hace referencia al uso de las frecuencias de socorro, una segunda parte trata el uso de las frecuencias por debajo de los 30 MHz, y una tercera y última parte se ocupa de los usos de frecuencias por encima de los 30 MHz.

### **3.2.1. Frecuencias de socorro**

En multitud de artículos del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT se establecen las condiciones generales para las comunicaciones de socorro y de seguridad respecto a todos los servicios móviles. En estos artículos, se hace referencia tanto a las frecuencias que deberán emplearse para esas situaciones como a la capacidad para ajustar los servicios móviles aeronáuticos a acuerdos especiales entre los gobiernos, en caso de que estos existan.

Las normas y métodos recomendados relativos a las radiofrecuencias para las comunicaciones de socorro tienen en cuenta ciertos procedimientos adoptados por la OACI y algunas disposiciones establecidas por la UIT-R.

Así, una aeronave en peligro, que aún se halle en vuelo, debería emplear la frecuencia que normalmente usa en ese momento para las comunicaciones con las estaciones aeronáuticas, mientras que, para una aeronave que ya haya aterrizado violentamente o haya efectuado un aterrizaje forzoso, será necesario designar una frecuencia, o frecuencias, a fin de obtener uniformidad con carácter mundial y con el objeto de mantener o establecer una escucha por tantas estaciones como sea posible, incluyendo tanto las estaciones radiogoniométricas como las estaciones del servicio móvil marítimo. Con estos fines de comunicación en casos de emergencia, se fijan ciertas frecuencias para las comunicaciones entre aeronaves y estaciones del servicio móvil marítimo y para los transmisores de localización de emergencia (ELT).

En lo referente a las comunicaciones entre aeronaves y estaciones del servicio móvil marítimo, se especifica que la frecuencia de 2182 kHz es la frecuencia internacional de socorro en radiotelefonía que utilizarán para tal fin las estaciones de barco, de aeronave y de las embarcaciones y dispositivos de salvamento que utilicen frecuencias de las bandas autorizadas entre 1605 kHz y 4000 kHz, cuando piden auxilio a los servicios marítimos.

Junto a estas frecuencias, también se estipula que la frecuencia portadora de 4125 kHz puede utilizarse por las estaciones de aeronave para comunicar con estaciones del servicio móvil marítimo con fines de socorro y seguridad. Respecto a las estaciones de embarcaciones y dispositivos de salvamento, el Reglamento de Radiocomunicaciones prevé el uso de determinadas frecuencias en función de la banda en la que funcione cada equipo, tal y como se indica en la siguiente tabla:



Banda de frecuencias	Frecuencia de socorro
415 – 535 kHz	500 kHz
4000 – 27500 kHz	8364 kHz
1605 – 2850 kHz	2182 kHz
117,975 – 136 MHz	121,5 MHz
235 – 328,6 MHz	243 MHz

**Tabla 2.** Frecuencias de socorro

En relación a los transmisores de localización de siniestros (ELT), estos se utilizan como radiobalizas de localización de siniestros (RBLS) por satélite del sistema COSPAS-SARSAT. Para uso de estos dispositivos, se especifica que la banda 406 – 406,1 MHz está reservada únicamente para la utilización de las radiobalizas de localización de siniestros por satélite en la dirección tierra-espacio, siendo también adecuadas para su uso en estos sistemas las frecuencias de 121,5 MHz y 243 MHz.

Cabe destacar también que las frecuencias del servicio móvil aeronáutico 3023 kHz y 5680 kHz pueden emplearse para operaciones coordinadas de búsqueda y salvamento con el servicio móvil marítimo.

### 3.2.2. Utilización de frecuencias inferiores a 30 MHz

En el servicio móvil aeronáutico, para las comunicaciones radiotelefónicas que utilicen radiofrecuencias inferiores a 30 MHz comprendidas en las bandas adjudicadas exclusivamente al servicio móvil aeronáutico, se empleará símplex de canal único y se atribuirán canales de banda lateral única. Las bandas de frecuencia entre 2,8 MHz y 22 MHz atribuidas al servicio móvil aeronáutico (R) figuran en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT, y su utilización deberá hacerse de conformidad con las disposiciones actuales pertinentes de dicho Reglamento, señalándose por lo que respecta a la utilización de estas bandas, la posibilidad de interferencia radioeléctrica perjudicial ocasionada por fuentes no aeronáuticas de emisión de radiofrecuencias y la necesidad de tomar medidas apropiadas para reducir sus efectos.

Así, los canales de banda lateral única se atribuirán con arreglo a lo dispuesto en el Volumen III, Parte II, del Anexo 10 de la OACI, y para el uso operacional de los canales en cuestión, las administraciones tendrán en cuenta las disposiciones del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT. La utilización de las frecuencias móviles aeronáuticas inferiores a 30 MHz, para las operaciones aeronáuticas internacionales, debería coordinarse a través de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), consultándose a dicha Organización en todos los casos apropiados en lo que se refiere al empleo operacional de las frecuencias del Plan.



No obstante, cuando los requisitos funcionales internacionales para las comunicaciones no puedan satisfacerse mediante el Plan de adjudicación de frecuencias fijado en el Reglamento de Radiocomunicaciones, las administraciones podrán asignar frecuencias apropiadas para atender determinadas necesidades de explotación en zonas distintas de las indicadas en este Plan que de otro modo no podrían encontrar satisfacción. Sin embargo, la utilización de las frecuencias así asignadas no debe reducir a un nivel inferior al determinado la protección de que disfrutaban en las zonas a las que hayan sido adjudicadas en el Plan. Además, cuando sea preciso para atender las necesidades de los servicios aéreos internacionales, las administraciones podrán introducir reajustes en el procedimiento de adjudicación de las frecuencias del servicio móvil aeronáutico, en cuyo caso las asignaciones deberán ser objeto de autorización previa de las administraciones cuyos servicios puedan ser influenciados desfavorablemente.

Por otro lado, para las emisiones en radiotelefonía las audiofrecuencias se limitarán a las comprendidas entre 300 Hz y 2700 Hz, y la anchura de banda ocupada de las demás emisiones autorizadas no excederá el límite superior de las emisiones permitidas. Al especificar estos límites, no obstante, no se implica restricción alguna en su extensión en lo referente a las emisiones distintas, siempre que se respeten los límites de las emisiones no deseadas. Teniendo en cuenta las interferencias que podrían producirse, no debería emplearse ningún canal determinado para transmisiones radiotelefónicas y de datos dentro de una misma zona de adjudicación. El uso de los canales resultantes de las frecuencias indicadas en el cuadro de S27/18 para clases de emisión distintas de las J3E y H2B será objeto de acuerdos particulares entre las administraciones interesadas, incluidas aquéllas cuyos servicios puedan ser afectados, a fin de evitar la interferencia perjudicial resultante del empleo simultáneo del mismo canal para diversas clases de emisión. Este Apéndice S27 pertenece al Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT, donde se encuentran el Plan de adjudicación de frecuencias que enumera las frecuencias por zonas, y el Plan de adjudicación de frecuencias que enumera las frecuencias por orden numérico.

Otro apartado a tener en cuenta es la atribución de este tipo de frecuencias para las comunicaciones del control de operaciones aeronáuticas en las que se requieren frecuencias de utilización mundial. Una zona de adjudicación mundial es una zona que tiene frecuencias destinadas a las comunicaciones de larga distancia entre una estación aeronáutica situada en dicha zona y una aeronave en servicio en cualquier parte del mundo. Las frecuencias adjudicadas para uso mundial que figuran en el Reglamento de Radiocomunicaciones, excepto las frecuencias portadoras (de referencia) de 3023 kHz y 5680 kHz, quedan reservadas para su asignación por las administraciones a estaciones autorizadas para dar servicio a una o varias empresas explotadoras de aeronaves. Tales adjudicaciones se emplearán para establecer comunicaciones entre estaciones aeronáuticas y estaciones de aeronave en cualquier parte del mundo a efectos de control de la regularidad del vuelo y de la seguridad de las aeronaves.



Por último, también se trata la utilización de frecuencias en balizas no direccionales (NDB)<sup>1</sup>. En lo que a utilización del espectro se refiere, se debería tener en cuenta la protección contra la interferencia requerida en el límite de la zona de servicio clasificada, la aplicación de las cifras indicadas para equipos ADF<sup>2</sup> (*Automatic Direction Finder*) típicos, el espaciamiento geográfico y las zonas de servicios clasificadas respectivas y la posibilidad de interferencia producida por radiaciones parásitas ajenas a la aeronáutica (por ejemplo los servicios de energía eléctrica, las líneas de transmisión de energía eléctrica para las comunicaciones, las radiaciones industriales, etc.).

Con el objetivo de aliviar los problemas de congestión de frecuencias en las localidades en que dos instalaciones ILS<sup>3</sup> (*Instrument Landing System*) distintas dan servicio a los extremos opuestos de una pista única, debería permitirse la atribución de una frecuencia común a ambos radiofaros exteriores de localización y la atribución de una frecuencia común a ambos radiofaros internos de localización. Esto podrá llevarse a cabo siempre y cuando las circunstancias operacionales lo permitan, se asigne a cada radiofaro de localización una señal de identificación diferente y se hagan los oportunos arreglos para que no puedan radiar simultáneamente los radiofaros de localización que empleen la misma frecuencia.

### 3.2.3. Utilización de frecuencias superiores a 30 MHz

En lo que a frecuencias por encima de 30 MHz se refiere, el Volumen V del Anexo 10 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional de la OACI destaca cuatro bandas de frecuencias principales, utilizadas para el despliegue de servicios de telecomunicaciones en entornos aeronáuticos:

<b>Bandas de frecuencias aeronáuticas superiores a 30 MHz</b>
108 – 117,975 MHz
117,975 – 137 MHz
960 – 1215 MHz
5030,4 – 5150 MHz

**Tabla 3.** Bandas de frecuencias superiores a 30 MHz

<sup>1</sup> Las balizas no direccionales (NDB) se describirán en el capítulo 5.

<sup>2</sup> Los equipos de navegación ADF se describirán en el capítulo 5.

<sup>3</sup> El sistema de aterrizaje ILS se describirá en el capítulo 5.

### **A. Banda 108 – 117,975 MHz:**

La utilización de la banda 108- 117,975 MHz, según viene definida en el texto de la OACI puede dividirse en dos grandes grupos. Por un lado, la subbanda de frecuencias entre 108 y 111,975 MHz podrá utilizarse para el sistema ILS, para el sistema VOR<sup>4</sup>, a condición de que no se ocasione al ILS interferencia perjudicial de canal adyacente y sólo se usen frecuencias que terminen bien en décimas pares o en décimas pares más una vigésima de megahertzio, y para el sistema de aumentación basado en tierra (GBAS<sup>5</sup>) del GNSS de conformidad siempre que no se ocasione al ILS y al VOR interferencia perjudicial.

En cuanto a la subbanda de 111,975 a 117,975 MHz, podrá utilizarse para el sistema VOR y para el sistema de aumentación basado en tierra (GBAS) del GNSS siempre que no se ocasione al ILS y al VOR interferencia perjudicial.

### **B. Banda 117,975 – 137 MHz:**

En el cuadro adjunto se presenta la adjudicación de los distintos grupos de frecuencias dentro de la banda 117,975 – 137 MHz:

	Subbanda de frecuencias (MHz)	Uso a nivel mundial	Comentarios
<b>A</b>	[118 – 121,4] <sup>6</sup>	Servicio móvil aeronáutico (Nacional e Internacional)	Las adjudicaciones internacionales específicas se determinarán mediante acuerdo regional.
			El problema de la interferencia entre países, en las frecuencias repartidas con carácter mundial o regional a los servicios regionales, deberá resolverse mediante consultas entre las administraciones interesadas.
<b>B</b>	121,5	Frecuencia de socorro	Con el objetivo de suministrar una banda de guarda para protección de la frecuencia de socorro aeronáutica, las frecuencias más próximas asignables a ambos lados de la misma serán 121,4 y 121,6 MHz.
			Mediante acuerdo regional podrá decidirse que las frecuencias más próximas asignables sean 121,3 y 121,7 MHz.
<b>C</b>	[121,6 - 121,9917]	Comunicaciones de superficie en aeródromos nacionales e internacionales.	Se reserva esta banda para movimientos en tierra, verificaciones previas al vuelo, permisos ATS y funciones conexas.

<sup>4</sup> El sistema de radioayuda VOR se describirá en el capítulo 5.

<sup>5</sup> El sistema navegación por satélite GBAS se describirá en el capítulo 5.

<sup>6</sup> El corchete ([ ]) indica que los extremos de la banda están incluidos en la misma.

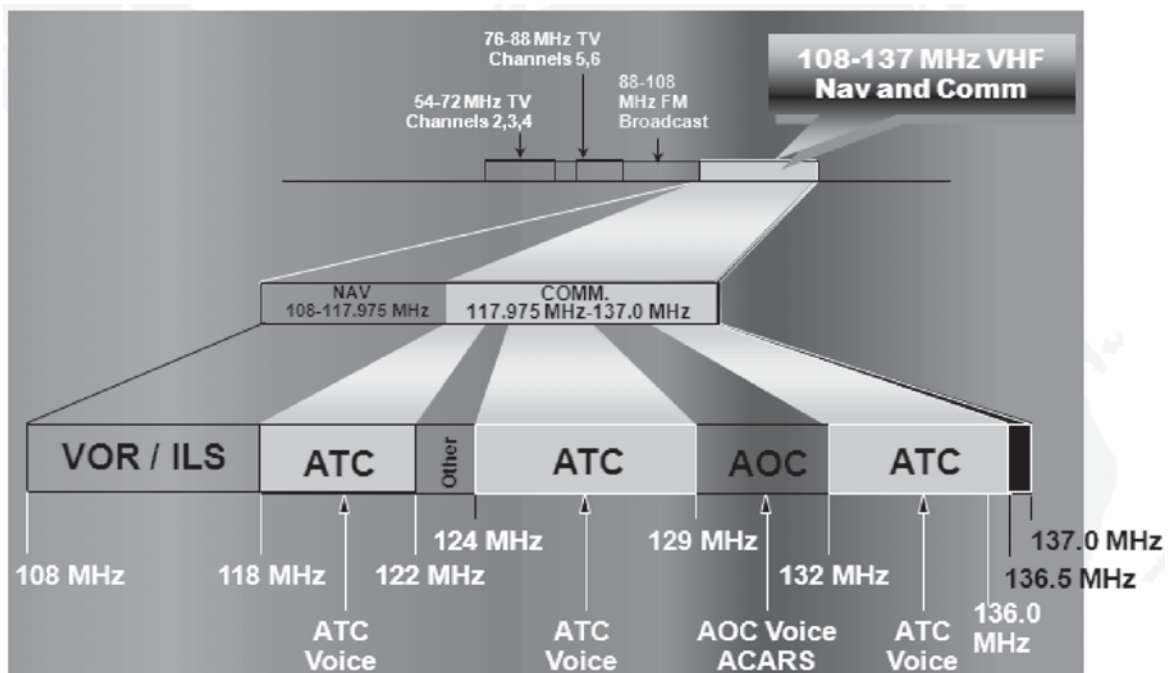




<b>D</b>	[122 - 123,05]	Servicios móviles aeronáuticos nacionales	Se reserva esta banda para adjudicaciones nacionales.
<b>E</b>	123,1	Frecuencia auxiliar SAR	
<b>F</b>	[123,15 - 123,6917]	Servicios móviles aeronáuticos nacionales	Reservada para adjudicaciones nacionales, con excepción de la frecuencia de 123,45 MHz, que también se emplea como canal mundial de comunicaciones aire – aire
<b>G</b>	123,45	Comunicaciones aire-aire	Se dispondrá de un canal de comunicaciones VHF aire-aire en esta frecuencia que permita que las aeronaves que vuelen por zonas remotas y oceánicas, y que se encuentren fuera del alcance de las estaciones VHF terrestres, puedan intercambiar la información operacional necesaria que facilite la solución de dificultades operacionales. Se tendrá en cuenta que el uso del canal aire-aire puede ser causa de interferencia hacia y desde aeronaves que utilicen la misma frecuencia para las comunicaciones tierra-aire.
<b>H</b>	[123,7 - 129,6917]	Servicios móviles aeronáuticos nacionales e internacionales	Las adjudicaciones internacionales específicas se determinarán mediante acuerdo regional. El problema de la interferencia entre países, en las frecuencias repartidas con carácter mundial o regional a los servicios regionales, deberá resolverse mediante consultas entre las administraciones interesadas.
<b>I</b>	[129,7 - 130,8917]	Servicios móviles aeronáuticos nacionales	Reservada para adjudicaciones nacionales. Si se necesitan frecuencias para las comunicaciones del control de operaciones por parte de agencias explotadoras de aeronaves se deben seleccionar de la banda 128,825 - 132,025 MHz, siempre del extremo superior de dicha banda y por orden consecutivo
<b>J</b>	[130,9 - 136,875]	Servicios móviles aeronáuticos nacionales e internacionales	Las adjudicaciones internacionales específicas se determinarán mediante acuerdo regional. El problema de la interferencia entre países, en las frecuencias repartidas con carácter mundial o regional a los servicios regionales, deberá resolverse mediante consultas entre las administraciones interesadas
<b>K</b>	[136,9 - 136,975]	Servicios móviles aeronáuticos nacionales e internacionales	Reservada para las comunicaciones de enlace digital en VHF

**Tabla 4.** Adjudicación de frecuencias a nivel mundial en la banda 117,975 – 137 MHz

En la siguiente figura se muestra de una manera general la distribución de la banda VHF aeronáutica según los servicios tanto de navegación (VOR, ILS) como de comunicaciones (ATC: Control de tráfico aéreo, AOC: Control operacional) que se describirán en detalle en el capítulo 5:



**Ilustración 1.** Banda VHF Aeronáutica

### **C. Banda 960 – 1215 MHz:**

Las frecuencias de esta tercera banda se asignarán, por un lado, a sistemas DME<sup>7</sup>. Para la planificación regional de las asignaciones, los canales correspondientes al DME asociado con el MLS<sup>8</sup> serán seleccionados según la tabla adjunta. Los canales DME en operación, que se distinguen por el sufijo "X" o "Y" se elegirán de modo general sin restricciones. En estos canales, identificados como los grupos del 1 al 5, se permitirá el uso general de estos canales DME para los siguientes casos:

- Cuando un MLS/DME esté destinado a funcionar en una pista en asociación con el ILS, el canal DME será seleccionado, de ser posible, del Grupo 1 ó 2 y funcionará en paralelo con la frecuencia ILS según lo indicado en la tabla de canales y pares DME. En los casos en que no se pueda proporcionar protección a las frecuencias compartidas para los tres componentes, el canal MLS podrá seleccionarse de los Grupos 3, 4 ó 5. Los canales DME que aparecen en los Grupos 1 y 2, pueden utilizarse en asociación con el ILS o el MLS.
- Cuando un MLS/DME esté destinado a funcionar en una pista que no cuente con un ILS, el canal DME que se ha de utilizar se seleccionará, de preferencia, de los Grupos 3, 4 ó 5. Los canales DME que aparecen en los Grupos 3, 4 y 5 pueden utilizarse en asociación con el VOR o el MLS.

<sup>7</sup> El sistema de medida de distancia DME se describirá en el capítulo 5.

<sup>8</sup> El sistema de aterrizaje MLS se describirá en el capítulo 5.



Por otro lado, los canales DME que se distinguen por el sufijo "W" o "Z", y que se identifican como los grupos 6 a 10 en la tabla, se elegirán basándose en los acuerdos regionales bien para uso regional restringido, bien para uso general.

GRUPO	CANALES DME	CANALES VHF ASOCIADOS POR PARES	OBSERVACIONES
1	PAR 18X a 56X	ILS, separación de 100 kHz	Se utilizaría normalmente si un único DME forma un par con el ILS y es parte del MLS.
2	PAR 18Y a 56Y	ILS, separación de 50 kHz	
3	PAR 80Y a 118Y	VOR, separación de 50 kHz (Décimas impares de MHz)	
4	IMPAR 17Y a 55Y	VOR, separación de 50 kHz	
5	IMPAR 81Y a 119Y	VOR, separación de 50 kHz (Décimas pares de MHz)	
6	PAR 18W a 56W	Canal VHF que forma un par no asociado	
7	PAR 18Z a 56Z	Canal VHF que forma un par no asociado	
8	PAR 80Z a 118Z	Canal VHF que forma un par no asociado	
9	IMPAR 17Z a 55Z	Canal VHF que forma un par no asociado	
10	IMPAR 81Z a 119Z	Canal VHF que forma un par no asociado	

**Tabla 5.** Canales DME

Asimismo, en esta banda operan también los sistemas GPS (L5), JTIDS/MTIDS (Militares), radares modo A y S, TACAN, TCAS y UAT, cuyas características se detallarán en el capítulo 5. En la tabla siguiente se muestran las bandas de funcionamiento de los sistemas anteriores:

SISTEMA	Banda de frecuencias
DME/TACAN	960 - 1215 MHz
GPS (L5)	1176,45 MHz
JTIDS/MIDS	960 - 1215 MHz
MODOS A/S	1030 MHz; 1090 MHz
TCAS	960 - 1215 MHz
UAT	978 MHz

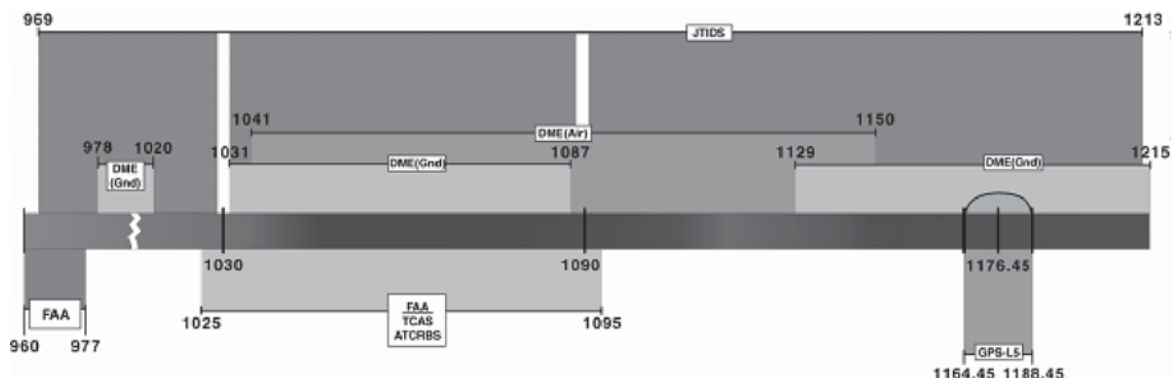
**Tabla 6.** Bandas de frecuencias sistemas 960 – 1215 MHz

En la tabla siguiente podemos observar las interferencias causadas por los diferentes sistemas aeronáuticos que trabajan en esta banda:

SISTEMA FUENTE	SISTEMA INTERFERIDO
JTIDS/MIDS	UAT, GPS L5
TCAS	UAT
DME/TACAN	UAT, GPS L5

**Tabla 7.** Interferencias entre sistemas banda 960 – 1215 MHz

En la siguiente figura podemos observar la distribución de las diferentes frecuencias dentro de la banda bajo estudio:

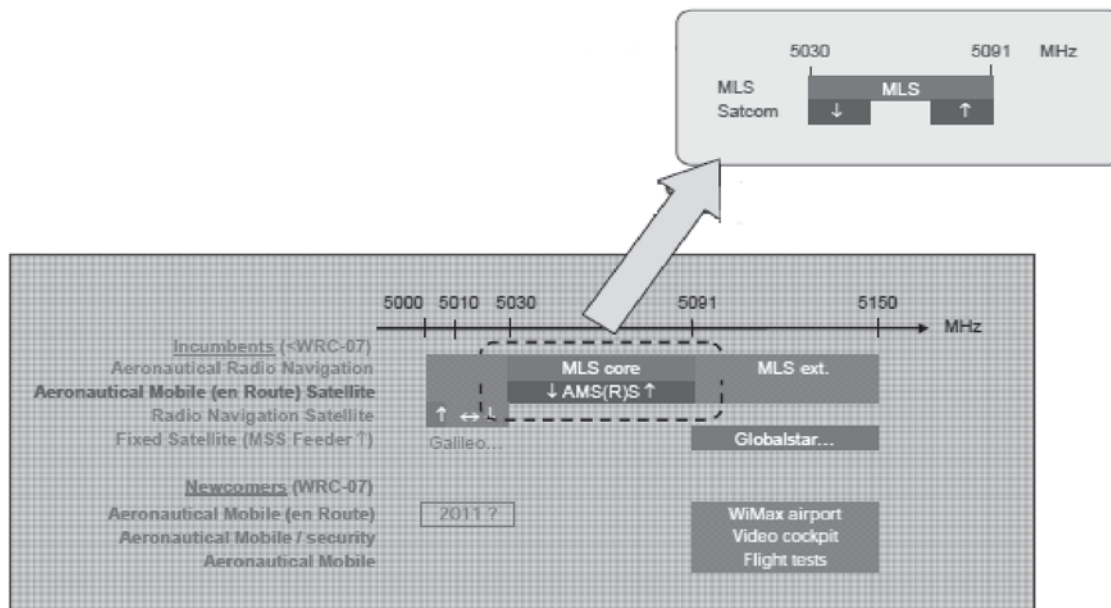


**Ilustración 2.** Sistemas aeronáuticos banda 960 – 1215 MHz  
[Cortesía de MITRE]

#### **D. Banda 5030,4 - 5150 MHz:**

En esta última banda de frecuencias los distintos canales se utilizarán asociados a las instalaciones MLS, y éstos se seleccionarán de acuerdo con las condiciones especificadas para la instalación DME asociada, según se establece en el Volumen 1, Capítulo 3, Tabla A del Anexo 10 de la OACI. Cuando sea necesario aumentar el número de canales MLS para satisfacer necesidades futuras, la asignación de frecuencias se realizará dentro de esta misma subbanda.

Asimismo, en esta banda se proporcionará el servicio móvil aeronáutico por satélite (AMS(R)S). En la siguiente figura se observa la distribución de las diferentes bandas de frecuencias:



**Ilustración 3.** Banda 5030 – 5150 MHz

### 3.3. Frecuencias aeronáuticas militares

Los sistemas de comunicaciones militares se desarrollaron en primer lugar en la banda VHF inmediatamente superior a la utilizada para las comunicaciones civiles, por encima de los 137 MHz.

Antes de que se consolidara la OACI en 1947 las comunicaciones aeronáuticas móviles civiles y militares tenían una historia común, una arquitectura similar y el mismo equipamiento. Fue en los años 40 cuando las comunicaciones militares se hicieron exclusivas y secretas por razones obvias. Con la llegada de la OACI y las regulaciones radio de la UIT se separó el servicio aeronáutico móvil "on route" (AM(R)S) del servicio "off-route" (AM(OR)S).

El servicio AM(OR)S militar comprende la banda de *138-144 MHz* en la mayoría de los países. Esta banda se emplea fundamentalmente para llevar a cabo movimientos militares rutinarios, alejados de las misiones críticas o de combate. Estos canales no son de uso exclusivo militar, se comparte parte de esta banda con sistemas fijos de telefonía móvil, sistemas móviles marítimos o terrestres y comunicaciones espacio – tierra.

Existen también otras bandas militares algunas de las cuales no están recogidas en regulaciones ni normativas debido a la necesidad de mantener a salvo su seguridad.

Entre algunas de estas bandas destacan las recogidas en la tabla siguiente:

BANDA DE FRECUENCIAS	SISTEMA
30 - 88 MHz	SINGARS
225 - 400 MHz	HAVEQUICK
420 - 450 MHz	EPLRS/SADL
960 - 1215 MHz	JTIDS/MIDS

**Tabla 8.** Bandas de frecuencias militares

El sistema **SINGARS** (*Single Channel Ground and Airbone Radio System*) funciona en la banda de 30 – 88 MHz en la que se establece como un servicio maduro desarrollado en los años 70 e implantado en los 80. Este sistema de canal único para comunicaciones radio tierra-aire se utiliza para servicios militares seguros tanto de voz como de datos. Esta banda consta de 2320 canales de 25 kHz cada uno. El sistema funciona empleando saltos en frecuencia “*Frequency Hopping*”. No existe ninguna regulación sobre este sistema.

Por su parte, el sistema de comunicaciones militares **HAVEQUICK** es también un sistema ya maduro implantado en los años 70 que opera en la banda 225 – 400 MHz. Esta banda se divide en 7000 canales de 25 kHz. Al igual que el sistema “SINGARS”, HAVEQUICK emplea el método de salto en frecuencia para funcionar. Esta banda de frecuencias no está regulada.

El sistema **EPLRS/SADL** (*Enhanced Position Location Reporting System / Situation Awareness Datalink*) es un sistema de comunicaciones militar de transmisión de datos de alta seguridad empleado sobre todo para las comunicaciones de tierra. Fue un sistema desarrollado también en los años 70 e implantado en los 80, cuya banda de frecuencias se extiende desde los 420 a los 450 MHz. Al igual que en los casos anteriores, no existe regulación para este sistema.

En cuanto al sistema **JTIDS/MIDS** (*Joint Tactical Information Distribution System / Multifunctional Information Distribution System*), es un sistema militar diseñado para funcionar en la banda UHF 960 – 1215 MHz dividida en 51 canales de 3 MHz.

### 3.4. Normativa técnica aplicable a los sistemas específicos de entornos aeronáuticos

El Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias, en las notas de utilización recogidas en los apartados siguientes, fija ciertas bandas de frecuencias cuyo uso se restringe exclusivamente a servicios aeronáuticos.



### 3.4.1. Servicio móvil aeronáutico

La nota UN-0 describe los usos del Estado de frecuencias por debajo de 27 MHz, fijando algunas bandas que se destinan a uso tanto preferente como exclusivo del Ministerio de Defensa en el servicio móvil aeronáutico (OR). Estas bandas se presentan en la tabla siguiente:

Bandas de uso preferente del Ministerio de Defensa	Bandas de uso exclusivo del Ministerio de Defensa	
3800 - 3900 kHz	3025 - 3155 kHz	8965 - 9040 kHz
4750 - 4850 kHz	3900 - 3950 kHz	11175 - 11275 kHz
5450 - 5480 kHz	4700 - 4750 kHz	13200 - 13260 kHz
23200 - 23350 kHz	5680 - 5730 kHz	15010 - 15100 kHz
	6685 - 6765 kHz	17970 - 18030 kHz

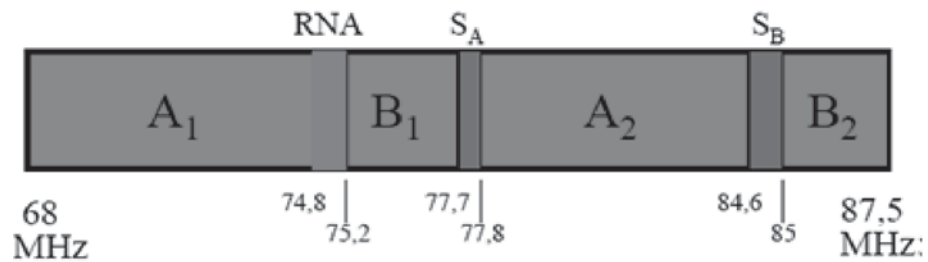
**Tabla 9.** Canales Servicio Móvil Aeronáutico (OR)

La nota UN-19 atribuye la banda de frecuencias 138 - 144 MHz para uso exclusivo del Servicio Móvil Aeronáutico (OR). Los sistemas del Servicio Móvil Terrestre que funcionen en frecuencias de esta banda, podrán efectuar la renovación de su título habilitante por una sola vez manteniendo sus parámetros técnicos, debiendo ser reubicados para posteriores renovaciones en bandas de frecuencias alternativas, para así dejar libre el rango 138-144 MHz para el servicio móvil aeronáutico.

La nota UN-132 presenta el Plan de Utilización de la banda 68 - 87,5 MHz para el servicio móvil, y se indica el Plan de Utilización de esta banda para los servicios de radionavegación aeronáutica, fijo de banda estrecha y móvil. En la misma se establecen bloques de canales para usar a dos frecuencias (A1-A2 y B1-B2) con separación entre transmisión y recepción de 9,8 MHz, un bloque de frecuencias atribuido al servicio de radionavegación aeronáutica (RNA) y dos bloques de utilización a una sola frecuencia ( $S_A$  y  $S_B$ ) de acuerdo con la Recomendación T/R 25-08 de la CEPT, todos ellos para ser usados con canalizaciones de 12,5 kHz y excepcionalmente de 25 kHz en casos debidamente justificados.

Excepcionalmente por necesidades de espectro, podrán utilizarse las bandas de frecuencia 68,0 - 69,2 MHz, 74,2 - 74,8 MHz, 77,8 - 79,0 MHz y 84,0 - 84,6 MHz para uso en modo simplex. En la figura adjunta se pueden ver la distribución de los distintos bloques de canales utilizados:





**NOTA:**

A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub> son las frecuencias de canales dúplex de estaciones móviles y portátiles

B<sub>1</sub> y B<sub>2</sub> son las frecuencias de canales dúplex de estaciones fijas

RNA son frecuencias del servicio de radionavegación aeronáutica  
(ILS/radiobalizas)

S<sub>A</sub> y S<sub>B</sub> son frecuencias de canales simplex

**Ilustración 4.** Uso de la banda 68 – 87,5 MHz (UN-132)  
[Cortesía del Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias 2007]

Por último, la nota de utilización UN-102 hace referencia a usos civiles del servicio móvil aeronáutico (OR) relacionados con actividades de aviación general como pueden ser vehículos de vuelo sin motor, globos aerostáticos, aviones ligeros, ultraligeros y servicios aéreos contra incendios. Dentro de estas bandas, se destinan cuatro canales de 25 kHz para utilización en actividades de ámbito nacional. Se debe tener en cuenta que el uso de estas frecuencias podrá ser compartido por distintos usuarios dentro del mismo ámbito geográfico y que esta utilización tiene la consideración de uso privativo.

En la siguiente tabla se recogen las bandas de frecuencias y los canales a los que hace referencia esta nota:

Bandas reservadas para usos civiles del servicio móvil aeronáutico	Canales destinados a actividades de ámbito nacional
122,000 - 123,050 MHz	122,475 MHz
123,150 - 123,675 MHz	123,425 MHz
129,700 - 130,875 MHz	129,825 MHz , 129,975 MHz

**Tabla 10.** Canales Servicio Móvil Aeronáutico UN-102

En cuanto a las bandas del servicio móvil aeronáutico (R) destinado a usos civiles, el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT establece la siguiente atribución:





Servicio Móvil Aeronáutico ( R )			
2850 - 3025 kHz	5480 - 5680 kHz	10005 - 10100 kHz	17900 - 17970 kHz
3400 - 3500 kHz	6525 - 6685 kHz	11275 - 11400 kHz	21924 - 22000 kHz
4650 - 4700 kHz	8815 - 8965 kHz	13260 - 13360 kHz	

**Tabla 11.** Servicio Móvil Aeronáutico (R), Reglamento de Radiocomunicaciones (UIT)

### 3.4.2. Compañías de transporte aéreo

La nota UN-18 hace referencia a frecuencias destinadas exclusivamente para uso en control operacional de compañías de transporte aéreo en los aeropuertos nacionales. Mediante esta nota, se atribuyen para este propósito veinticuatro canales consecutivos con separación de 25 kHz entre las frecuencias de canales adyacentes, siendo la de 131,400 MHz la correspondiente al canal 1 y 131,975 MHz la correspondiente al canal 24. La anchura de banda de emisión máxima será la correspondiente a una canalización de 25 kHz y el uso de estas frecuencias podrá ser compartido entre distintos usuarios.

### 3.4.3. Cuadro resumen: notas CNAF

SERVICIO	NOTA DE UTILIZACIÓN	BANDAS DE FRECUENCIAS	
SERVICIO MÓVIL AERONÁUTICO	UN - 0	Bandas de uso preferente del Ministerio de Defensa	3800 - 3900 kHz
			4750 - 4850 kHz
			5450 - 5480 kHz
			23200 - 23350 kHz
		Bandas de uso exclusivo del Ministerio de Defensa	3025 - 3155 kHz
			3900 - 3950 kHz
			4700 - 4750 kHz
			5680 - 5730 kHz
			6685 - 6765 kHz
			8965 - 9040 kHz
UN - 19	Usos civiles	11175 - 11275 kHz	
		13200 - 13260 kHz	
		15010 - 15100 kHz	
UN - 102	Usos civiles	17970 - 18030 kHz	
UN - 132		122,000 – 123,050 MHz	
UN - 18		123,150 – 123,675 MHz	
COMPAÑÍAS DE TRANSPORTE AEREO	UN - 18	68 - 87,5 MHz	129,700 – 130,875 MHz
		138 - 144 MHz	131,4 – 131,975 MHz

**Tabla 12.** Notas de Utilización CNAF. Sistemas específicos de entornos aeronáuticos

## **CAPÍTULO 4. NORMATIVA TÉCNICA APLICABLE A LOS SISTEMAS NO ESPECÍFICOS DE ENTORNOS AERONÁUTICOS**

En los entornos aeronáuticos y aeroportuarios, junto a los sistemas de comunicaciones específicamente dedicados a las labores de comunicaciones, navegación, vigilancia y la gestión del tráfico aéreo, conviven otros sistemas con los que se ofrecen un gran número de servicios, tanto de ayuda a la explotación para operadores aeronáuticos y aeroportuarios como para el acceso a la información de agentes externos. Estos sistemas funcionan en bandas de frecuencias no dedicadas específicamente a los entornos aeronáuticos.

En este capítulo se presenta la gran cantidad de sistemas radioeléctricos que operan simultáneamente en estos entornos contribuyendo a un entorno electromagnético complejo. Para ello se intentará describir en qué medida influye cada sistema al funcionamiento de los demás.

### **4.1. GSM 900 – DCS 1800**

El sistema de telefonía móvil GSM 900 (Global System for Mobile Communication) se utiliza en entornos aeroportuarios para llevar a cabo comunicaciones móviles personales tanto de los pasajeros como del personal del aeropuerto a través de los diferentes proveedores de servicios de telefonía móvil del país. Esta banda de frecuencias, sin embargo, no se emplea en las comunicaciones para los pasajeros a bordo de la aeronave ya que presenta ciertas desventajas frente a los sistemas que funcionan en la banda 1800 MHz.

Respecto al GSM/DCS 1800 (Digital Communication System), se emplea, por un lado, en aeropuertos para comunicaciones móviles personales, y por otro lado, se están empezando a emplear a bordo de las aeronaves para proporcionar a los pasajeros de los diferentes vuelos acceso a redes de voz y datos en el avión. Esta banda requiere una mayor potencia transmitida por parte del terminal móvil y, asimismo, presenta mayores pérdidas en espacio libre, lo que permite atenuar la señal que pueda llegar a transmitirse a tierra desde la aeronave en mayor medida que si se utilizara la banda de 900 MHz.

La nota UN-41 atribuye las bandas de frecuencias 880-915 MHz y 925-960 MHz al sistema de telefonía móvil automática GSM. Los terminales de dicho sistema GSM están excluidos de la necesidad de licencia individual conforme a los términos de la Decisión de la CEPT ERC/DEC/(98)20.

Asimismo, la nota UN-140 fija que las bandas de frecuencias 1710 a 1785 MHz y 1805-1880 MHz se destinan al sistema de telefonía móvil automática DCS 1800. Los terminales del sistema DCS 1800 están excluidos de la necesidad de licencia individual conforme a los términos de la Decisión de la CEPT



ERC/DEC/(98)21 y gozan de libre circulación en los términos indicados en la Decisión ERC/DEC/(97)11.

Recientemente se ha publicado la [Directiva 2009/114/CE](#) del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se modifica la antigua Directiva 87/372/CEE (conocida como "Directiva GSM") y que, junto a la [Decisión 2009/766/CE](#), permitirán la utilización de otras tecnologías como el UMTS dentro de la banda de 900 MHz y 1800MHz, coexistiendo con el servicio GSM. Esta Directiva es parte del principio de neutralidad tecnológica que la Comisión Europea quiere aplicar en el nuevo marco de las comunicaciones electrónicas actualmente en revisión.

También a partir de esa fecha, considerando la progresiva evolución de las necesidades de comunicaciones y la aparición de nuevas tecnologías, parte de las bandas de frecuencias antes citadas podrán ser destinadas a otros sistemas terrestres para la prestación de servicios de comunicaciones electrónicas paneuropeos, siempre que se garantice la coexistencia con los servicios indicados en esta nota.

## 4.2. UMTS

El sistema de telefonía móvil UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) se emplea en entornos aeroportuarios para dar soporte a los servicios de tercera generación para comunicaciones personales de los pasajeros y del personal del aeropuerto.

Según la nota UN-48, las bandas de frecuencias 1900 - 1980 MHz, 2010 - 2025 MHz y 2110 - 2170 MHz se atribuyen a la componente terrenal de los sistemas móviles de tercera generación (UMTS/IMT-2000) de acuerdo con la Decisión ERC/DEC(06)01 de la CEPT.

Igualmente, en la nota UN-52 se indica que la CMR-2000 ha identificado, entre otras, la banda de frecuencias 2500-2690 MHz para futuras ampliaciones de los sistemas de tercera generación IMT-2000/UMTS y la Decisión de la CEPT ECC/DEC/(02)06 ha designado dicha banda de frecuencias para ser utilizada por los sistemas UMTS/IMT-2000, disponible para ello desde el 1 de enero de 2008. La utilización de la banda 2500-2690 MHz para la componente terrenal de dichos sistemas se efectuará de acuerdo al plan armonizado según la Decisión ECC/DEC/(05)05.

### 4.3. TETRA

El sistema TETRA (Radio Troncalizada Terrestre o TERrestrial Trunked RAdio) se emplea en aeropuertos para llevar a cabo comunicaciones móviles críticas del personal del aeropuerto, que permiten, por ejemplo, llevar a cabo una mejor coordinación en situaciones de emergencia. En el aeropuerto de Madrid – Barajas el sistema TETRA fue instalado en el año 2007, y también a mediados de 2008 se implantó en el Aeropuerto de Zaragoza.

La nota UN-31 del CNAF trata los aspectos correspondientes a las redes TETRA. En ella se muestra el plan de utilización de las bandas 406,1-430 MHz y 440-470 MHz para los servicios fijo y móvil. La nota establece las subbandas recogidas en la siguiente tabla:

406,1 - 410 MHz	408 - 409 MHz	Uso preferente de comunicaciones en modo simplex con canalización de 12,5 kHz.
	Resto de la banda	Podrán autorizarse con carácter excepcional emisiones correspondientes a una canalización de 25 kHz.
410 - 430 MHz	410 – 415,3 MHz 420 – 425,3 MHz	Sistemas digitales de acceso aleatorio de canales con una anchura de banda de emisión correspondiente a una canalización de 25 kHz
	Resto de la banda	Comunicaciones en modo dúplex con un ancho de banda de emisión máximo correspondiente a una canalización de 12,5 kHz.
440 - 450 MHz		Comunicaciones en modo de explotación simplex con anchos de banda de emisión máximos correspondientes a una canalización de 25 kHz.
450 - 470 MHz	454,35 - 456,2 MHz 464,35 - 466,2 MHz	Sistemas de comunicaciones móviles en grupos cerrados de usuarios, incluyendo sistemas digitales de banda ancha en especial de las tecnologías previstas en la Decisión de la CEPT ECC/DEC/(04)06.
	456,2 - 458 MHz 466,2 - 468 MHz	Redes radioeléctricas de especial complejidad tanto por la extensión de su cobertura como por el número de canales radioeléctricos a emplear. Las anchuras de banda máximas de emisión en estas bandas se corresponderán con una canalización de 25 kHz.
	Resto de la banda	Comunicaciones con anchuras de bandas de emisión máximas correspondientes a una canalización de 12,5 kHz y, excepcionalmente, por razones de congestión de las demás subbandas, de 25 kHz.

**Tabla 13.** Bandas de frecuencias TETRA

A los terminales y equipos TETRA que, en su caso, funcionen en estas bandas de frecuencia, les será de aplicación lo dispuesto en la Decisión ERC/DEC/(99) sobre libre circulación de equipos. Las redes e instalaciones actuales cuyas frecuencias no se ajusten al plan indicado, deberán adaptarse al mismo a la renovación de su título habilitante.



#### 4.4. RADIOTELEFONÍA

Los sistemas de radiotelefonía, y en concreto los sistemas PMR (Radio Móvil Privada o *Private Mobile Radio*), se utilizan en entornos aeroportuarios para llevar a cabo operaciones de control aeronáutico y gestión del tráfico aéreo.

La nota de utilización UN-27, referente a la banda de frecuencias 223-235 MHz, muestra cómo deben utilizarse las distintas subbandas, poniendo de manifiesto cómo las bandas de frecuencias 224,5-225 MHz y 230,5-231 MHz están destinadas para uso exclusivo del Estado para Sistemas del Ministerio de Defensa, y las bandas de frecuencias 223-224,5 MHz, 229-230,5 MHz, 225-229 MHz y 231- 235 MHz serán usadas en redes del servicio móvil terrestre para autoprestación del servicio o prestación del mismo a terceros con percepción de tarifas. Las redes a las que sea aplicable esta nota de utilización nacional utilizarán sistemas multicanal de acceso aleatorio de frecuencias con concentración de enlaces ("*trunking*") y emisiones de anchura de banda adaptada a una canalización de 12,5 kHz.

Por otro lado la nota UN-110 también hace referencia a redes de radiotelefonía. En ella se fija que en la banda 446-446,1 MHz, de conformidad con la Decisión de la CEPT ERC/DEC/(98)25, se reservan canales de 12,5 kHz para su utilización exclusiva en todo el territorio nacional por el sistema de radio móvil conocido como PMR-446, siendo las frecuencias centrales de los distintos canales las recogidas en la tabla siguiente:

Canales para uso exclusivo del servicio móvil PMR – 446	
F1 = 446,00625 MHz	F5 = 446,05625 MHz
F2 = 446,01875 MHz	F6 = 446,06875 MHz
F3 = 446,03125 MHz	F7 = 446,08125 MHz
F4 = 446,04375 MHz	F8 = 446,09375 MHz

**Tabla 14.** Bandas de frecuencias PMR-446

La potencia radiada aparente máxima autorizada será de 500 mW. La norma técnica de referencia es el estándar ETSI EN 300-296 y las condiciones de utilización de estos equipos han de ajustarse a las limitaciones propias del sistema en cuanto a capacidad de tráfico y operación simultánea de varios equipos en una misma zona de cobertura. Esta utilización tiene la consideración de uso común y los terminales de este sistema están exentos de licencia individual conforme a los términos de la Decisión de la CEPT ERC/DEC(98)26.

Junto a estas notas, la UN-136 hace referencia a los sistemas PMR digitales. En ella se trata sobre la banda de frecuencias 446,1 - 446,2 MHz. En esta banda de frecuencias, se autoriza el uso y libre circulación de terminales del estándar digital PMR-446 de conformidad con la Decisión ECC/DEC/(05)12 de

la CEPT. La potencia radiada aparente máxima autorizada será de 500 mW y la canalización utilizada podrá ser de 6,25 kHz o de 12,5 kHz.

En cuanto a los equipos, los que llevan antena incorporada, han de garantizar el cumplimiento de los requisitos esenciales de la "Directiva 1999/5/CE (Directiva RTTE). Como norma técnica de referencia se indican los estándares EN 300 113-2 y EN 301 166- 2. Las condiciones de utilización de estos equipos han de ajustarse a las limitaciones propias del sistema en cuanto a capacidad de tráfico y operación simultánea de varios equipos en una misma zona de cobertura. Esta utilización tiene la consideración de uso común.

Por último, la UN-138, que hace referencia a la banda de frecuencias 169,4-169,8125 MHz, señala que ésta está destinada a las aplicaciones armonizadas de baja y alta potencia, siendo una de las aplicaciones de alta potencia con capacidad para usar este rango de frecuencias los sistemas de tipo PMR

#### 4.5. RADAR Y RADIOLOCALIZACIÓN

Los sistemas de radar y radiolocalización se emplean en entornos aeronáuticos para realizar operaciones de vigilancia (tanto en aire como en tierra), localización de siniestros y control de tráfico aéreo.

La Nota de Utilización UN – 53 hace referencia al uso de radares en frecuencias entre 1 y 5 GHz tal y como se indica en la tabla siguiente:

Uso militar Servicio de Radiolocalización con carácter primario	Uso militar Servicio de Radiolocalización con carácter secundario	Uso exclusivo militar
1,215 - 1,240 GHz 1,240 - 1,260 GHz 1,260 - 1,350 GHz 3,1 - 3,4 GHz 5,255 - 5,350 GHz	2,7 - 2,9 GHz	3,4 - 3,6 GHz (Según UN-107)

**Tabla 15.** Bandas de frecuencias radar (UN-53)

En cuanto a radiolocalización, la nota UN-45 atribuye la banda de frecuencias 1350-1400 MHz para uso exclusivo del Estado en aplicaciones del Ministerio de Defensa en los Servicios de Radiolocalización, Fijo y Móvil. De igual modo, la nota UN-70 atribuye la banda 17,3-17,7 GHz para sistemas del Ministerio de Defensa del servicio de radiolocalización con carácter secundario, teniendo en cuenta que dicha banda de frecuencias se encuentra atribuida con carácter primario al servicio fijo por satélite.



Asimismo, la nota UN-72 atribuye la banda de frecuencias 33,4 a 36 GHz para uso exclusivo del Estado para sistemas del Ministerio de Defensa en el servicio de radiolocalización, y la UN-107 establece las subbandas 3485-3495 MHz y 3585-3595 MHz para uso prioritario por el Estado en sistemas del Ministerio de Defensa para el servicio de radiolocalización en determinadas localizaciones, donde gozarán de la protección de un servicio primario.

Por último, la nota UN-65, relativa a la banda de frecuencias de 14 GHz, fija que la banda de frecuencias comprendida entre 13,75 y 14 GHz se destina a uso compartido entre los servicios fijos por satélite en el sentido Tierra-espacio y de radiolocalización.

#### 4.6. Wi-Fi - WiMAX<sup>9</sup>

Los sistemas Wi-Fi y WiMAX se emplean en entornos aeroportuarios para proporcionar diferentes servicios. Por un lado, permiten que los usuarios accedan a Internet desde sus dispositivos portátiles en toda la zona del aeropuerto. Por otro lado, estas redes se emplean como redes de uso corporativo para gestionar la videovigilancia en el aeropuerto o el *handling*<sup>10</sup> de carga. Asimismo, también se emplean para controlar los aviones de forma remota a la hora de aparcarlos en las pistas del aeropuerto.

Por otro lado, los sistemas Wi-Fi se están implantando en algunas aeronaves para proporcionar acceso inalámbrico a redes de datos a los pasajeros durante el vuelo. No obstante este servicio no está todavía muy maduro y no existen estándares que lo especifiquen.

La nota UN-51 hace referencia a aplicaciones, de uso común, ICM (Industriales, Científicas y Médicas) por encima de 2,4 GHz, atribuyendo a estos servicios las bandas recogidas en la siguiente tabla:

<sup>9</sup> Se recomienda la lectura del Informe "La situación de las Tecnologías WLAN basadas en el estándar IEEE 802.11 y sus variantes ("Wi-Fi") ". COIT (2004)

<sup>10</sup> **Handling (Asistencia en tierra):** Servicios prestados a un usuario en el aeropuerto de origen o destino del vuelo, incluyendo asistencia administrativa y supervisión para los transportistas aéreos, asistencia a pasajeros, asistencia de rampa y otros servicios a las aeronaves, asistencia de carga y correo, asistencias de operaciones de vuelo y administración de la tripulación y asistencia de mayordomía.



Banda de frecuencias	Frecuencia central
2400 - 2500 MHz	2450 MHz
5725 - 5875 MHz	5800 MHz
24,00 - 24,25 GHz	24,125 GHz
61,00 - 61,50 GHz	61,250 GHz

**Tabla 16.** Bandas de frecuencias ICM (UN-51)

Los servicios de radiocomunicaciones que funcionen en las citadas bandas deberán aceptar la interferencia perjudicial resultante de estas aplicaciones, ya que se consideran de uso común.

El Reglamento de Radiocomunicaciones designa la banda de frecuencias 2400-2483,5 MHz para aplicaciones ICM. La nota UN-85, establece que podrá ser utilizada además para otros usos:

- Acceso inalámbrico a redes de comunicaciones electrónicas, así como para redes de área local para la interconexión sin hilos entre ordenadores y/o terminales y dispositivos periféricos para aplicaciones en interior de recintos. Las condiciones técnicas de uso han de ser conforme a la Decisión ERC/DEC/(01)07 y la Recomendación CEPT ERC/REC 70-03, Anexo 3. La potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) total será inferior a 100 mW. En cuanto al resto de características técnicas de estos equipos, se indica como norma de referencia la ETSI EN 300 328. Esta utilización se considera de uso común.
- Dispositivos genéricos de baja potencia en recintos cerrados y exteriores de corto alcance, incluyendo aplicaciones de video. La potencia isotrópica radiada equivalente máxima será inferior a 10 mW y la norma técnica de referencia es la ETSI EN 300 440. El resto de características de estos dispositivos serán de acuerdo a la citada Recomendación 70-03 (anexo 1). Esta utilización se considera de uso común.

Por otro lado, la UN-107 señala que la banda de frecuencias 3400-3600 MHz está destinada para el establecimiento de sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha, con excepción de las subbandas 3485-3495 MHz y 3585-3595 MHz, que se destinan para uso prioritario por el Estado en sistemas del Ministerio de Defensa para el servicio de radiolocalización en determinadas localizaciones, donde gozarán de la protección de un servicio primario, y las subbandas de frecuencia 3480-3485 MHz, 3495-3500 MHz, 3580-3585 MHz y 3595-3600 MHz, que constituyen bandas de guarda para asegurar la compatibilidad entre los servicios de acceso inalámbrico de banda ancha y de radiolocalización.





No obstante, una vez satisfechas las necesidades geográficas de frecuencias del servicio de radiolocalización, tanto estas bandas como las especificadas en el párrafo anterior, podrán ser destinadas al servicio de acceso inalámbrico de banda ancha en aquellas zonas geográficas en las que pueda garantizarse la compatibilidad entre ambos servicios.

Por último, la UN-128 hace referencia a acceso inalámbrico a redes de comunicaciones electrónicas, así como para redes de área local de altas prestaciones en la banda de 5 GHz. Las bandas de frecuencia indicadas seguidamente podrán ser utilizadas por el servicio móvil en sistemas y redes de área local de altas prestaciones, de conformidad con las condiciones que se indican a continuación:

- *Banda 5150–5350 MHz:* En esta banda, el uso del servicio móvil en sistemas de acceso inalámbrico incluyendo comunicaciones electrónicas y redes de área local, se restringe para su utilización únicamente en el interior de recintos. La potencia isotrópica radiada equivalente máxima será de 200 mW, siendo la densidad máxima media de 10 mW/MHz en cualquier banda de 1 MHz. Este valor se refiere a la potencia promediada sobre una ráfaga de transmisión ajustada a la máxima potencia.

Adicionalmente, en la banda 5250-5350 MHz el transmisor deberá emplear técnicas de control de potencia que permitan como mínimo un factor de reducción de 3 dB de la potencia de salida. En caso de no usar estas técnicas, la potencia isotrópica radiada equivalente máxima deberá ser de 100 mW. El resto de características técnicas han de ajustarse a las indicadas en la Decisión de la CEPT ECC/DEC/(04)08. Las utilizaciones indicadas anteriormente se consideran de uso común.

- *Banda 5470-5725 MHz:* Esta banda puede ser utilizada para sistemas de acceso inalámbrico a redes de comunicaciones electrónicas, así como para redes de área local en el interior o exterior de recintos, y las características técnicas deben ajustarse a las indicadas en la Decisión de la CEPT ECC/DEC/(04)08. La potencia isotrópica radiada equivalente será inferior o igual a 1 W. Este valor se refiere a la potencia promediada sobre una ráfaga de transmisión ajustada a la máxima potencia.

Adicionalmente, en esta banda de frecuencias el transmisor deberá emplear técnicas de control de potencia que permitan como mínimo un factor de reducción de 3 dB de la potencia de salida. En caso de no usar estas técnicas, la potencia isotrópica radiada equivalente máxima deberá ser de 500 mW. Estas instalaciones de redes de área local tienen la consideración de uso común.

Los sistemas de acceso sin hilos incluyendo RLAN que funcionen en las bandas 5250-5350 MHz y 5475-5725 MHz deberán disponer de técnicas de reducción de ruido que cumplan con los requisitos de detección, operativos y de respuesta del Anexo 1 de la Recomendación UIT-R M.1652, con el fin de asegurar la compatibilidad con los sistemas de radiodeterminación. Las técnicas de reducción de ruido asegurarán que la probabilidad de seleccionar un determinado canal será la misma para todos los canales disponibles.

#### 4.7. RFID

La identificación por radiofrecuencia (RFID) es una tecnología con un gran potencial en aeropuertos y aviones ya que sirve para mejorar la seguridad, permite la prevención de errores y captura de datos y facilita multitud de tareas tediosas. También permite crear nuevas fuentes de ingresos ya que esta tecnología hace posible pagar los peajes sin causar congestión al tiempo que las nuevas tarjetas del aeropuerto *touch and go* ofrecen nuevos servicios de pago sin demoras.

En la nota UN-129 del CNAF 2007 se establece que los dispositivos identificadores por radiofrecuencia (RFID) pueden utilizar, con la consideración de uso común, la banda de frecuencias 2446–2454 MHz sin restricción alguna de canalización ni de ciclo de trabajo. La potencia isotrópica radiada equivalente autorizada no podrá superar los 500 mW.

#### 4.8. SATÉLITE

El satélite se emplea en entornos aeronáuticos para llevar a cabo numerosos servicios de comunicaciones administrativas de las aerolíneas, comunicaciones para los pasajeros del avión, control de tráfico aéreo y navegación aeronáutica principalmente. Pese a ser un sistema no específico de estos entornos, soporta servicios críticos de los mismos debido a su alta disponibilidad y calidad de servicio.

En cuanto a los sistemas por satélite, la nota UN-46 atribuye la banda de frecuencias 1452-1492 MHz a los Servicios de Radiodifusión y de Radiodifusión por Satélite, y señala que en la banda 1525-1530 MHz podrán otorgarse concesiones del servicio móvil por satélite (espacio-Tierra) en cualquier parte del territorio nacional, servicio móvil por satélite que también tendrá atribuidas a través de la UN-48 las bandas 1980-2010 MHz y 2170-2200 MHz, destinadas para sistemas que prestan servicios móviles por satélite incluyendo las estaciones complementarias situadas en tierra

La nota de utilización UN-62, que define el uso de la banda 10,7-11,7 GHz, atribuye esta banda al Servicio Fijo por Satélite (SFS), enlace descendente.



Las estaciones terrenas no coordinadas del SFS operarán sin protección. No obstante, en la medida de lo posible, se tomarán medidas para proteger las estaciones terrenas no coordinadas del SFS frente a nuevos enlaces del servicio fijo según la decisión CEPT/ERC/DEC/(00)08.

También en referencia a los servicios por satélite, la nota UN-65 reserva la banda entre 13,75 y 14 GHz al servicio fijo por satélite en el sentido Tierra-espacio, estableciendo se uso compartido entre los servicios fijo por satélite en el sentido Tierra-espacio y de radiolocalización, y la banda de 14,3 a 14,5 GHz para ser usada por los servicios fijo por satélite y móvil por satélite con las categorías atribuidas a los mismos según el Reglamento de Radiocomunicaciones.

La nota UN-79 establece que las subbandas 27500-27828,5 MHz, 28444,5-28948,5 MHz y 29452,5-29500 MHz se destinan en todo el territorio nacional al servicio fijo por satélite en su enlace ascendente en estaciones terrenas no coordinadas.

Junto a estas notas, la UN- 94 plantea la atribución de la banda 40,5-42,5 GHz por la CMR-2000 al Servicio Fijo por Satélite (espacio-Tierra); la UN-141 establece que en España las bandas 14-14,5 GHz y 29,5-30 GHz están usadas mayoritariamente para el servicio fijo por satélite (enlace ascendente), incluyendo aplicaciones que permitan el despliegue de estaciones terrenas no coordinadas.

Por último, y en el ámbito de los sistemas de posicionamiento por satélite, la nota UN-99 señala que la banda de frecuencias 1559 - 1610 MHz sentido espacio - Tierra, es utilizada por el sistema por satélites para determinación de posición y direccionamiento por radio denominado GPS. De igual modo, la nota UN-122 trata sobre el sistema GALILEO, iniciativa europea para desarrollar un sistema mundial de navegación por satélite (GNSS), que será independiente de los sistemas de navegación por satélite existentes, pero compatible e interoperable con éstos. En la tabla siguiente se presentan las bandas atribuidas por la CMR-2000 para el sistema de radionavegación por satélite:

Banda de frecuencias	Sentido
1164 – 1215 MHz	Espacio – Tierra y espacio - espacio
1215 – 1300 MHz	Compartida con otros servicios, espacio – Tierra y espacio – espacio
1300 – 1350 MHz	Tierra – espacio
1559 – 1610 MHz	Espacio – Tierra y espacio – espacio
5000 – 5010 MHz	Tierra – espacio
5010 – 5030 MHz	Espacio – Tierra y espacio – espacio

**Tabla 17.** Canales para servicio de radionavegación por satélite (UN-122)

#### 4.9. CUADRO RESUMEN

	NOTA DE UTILIZACIÓN	BANDAS DE FRECUENCIAS	
<i>GSM 900</i>	<b>UN – 41</b>	880 - 915 MHz	
		925 - 960 MHz	
<i>DCS 1800</i>	<b>UN – 140</b>	1710 - 1785 MHz	
		1805 - 1880 MHz	
<i>UMTS</i>	<b>UN – 48</b>	1900-1980 MHz	
		2010 - 2025 MHz	
		2110 - 2170 MHz	
	<b>UN – 52</b>	883 - 915 MHz	
<i>RADIOTELEFONÍA</i>		Uso exclusivo del Estado para Sistemas del Ministerio de Defensa	224,5 – 225 MHz
			230,5 – 231 MHz
	<b>UN – 27</b>	Servicio Móvil Terrestre	S1: 223 – 224,5 MHz
			S2: 229 – 230,5 MHz
			M1: 225 – 229 MHz
			M2: 231 – 235 MHz
	<b>UN-138</b>	PMR – 446	169,4 – 169,8125 MHz
	<b>UN - 110</b>	PMR – 446	446 - 446,1 MHz
<b>UN – 136</b>	PMR - 446 Digital	446,1 - 446,2 MHz	



	NOTA DE UTILIZACIÓN	BANDAS DE FRECUENCIAS	
<b>RADAR Y RADIOLOCALIZACIÓN</b>	<b>UN - 45</b>	1350 - 1400 MHz	
	<b>UN - 53</b>	Bandas de Uso Militar: Servicio de Radiolocalización con Carácter Primario	1,215 – 1,240 GHz
			1,240 – 1,260 GHz
			1,260 – 1,350 GHz
			3,1 – 3,4 GHz
			5,255 – 5,350 GHz
	Bandas de Uso Militar: Servicio de Radiolocalización con Carácter Secundario	2,7 - 2,9 GHz	
		Radiolocalización Uso Exclusivo Militar	3,4 - 3,6 GHz [UN-107]
<b>UN - 65</b>	13,75 - 14 GHz		
<b>UN - 70</b>	17,3 - 17,7 GHz		
<b>UN - 72</b>	33,4 - 36 GHz		
<b>UN - 107</b>	3485 - 3495 MHz		
	3585 - 3595 MHz		
<b>TETRA</b>	<b>UN - 31</b>	406,1 - 430 MHz	
		440 - 470 MHz	
<b>WI-FI</b>	<b>UN - 51</b>	2400 - 2500 MHz	
	<b>UN - 85</b>	2400 - 2483,5 MHz	
	<b>UN - 128</b>	5150 - 5350 MHz	
5470 - 5725 MHz			
<b>WIMAX</b>	<b>UN - 51</b>	5725 - 5875 MHz	
	<b>UN - 107</b>	3400 - 3600 MHz	
	<b>UN - 128</b>	5150 - 5350 MHz	
		5470 - 5725 MHz	
<b>RFID</b>	<b>UN - 129</b>	2446 - 2454 MHz	

	NOTA DE UTILIZACIÓN	BANDAS DE FRECUENCIAS	
<b>SATÉLITE</b>	<b>UN-46</b>	Servicio Móvil por Satélite	1525 - 1530 MHz
	<b>UN - 48</b>	Servicio Móvil por Satélite	1980 - 2010 MHz
			2170 - 2200 MHz
	<b>UN - 62</b>	10,7 - 11,7 GHz	
	<b>UN - 65</b>	Servicio Fijo por Satélite	13,75 - 14 GHz
	<b>UN - 65</b>	Servicios Móvil y Fijo por Satélite	14,3 - 14,5 GHz
	<b>UN - 79</b>	Servicio Fijo Enlace Ascendente	27500 - 27828,5 MHz
			28444,5 - 28948,5 MHz
			29452,5 - 29500 MHz
	<b>UN - 94</b>	Servicio Fijo	40,5 – 42,5 GHz
	<b>UN - 99</b>	GPS	1559 - 1610 MHz
	<b>UN - 122</b>	GALILEO	1164 - 1215 MHz
			1215 - 1300 MHz
			1300 - 1350 MHz
1559 - 1610 MHz			
5000 - 5010 MHz			
5010 - 5030 MHz			
<b>UN - 141</b>	Servicio Fijo Enlace Ascendente	14 - 14,5 GHz	
		29,5 - 30 GHz	

**Tabla 18.** Cuadro Resumen Normativa Técnica Entornos Aeronáuticos (CNAF)



## CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS Y APLICACIONES DE COMUNICACIONES AERONÁUTICAS: ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS FUTURAS

### 5.1. Introducción: Comunicaciones aeronáuticas

En este capítulo se detallarán un conjunto de sistemas de radiocomunicaciones específicos de entornos aeronáuticos que proporcionan diferentes servicios necesarios para el correcto funcionamiento de todas las actividades de este sector.

Para ello, se presentará en primer lugar una clasificación de las comunicaciones aeronáuticas en función de si son o no críticas para la seguridad aérea, tal y como se indica en la siguiente tabla:

COMUNICACIONES AERONÁUTICAS	Críticas para la seguridad	CNS- ATS/ATM	<i>Communication, Navigation, Surveillance – Air Traffic Services/Air Traffic Management</i>
		AOC	<i>Aeronautical Operation and Control</i>
	No críticas para la seguridad	AAC	<i>Aeronautical Administrative Communications</i>
		APC	<i>Aeronautical Passengers Communications</i>

**Tabla 19.** Comunicaciones Aeronáuticas: Clasificación

### 5.2. Comunicaciones aeronáuticas críticas para la seguridad aérea

Las comunicaciones aeronáuticas críticas son aquellas que permiten llevar a cabo la actividad aeronáutica de una manera segura y eficaz. En este apartado se analizarán diferentes sistemas y servicios que se engloban dentro de este tipo de comunicaciones aeronáuticas.





### 5.2.1. Sistemas CNS/ATM

A principios de los años 80 la OACI empezó a ser consciente de las limitaciones existentes en los sistemas actuales de comunicaciones aeronáuticas y en su incapacidad de hacer frente al crecimiento del tráfico aéreo que se produciría en el futuro. En consecuencia, se creó un comité especial denominado FANS (*Future Air Navigation Systems*) encargado de identificar nuevos conceptos y nuevas tecnologías aplicables al campo de la navegación aérea.

La conclusión fundamental a la que llegó este comité fue que los sistemas basados en tecnología satélite ofrecían una solución viable para superar los defectos de los sistemas convencionales terrestres y responder así a las necesidades futuras de la aviación civil. Uno de los resultados de la creación del comité FANS fue la introducción del concepto CNS/ATM (*Communication, Navigation, Surveillance / Air Traffic Management*).

El concepto CNS/ATM, de Comunicaciones, Navegación, Vigilancia y Gestión del Tránsito Aéreo, se basa en la introducción de los sistemas por enlace de datos para proporcionar a la actividad aeronáutica los servicios críticos que se describirán junto a los sistemas que los soportan. Además, dicho concepto apunta a un uso creciente de tecnologías satelitales con el fin de cubrir grandes extensiones geográficas con una gran calidad y disponibilidad de servicio. De este modo, se pretende automatizar la gestión del tráfico aéreo, para aumentar la eficiencia y eficacia del mismo.

Desde que se introdujo este concepto CNS/ATM se han desarrollado diversos sistemas de enlace de datos para aplicaciones de comunicaciones y vigilancia que se describirán a lo largo de este capítulo, encontrándose los mismos en diversos grados de implantación. La introducción del satélite, por su parte, evoluciona lentamente, empleándose sobre todo en el entorno oceánico y siendo una de las grandes promesas de la navegación en el futuro.

#### 5.2.1.1. SISTEMAS DE COMUNICACIONES

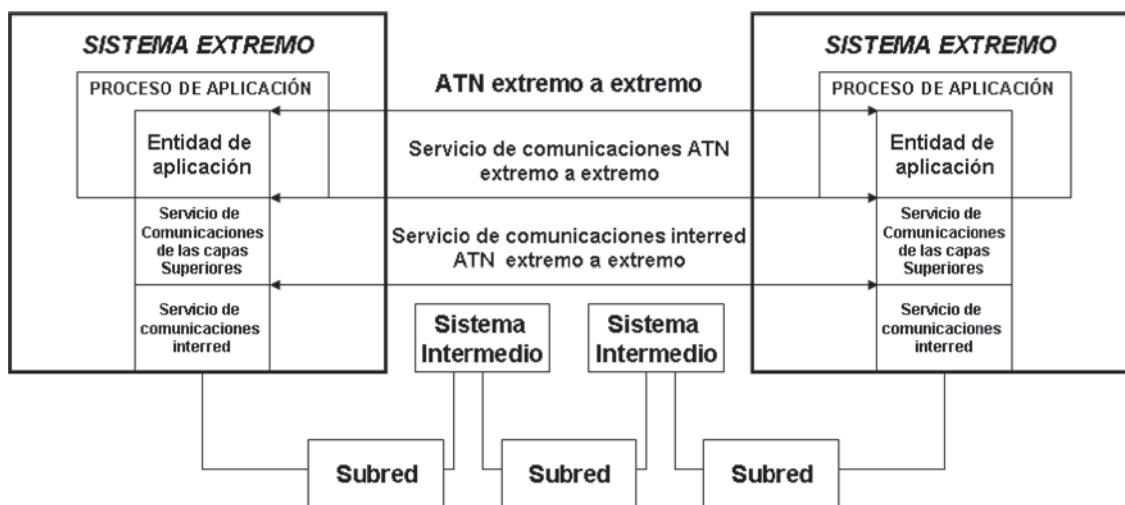
Los sistemas de comunicaciones engloban tanto comunicaciones tierra-aire como tierra-tierra, que permiten el intercambio de datos entre aviones y centros de control terrestres, así como entre diferentes centros de control en tierra. Tradicionalmente los sistemas de comunicaciones se han basado en la transmisión de voz VHF. Las limitaciones de la misma impulsaron el desarrollo de los enlaces de datos, siendo el ACARS el más extendido para aplicaciones no críticas. En el entorno ATC (*Air Traffic Control*), se están introduciendo los enlaces de datos para aplicaciones CPDLC, ganando cada vez más protagonismo e importancia en las comunicaciones. Se espera que en un futuro los enlaces de datos sean el medio principal en el que se basen las comunicaciones aeronáuticas, dejándose la voz como mecanismo de *back-up* para situaciones críticas.

A continuación se presentará el concepto de red de telecomunicaciones aeronáuticas así como las principales aplicaciones de comunicaciones.

### → **Red de Telecomunicaciones Aeronáuticas (ATN)**

En el Anexo 10 de la OACI se define la red ATN como una arquitectura entre redes que permite el interfuncionamiento de las subredes de datos de tierra, tierra/aire y aviónica mediante la adopción de servicios y protocolos con interfaces comunes basados en el modelo de referencia para la interconexión de sistemas abiertos OSI de la ISO (Organización Internacional de Normalización). Al basarse en normas de comunicaciones de datos internacionalmente reconocidas se facilita el desarrollo de sistemas armonizados alentándose así el suministro de unos servicios de red competitivos.

El modelo conceptual simplificado de la red ATN es el presentado en la siguiente figura:



**Ilustración 5.** ATN: Modelo conceptual simplificado

En la figura anterior observamos los distintos componentes de la red ATN:

- *Sistema Extremo (SE)*: Puede ser fijo o de a bordo.
- *Sistema Intermedio (SI)*: Suele equivaler a un encaminador. Puede ser fijo o de a bordo.
- *Subred*: Puede ser de tierra (Por ejemplo WAN X.25), de Tierra-aire (Por ejemplo VDL2) o de aviónica. Para que una subred forme parte de la ATN deberá ser independiente a nivel de código y de byte.



## → **Comunicaciones de voz**

La banda VHF reservada para las comunicaciones aeronáuticas es la comprendida entre 118 MHz y 137 MHz. Dentro de esta banda se proporciona a la aviación civil tanto servicios de voz como de datos.

La comunicación de voz en entornos aeronáuticos establece medios de comunicación que aseguren las comunicaciones críticas entre el centro de control y las aeronaves. Sin embargo, los sistemas de voz poseen unas claras desventajas como pueden ser:

- Limitaciones de la propagación actual de voz VHF como son la curvatura de la Tierra o la atenuación de la señal a lo largo del trayecto de propagación.
- Falta de cobertura completa de las comunicaciones de voz VHF, en especial en espacios aéreos oceánicos.
- Saturación del espectro VHF en numerosas zonas del planeta.
- Baja tasa de transferencia de información.
- Problemas de comunicación debidos a la naturaleza del idioma o al acento de los interlocutores.
- Posibilidad de cometer errores en la transmisión o en la comprensión del mensaje y elevada carga de trabajo para el controlador aéreo ya que debe ir transmitiendo las diferentes informaciones en tiempo real.

Por estos motivos, pese a que los enlaces de voz VHF ocupan en la actualidad la mayor parte de las comunicaciones aeronáuticas, se tiende a evolucionar a los enlaces de datos, cuyas ventajas pueden resumirse a continuación:

- Reducción de los errores y aumento de la seguridad.
- Mayor eficiencia en el uso del espacio aéreo disponible y mayor tasa binaria.
- Permiten una estandarización en el formato de los mensajes y su contenido, lo que supone una mejora en las comunicaciones internacionales.

### **A. Separación de canales 8,33 kHz**

La saturación existente en el espectro de frecuencias VHF requeridas para los servicios de comunicaciones tierra/aire en entornos aeronáuticos ha obligado a reducir la separación de canales existente de 25 kHz a 12,5 kHz y actualmente a 8,33 kHz.

Este cambio en la asignación de frecuencias permite aumentar el número de canales disponibles en la banda VHF de comunicaciones aeronáuticas, lo que permite la creación de nuevos sectores de control y contribuye así al aumento de la capacidad de gestión del tránsito aéreo (ATM: *Air Traffic Management*).

### • Plan de implantación en Europa

La OACI delegó en EUROCONTROL el desarrollo de un plan de acción que asegurara una planificación e implantación armonizada en la región europea. Una vez aprobado, EUROCONTROL creó el Grupo de Trabajo 8,33 (*8,33 Drafting Group*) para elaborar el plan de transición de acuerdo a las recomendaciones establecidas.

Finalmente, el Plan de Implantación de la separación 8,33 kHz entre canales en Europa fue aprobado en noviembre de 1996. Algunos aspectos importantes del plan de implantación son:

- La gestión de frecuencias relativa a la introducción de la separación 8,33 kHz, incluyendo la transición de sectores, la desviación de frecuencias y los beneficios del espectro.
- La modernización de los equipos de tierra y a bordo como una limitación industrial para la operación con canales de 8,33 kHz.
- Las normas y regulaciones para los Estados y los operadores de aeronaves.
- Los procedimientos operativos para los servicios de control de tráfico aéreo ATC las aeronaves y su influencia sobre los servicios de tráfico aéreo ATS.
- La estrategia a seguir para la supervisión de las operaciones 8,33 kHz tras la implantación.

Durante la fase de transición, se ha reservado una subbanda correspondiente a 132,000-134,800 MHz en la que inicialmente se desarrollarán las operaciones con frecuencias separadas en 8,33 kHz, dejando mayoritariamente las operaciones con frecuencias separadas 25 kHz fuera de esta subbanda.

### • Plan de implantación en España

El sistema de comunicaciones VHF Tierra/Aire en España está basado en la utilización de la técnica de frecuencias de portadoras desplazadas (*sistema off-set carrier*) incompatible con la separación de 8,33 kHz. Por ello, no es posible en gran número de casos migrar a esta separación entre canales. Sin embargo, estos sistemas *off-set carrier*, cuya utilización está bastante extendida, pueden continuar usándose en Europa durante bastantes años.



En cualquier caso, además de la capacidad de separación 8,33 kHz, el equipamiento instalado de comunicaciones VHF de las aeronaves deberá poder sintonizar canales espaciados 25 kHz y poder operar en un entorno que utilice frecuencias de portadoras desplazadas.

Información relevante sobre la implantación de la separación de 8,33 kHz puede encontrarse en los siguientes documentos:

<b>DOCUMENTACIÓN 8,33 kHz</b>
REGLAMENTO (CE) NO 1899/2006 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 12 de diciembre de 2006
Reglamento (CE) N° 1265/2007
8,33 kHz User Guide, Edition 5.1 (EUROCONTROL)
Circular AIC 02/06 de 21 de Febrero de 2002: Expansión Horizontal de 8,33 kHz entre canales en la banda de radiocomunicaciones VHF
Plan for the 8,33 kHz Channel Spacing Implementation in Europe (EUROCONTROL)
ANEXO 10 - Enmiendas 71 y 72 / Volumen II (Capítulo 5) y Volumen V (OACI).
Doc. 7030/4: Procedimientos Regionales Suplementarios (OACI).
Doc. 7754/22: Plan de Navegación Aérea-Región Europea (OACI).
Docs. RTCA SC-172 / RTCA 8,33 MOPS DO-186A. Doc. EUROCAE ED-23B. Doc. JAR OPS subparte L.
Doc. ETS 676: "Radio Transmitters and Receivers and Aeronautical Stations for the Aeronautical Mobile Service operating in the VHF Band" (European Telecommunication Standardisation Institute-ETSI).
JAA Guidance Material, Leaflet No. 7: "Operations with 8,33 kHz Channel Spacing VHF Communication Radios".

**Tabla 20. Documentación 8,33 kHz**

### → **Sistemas de comunicaciones de enlace de datos**

Las comunicaciones aeronáuticas críticas para la seguridad necesitan disponer de un conjunto de sistemas de enlace de datos que permitan dar soporte a las mismas confiriéndoles la calidad y robustez necesarias.

En este apartado se presentarán un conjunto de sistemas clasificados en función de la banda de frecuencias en la que funcionan. Asimismo, en la siguiente tabla se observa una clasificación de dichos sistemas en función del

grado de implantación actual de los mismos. Nos centraremos en la descripción de los sistemas actuales y de aquellos de implantación inminente:

Sistemas existentes en la actualidad	Sistemas de implantación inminente	Posibles tecnologías empleadas en los sistemas futuros
VHF DSB-AM (50,25 y 8,33 kHz)		CDMA
ACARS sobre VHF, HF y Satélite		TDMA
VDL	UAT	OFDM
HFDL	Mode S	Salto en frecuencia
SATCOM		3G / 4G
		MC-CDMA
		Familia 802.xx

**Tabla 21.** Sistemas de soporte CNS/ATM empleados en entornos aeronáuticos

## A. SISTEMAS VHF

- **ACARS (*Aircraft Communications Addressing and Reporting System*)**

ACARS, que opera en Europa a una frecuencia principal de 131,55 MHz, fue la primera solución para la transmisión de datos tierra-aire vía radio, disponible desde finales de los 70 y aún muy utilizada. Permite la transmisión de caracteres ASCII, aunque algunos caracteres no pueden ser utilizados ya que son empleados para el control del canal de datos. La interfaz aire permite una velocidad de 2,4 Kbps en 25 kHz de ancho de banda, empleando AM-MSK. Esto permite un caudal máximo de 300 bps.

El sistema ACARS está formado por una componente a bordo de la aeronave y otra terrena. A bordo del avión es necesario disponer de una unidad de gestión (MU: *Management Unit*), diseñada para enviar y recibir mensajes digitales hacia y desde tierra utilizando los equipos VHF ya instalados, y una CDU (*Control Display Unit*). En tierra, el sistema ACARS está constituido por una red de transceptores radio que reciben o transmiten los mensajes de datos.

Inicialmente los servicios como autorización de salida (DCL: *Departure clearance:*), D-ATIS (*Digital Automatic Terminal Information Service*) y OCM (*Oceanic Clearance Datalink Service*) se trasladaron desde la voz a los datos en ACARS. Algunas de las aplicaciones más utilizadas de ACARS son la identificación de la tripulación, la actualización de las condiciones climáticas, estado del motor y el de combustible, el estatus de vuelo, etc.



En cuanto a los diferentes tipos de mensajes ACARS que existen, destacan los siguientes:

- ATC (*Air Traffic Control*): Son mensajes para control del tráfico aéreo, utilizados entre la aeronave y el centro de control para peticiones y concesiones de autorización de vuelo. Estos mensajes están definidos en el estándar ARINC 623.
- AOC (*Aeronautical Operation and Control*)
- AAC (*Aeronautical Administrative Communications*): Comunicaciones aeronáuticas administrativas, empleadas para la transmisión de datos entre las aeronaves y las bases en tierra. Estos mensajes comprenden información sobre la posición de la aeronave, el consumo de combustible, etc.

Los mensajes ACARS anteriores pueden transmitirse por una de las tres subredes tierra-aire siguientes:

- a) Red VHF: Es la más común y la más barata. Presenta el inconveniente de que las transmisiones VHF deben ser con visión directa entre estaciones, por lo que no permite su uso en zonas oceánicas.
- b) Satélite: Proporciona cobertura global, excepto en las regiones polares a través de la red INMARSAT. Es un servicio caro.
- c) Red HF: Es la subred que se ha establecido más recientemente con el propósito de cubrir las regiones polares donde las comunicaciones por satélite no llegan.

Los detalles del protocolo ACARS y su interfaz aire están definidos en la especificación AEEC 623. La estandarización se describe en EUROCAE y RTCA, pero no existe ningún estándar de la OACI. Hoy en día existen dos proveedores de este servicio que son ARINC y SITA y ambos tienen canales de 25 kHz en Europa y los Estados Unidos.

La calidad de servicio de ACARS es bastante pobre en los estándares de comunicaciones con aproximadamente un 5% de información no entregada. El plan es que ACARS sea finalmente sustituido por VDL2, VDL3 y VDL4 y complementado por servicios de satélite y de HF. Tanto VDL como el satélite tienen mayor garantía de entrega correcta de los datos enviados.

### ● **VDL1 (VHF Digital Link Mode 1)**

VDL1 se concibió para la introducción inicial del servicio de voz digital empleando radios analógicas. Fue diseñado como sustitución del servicio ACARS empleando la modulación AM-ASK, caracterizada por su baja tasa binaria. Esto condenó irremediablemente la evolución del VDL1 que pese a



haber sido estandarizado en un primer momento jamás se ha implantado operacionalmente y ha sido superado por la tecnología VDL2.

- **VDL2 (VHF Digital Link Mode 2)**

El estándar VDL2 fue creado y aceptado por OACI a finales de 1996 y se incorporó al Anexo 10 de la OACI en 1997. Se estandarizó en paralelo con VDL1 pero con un esquema de modulación superior (8DPSK). VDL2 requiere también una canalización de 25 kHz y actualmente está operativo en Europa, Estados Unidos y Japón.

Su propósito inicial fue permitir la definición de un nuevo protocolo de mensajería tierra-aire dentro del estándar OACI de la ATN, proporcionando así la capacidad e integridad necesarias para introducir el servicio de comunicaciones de datos entre piloto y controlador CPDLC (*Control – Pilot Data Link Communications*), que se describirá más adelante, en las zonas del espacio aéreo altamente ocupadas. VDL2 está diseñado para soportar tanto comunicaciones AOC como ATS. En un principio se diseñó como una sustitución de ACARS, proporcionando mayor fiabilidad y capacidad. Es por tanto compatible con dicho servicio proporcionando además mayores tasas binarias. El servicio que ofrece es T/A (tierra/aire) punto a punto, careciendo de capacidades de difusión.

VDL Modo 2 opera en la banda VHF reservada para las comunicaciones aeronáuticas (118 – 137 MHz) en canales de 25 kHz. Desde 2002 ha estado operativo en Europa en el canal 136,975 MHz pero en 2008 se ha extendido a otros tres canales (136,725 MHz, 136,775 MHz y 136,875 MHz). Emplea una modulación 8-DPSK que le permite alcanzar los 31,5 Kbps (10,5, un caudal muy superior al logrado con VDL1).

El método de control de acceso al medio para la capa de enlace es el algoritmo CSMA, por lo que la velocidad real a este nivel es de 15 Kbps. A nivel de enlace, se utiliza el protocolo de control AVLK (*Aviation VHF Link Control*), derivado de HDLC (*High-Level Data Link Control*), y el protocolo de gestión LME (*Link Management Entity*).

Esta tecnología tiene como ventaja el hecho de que ya existan equipos de aviónica disponibles. Sin embargo, el acceso CSMA genera un retardo indeterminado que hace que el sistema no alcance los requisitos de integridad necesarios para determinados servicios de tiempo real (como la voz) en áreas de alta densidad.





### ● VDL3 (VHF Digital Link Mode 3)

VDL Modo 3 fue diseñado por la FAA (*Federal Aviation Administration*) de EE.UU. para soportar de forma integrada comunicaciones T/A de voz digitalizada y datos en un solo terminal de usuario, tanto punto a punto como punto a multipunto (difusión de una estación de tierra a todas las aeronaves). Este sistema no está operativo en Europa. El funcionamiento de VDL Modo 3 es similar al de las comunicaciones de voz analógicas en que todas las aeronaves en un sector de espacio aéreo controlado son asignadas al circuito empleado por el controlador en ese sector.

Las características de VDL Modo 3 son iguales al Modo 2, a excepción del protocolo de acceso, que es TDMA. VDL3 es el primer sistema de comunicaciones aeronáuticas que emplea este protocolo. El formato de la interfaz aire es un sistema TDMA constituido por cuatro *slots* temporales, cada uno de los cuales se puede configurar como canal de voz o circuito de datos. La tasa binaria de cada trama es de 1 trama cada 120 ms, y la tasa de *slot* es por lo tanto 1 *slot* / 30 ms.

La modulación D8PSK empleada en VDL3 proporciona una tasa de 10,5 baudios (símbolos/segundo), que equivale a 31,5 Kbps. También hay que destacar que VDL3 utiliza un algoritmo para codificar voz que introduce un retardo total de 240 ms, lo que supone una limitación para las aplicaciones ATC.

### ● VDL4 (VHF Digital Link Mode 4)

VDL4 fue diseñado originalmente como un enlace de transmisión de datos para dar soporte a las actividades de navegación y vigilancia aeronáuticas. Fue presentado inicialmente por la OACI y estandarizado por SARPS en el año 2000, por EUROCAE MOPS for ADS-B<sup>11</sup> en 2001 y por la ETSI en Europa en 2002.

El objetivo inicial de VDL4 era mejorar las deficiencias que se habían encontrado en las versiones anteriores (VDL1, 2, 3). Este sistema VDL4 soporta tratamiento de prioridad de mensajes y hace posible el soporte de servicios de comunicaciones críticos en el tiempo. Asimismo, puede trabajar en modo punto a punto además de en modo de difusión (punto a multipunto). Este sistema está más orientado hacia funciones de vigilancia, como es ADS-B.

---

<sup>11</sup> El sistema de vigilancia ADS se detallará en apartados posteriores.

#### ► Interfaz aire de VDL4

La interfaz aire emplea una modulación GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*) con una tasa binaria de 19,2 Kbps. Dicha modulación optimiza la tasa de información frente a la relación C/I (Portadora a interferencia), que proporciona la mejor eficiencia espectral posible en bits/Hz. En la interfaz aire no existe corrección de errores FEC (*Forward Error Correction*), la cual se implementa en el nivel de aplicación del sistema.

El protocolo de acceso es STDMA (*Self organizing Time Division Multiplexing*), que permite distribuir las prioridades entre los diferentes usuarios de manera que las diferentes aplicaciones reservan los intervalos temporales de la trama TDMA que requieren sin necesidad de una estación de coordinación. Para ello, se utiliza un canal de control central denominado GSC (*Global Signalling Channel*) que permite que cada estación móvil trabaje de forma autónoma ya que las estaciones de tierra anuncian en los GSCs la disponibilidad de servicios en canales no-GSC.

Por lo tanto, el hecho de que VDL4 no requiera de una infraestructura de red terrestre (aunque pueda utilizarse si se desea una estación terrena para controlar la red) le confiere una gran flexibilidad y permite su utilización en zonas oceánicas o polares para comunicaciones entre aeronaves, para actividades de navegación o funciones de vigilancia, permitiendo proporcionar el servicio de vigilancia automática dependiente de difusión (ADS-B).

La estructura TDMA es una supertrama de duración 60 segundos con 4500 *slots* temporales, cada uno de ellos de 13,33 ms. La reserva de intervalos temporales (*slots*) dentro de esta trama por las diferentes aplicaciones puede llevarse a cabo con 4 minutos de antelación, siendo posible utilizar cada *slot* para transmitir o recibir señales de cualquier estación móvil operativa dentro de la red. Asimismo, VDL4 permite enviar la posición de la aeronave al menos una vez por minuto, pudiendo ser incluso difundida cada 5 segundos si así se solicita.

#### ► Sincronización VDL4

La sincronización de cada una de las estaciones móviles VDL4 con el estándar de tiempo universal (hora UT) puede llevarse a cabo de diferentes maneras. Para ello, existe un orden de prioridad, empleándose, según dicho orden, los siguientes sistemas para sincronizar:

- Receptores satélite: Como GPS o Galileo.
- Relojes atómicos a bordo de la aeronave.
- Redes de tierra (cuando están disponibles).
- Otras estaciones móviles.
- Operaciones no sincronizadas.

► Canalización VDL4

En Europa, VDL4 cuenta con canales de 25 kHz en la banda de comunicaciones VHF especificada por la OACI (108 – 117,975 MHz). La ETSI prevé la ampliación al rango 108 – 117,975 MHz.

► Servicios VDL4

VDL4 soporta servicios ATC (*Air Traffic Control*) así como otros servicios de comunicaciones, navegación y vigilancia (CNS). Tiene la desventaja de operar en una banda de frecuencias congestionada y reservada para comunicaciones, no para vigilancia.



**Ilustración 6.** Comparativa usos VDL 2,3,4

● **TABLAS RESUMEN DE LOS SISTEMAS DE SOPORTE VHF**

	<b>FORTALEZAS</b>	<b>DEBILIDADES</b>
<b>ACARS/ VDL1</b>	Robusto, Eficacia comprobada, Maduro, Desarrollado, Desplegado	Velocidad y aplicaciones limitadas, Saturado, No estandarizado
<b>VDL2</b>	Estandarizado, Velocidad Moderada, Aplicaciones comprobadas, Eficacia comprobada	Problemas con canales adyacentes, no hay prioridad en el tráfico de datos, no soporta voz ni aplicaciones en tiempo real, protocolo débil
<b>VDL3</b>	Voz y datos sobre un mismo canal radio, Soporta prioridades y aplicaciones críticas en el tiempo, Caudal más eficiente	Aún se encuentra en proceso de implantación
<b>VDL4</b>	Caudal de datos eficiente, aplicaciones flexibles (incluye navegación y vigilancia), Comunicaciones aire-aire, autogestión, adecuado para áreas remotas	No soporta voz en tiempo real, aún se encuentra en proceso de implantación

**Tabla 22.** Fortalezas y debilidades de los sistemas ACARS y VDL

	<b>VDL2</b>	<b>VDL3</b>	<b>VDL4</b>
<b>Voz</b>	No	Sí	Sí
<b>Datos</b>	Sí	Sí	Sí
<b>Espectro requerido</b>	25 kHz	25 kHz	25 kHz
<b>S/N</b>	26 - 27 dB	26 - 27 dB	10 dB
<b>Número de bandas de guarda</b>	2	2	0
<b>Velocidad de transmisión de datos</b>	31,5 Kbps	31,5 Kbps	19,2 Kbps
<b>Modulación</b>	D8PSK	D8PSK	GFSK
<b>Subred de comunicaciones</b>	Aire- Tierra	Aire – Tierra	Aire - Tierra y Aire - Aire
<b>Control de red</b>	Control desde tierra No se necesita sincronización	Control desde tierra Sincronización desde tierra	Control desde tierra o aire Sincronización desde tierra o aire
<b>Protocolo de acceso</b>	Aleatorio → CSMA	Aleatorio → TDMA, CSMA	Organizado → STDMA
<b>Conexiones de comunicación por cada canal</b>	Máximo 1	Máximo 4: - 3 de voz + 1 de datos - 2 de voz + 2 de datos	Escalable

**Tabla 23.** Comparativa entre VDL 2,3 y 4

## **B. SISTEMAS HF**

- **HFDL (*HF Data Link*)**

En paralelo al desarrollo de los enlaces de datos VHF, surgió también la necesidad de transmitir datos entre diferentes aeronaves o entre aeronaves y tierra para nuevas aplicaciones (de comunicaciones, navegación y vigilancia) y para soportar comunicaciones AOC y ATS en vuelos de larga distancia. Para ello se necesitaban enlaces HF.

HFDL surge entonces como un servicio de enlace de datos tierra-aire proporcionado por ARINC empleando para ello un conjunto de estaciones de tierra. Se caracteriza por su largo alcance, de miles de kilómetros, ya que hace uso de la reflexión en la ionosfera como método de propagación. Esto supone una ventaja operativa en zonas remotas como el Polo Norte o en largas rutas oceánicas donde no existe cobertura VHF. Proporciona dos modos de operación: DLS (*Direct Link Service*) y RLS (*Reliable Link Service*).



Cada estación de tierra suministra servicios simultáneamente en tres o cuatro frecuencias dentro de la banda HF. Las aeronaves pueden medir de manera automática la calidad de cada canal y elegir la frecuencia más apropiada para la comunicación. Una vez se ha encontrado la frecuencia más adecuada para transmitir, la aeronave envía a la estación terrena un mensaje de registro (*log-on*) y espera la confirmación por parte de la estación correspondiente.

La modulación de la señal es M-PSK, con codificación *Gray* y protocolo de acceso TDMA. La velocidad de los datos puede ser de 300, 600, 1200 y 1800 bps, dependiendo de las condiciones de propagación del entorno. HFDL introduce un adaptador dinámico de la tasa de bit basado en la relación señal a ruido y en la duración del mensaje.

En cuanto a los canales asignados a HFDL, son los siguientes:

Canales HFDL	
3007 kHz	10084 kHz
6646 kHz	11384 kHz
6712 kHz	13339 kHz
8942 kHz	15025 kHz
8977 kHz	17990 kHz

**Tabla 24. Canales HFDL**

Entre las principales ventajas de HFDL destacan las siguientes:

- Permite a los aviones no equipados con equipos de comunicaciones por satélite mantener comunicaciones de larga distancia.
- Da cobertura en zonas polares donde los sistemas por satélite no dan servicio.
- Combinado con el servicio por satélite, HFDL es un sistema que reúne los requisitos para soportar los servicios CNS/ATM<sup>12</sup> de la ATN.

Sus limitaciones más importantes son una baja disponibilidad de frecuencias, altos retardos de transferencia e inestabilidad debido a la ionosfera.

#### • **VOLMET (meteorological information for aircraft in flight)**

VOLMET es una red de estaciones radio HF extendida a nivel mundial que transmite mediante radiodifusión reportes periódicos con información meteorológica a los aviones que se encuentran en fase de vuelo.

<sup>12</sup> DME/N. Equipo radiotelemétrico, principalmente para cubrir las necesidades operacionales de la navegación en ruta o TMA, donde la "N" identifica las características de espectro estrecho.

Asimismo, durante los periodos en los que no se transmite, estas estaciones permanecen a la escucha en la frecuencia de socorro para detectar posibles emergencias.

## **C. SATCOM (COMUNICACIONES POR SATÉLITE)**

Las comunicaciones aeronáuticas por satélite se basan principalmente en el empleo de satélites geoestacionarios. El principal proveedor de servicios que emplea satélites de este tipo es Inmarsat. En el sector de la aviación se emplean estos satélites principalmente para proporcionar el servicio móvil aeronáutico por satélite (AMS(R)S).

Asimismo, también se emplean constelaciones de satélites de órbita baja (LEO: *Low Earth Orbit*) lo que proporciona la ventaja de presentar retardos menores en la transmisión de señal que en el caso de satélites geoestacionarios, donde existe un retraso de 240 – 280 ms (por lo que no es posible llevar a cabo una comunicación en tiempo real y no pueden ser usados para aplicaciones críticas como pueden ser despegues y aterrizajes). Iridium es el principal proveedor de servicios que trabaja con este tipo de satélites. Los servicios que proporciona Iridium incluyen servicios APC, AAC, AOC y ATS, los cuales se verán en detalle en apartados posteriores.

### **• Servicio Móvil Aeronáutico por Satélite (AMS(R)S)**

Para proporcionar una amplia cobertura sobre la Tierra, es necesario disponer en los satélites de haces de cobertura global, que permitan dar servicio en las zonas oceánicas y en las zonas con gran escasez de población donde es inviable económicamente el empleo de enlaces VHF. El empleo de tres satélites podría proporcionar una cobertura sobre casi toda la superficie del planeta, pudiéndose utilizar también cuatro con un cierto solapamiento entre sí. Sin embargo, y debido a la geometría del planeta, no es posible cubrir con los satélites geoestacionarios las regiones polares.

Además de los satélites principales de gran cobertura, se utilizan también satélites con haces *spot*, es decir, con haces estrechos y dirigidos, empleados para proporcionar una capacidad adicional en zonas de gran actividad (como puede ser Europa).

#### **► Modulación:**

Para aquellos servicios de menor tasa binaria, se utiliza la modulación BPSK característica de la aviación (A-BPSK), cuyo caudal bruto puede ser de 2,4 Kbps, 1,2 Kbps o 0,6 Kbps.



Por otro lado, para los servicios con necesidades mayores de ancho de banda, se obtienen caudales superiores a 2400 Kbps, empleando para ello una modulación A-QPSK (*Aeronautical QPSK*).

► Protocolos:

AMS(R)S emplea protocolos OSI. El establecimiento de la llamada se lleva a cabo a través de los denominados canales P y R. Por su parte, la transmisión de datos se efectúa a través de los canales T y C. El *canal P* es un canal que opera en modo paquete, utilizando multiplexación temporal TDM de transmisión continua desde las estaciones terrenas aeronáuticas hacia las aeronaves a través del transpondedor del satélite. De este modo se lleva a cabo la señalización de datos de usuario para los enlaces de establecimiento y sincronización. Por su parte, el *canal R* es un canal de acceso aleatorio que emplea el formato *Slotted Aloha*, empleado para transmitir desde la aeronave señalización y datos de usuario. Asimismo, este canal puede soportar información local de sincronización e información de gestión de red.

El canal T (transmitido desde la aeronave) es un canal de datos que emplea el protocolo TDMA para asignar intervalos temporales a las aeronaves. En cuanto al canal C (bidireccional), este opera en modo circuito con un canal por portadora transmitida (SCPC). Este canal multiplexado por distribución en el tiempo (TDM) constituye un canal primario para el tráfico de voz o datos, y un canal de subbanda para señalización, supervisión y mensajes de datos. El empleo de este canal se controla mediante señalización de asignación y de liberación al comienzo y al final de cada transacción.

► Retardos de tránsito:

Se define retardo de tránsito de un sistema de datos como el tiempo transcurrido entre una petición de transmisión de un paquete de ensamblado de datos y una indicación en el extremo de recepción de que el paquete correspondiente ha sido recibido y de que está preparado para ser utilizado o transferido. Tal y como se indica en el Anexo 10 de la OACI, en su Vol.3, Cap. 4, el retardo de tránsito en el sistema no deberá exceder los valores siguientes:



Velocidad de transmisión mínima que utiliza la estación a bordo (bps)	Retardo de tránsito máximo (s)		
	Hacia la aeronave		Desde la aeronave
	Servicio de prioridad máxima	Servicio de prioridad mínima	Servicio de prioridad mínima
600	12	40	40
1200	8	25	30
2400	5	12	15
4800	4	7	13
10500	4	5	13

**Tabla 25.** Retardos de tránsito máximos

Asignación de bandas de frecuencia:

Las bandas de frecuencias empleadas para el servicio AMS(R)S son las siguientes:

- Hacia la aeronave: 1544 – 1555 MHz
- Desde la aeronave: 1645,5 – 1646,5 MHz





	FRECUENCIAS	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN	MODULACIÓN	PROTOCOLO DE ACCESO	SERVICIOS
<b>VHF</b>	<i>ACARS</i>	131,55 MHz (Europea) 136,975 MHz 136,725 MHz 136,775 MHz 136,875 MHz	300 bps	MA-MSK	ATC, AOC, ATS
	<i>VDL2</i>		31,5 kbps	8DPSK	CPDLC, AOC, ATS
	<i>VDL3</i>		31,5 kbps	8DPSK	No ATC
	<i>VDL4</i>	136,925 MHz 136,825 MHz	19,2 kbps	8DPSK	ATC, CNS
<b>HF</b>	<i>HF DL</i>	3007 kHz 6646 kHz 6712 kHz 8942 kHz 8977 kHz 10084 kHz 11384 kHz 13339 kHz 15025 kHz 17790 kHz	300, 600, 1200 o 1800 bps	M-PSK	CNS, AOC, ATS
<b>OTRAS BANDAS</b>	<i>SATCOM (AMPS(S))</i>	Hacia la aeronave: 1544 - 1555 MHz	2,4 kbps	Según canal: P, R, T, C	APC, AAC, AOC, ATS
		Desde la aeronave 1645,5 - 1646,5 MHz	1,2 kbps 0,6 kbps > 2400 kbps		

**Tabla 26.** Tabla resumen sistemas de enlace de datos

## → Aplicaciones de comunicaciones

A continuación se presentan algunas de las aplicaciones de comunicaciones diseñadas para entornos aeronáuticos:

### ● CPDLC (Controller – Pilot Data Link Communications)

CPDLC es una aplicación ATN de enlace de datos que permite el intercambio directo de mensajes rutinarios de texto entre el controlador y el piloto, reduciéndose así el número de mensajes de voz entre ambos. Las comunicaciones CPLDC sólo pueden llevarse a cabo si el avión está equipado con un software adecuado. Un ejemplo de aplicación actual de CPDLC es su empleo para mensajería AMHS (*Aeronautical Message Handling System*) para comunicaciones aeronáuticas tierra-tierra.

Las disposiciones técnicas para la aplicación CPDLC se definen en el *Doc 9705, Subvolumen II*.

Entre las ventajas que presenta el empleo de CPDLC destacan:

- Los miembros de la tripulación pueden imprimir mensajes.
- Permite la autocarga de mensajes específicos del enlace ascendente en el FMS (*Flight Management System*), lo que permite reducir los errores humanos en estos mensajes.
- Permite a la tripulación solicitar la autorización de una ruta, la cual puede ser directamente reenviada y aprobada por el controlador sin necesidad de repetir nuevamente todas las coordenadas de la misma.
- Envío de mensajes específicos del enlace ascendente que informan de algún suceso importante, como puede ser el cruce de rutas entre dos aeronaves.

En la actualidad existen dos implementaciones fundamentales de CPDLC en la banda de VHF:

- Sistema FANS-1/A: basado en ACARS y en el servicio clásico de Inmarsat Data-2.
- Sistema ATN/CPDLC (Doc9705 de la OACI): se basa en el sistema VDL Mode 2.

### ● ACC (Air Control Communication System)

El sistema de control aéreo es utilizado por las diferentes aerolíneas para determinar la posición de sus aviones asegurando así la correcta navegación de los mismos. Este servicio se basa en comunicaciones de voz y datos VHF, HF y vía satélite a través de Inmarsat.

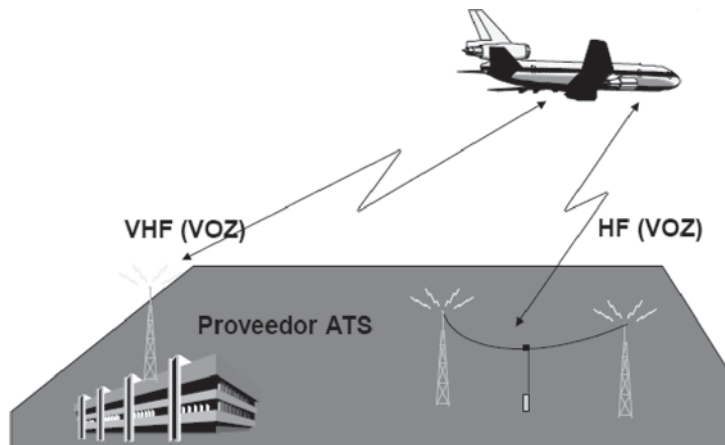
- **TIS (Traffic Information Service)**

El servicio TIS permite intercambiar la información necesaria para coordinar aviones en vuelo y aviones en la tierra moviéndose por las diferentes pistas de los aeropuertos.

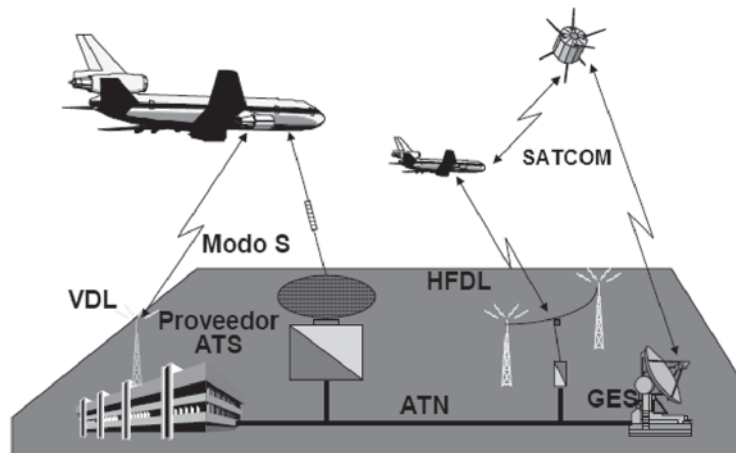
- **ATIS (Automatic Terminal Information System)**

El sistema ATIS se utiliza en los aeropuertos para informar en tiempo real mediante mensajes de voz a las aeronaves en fase de despegue o aterrizaje de las condiciones atmosféricas locales. Asimismo, transmiten información relativa a las condiciones de las pistas de aterrizaje, frecuencias de comunicación y cualquier otra comunicación de importancia para las aeronaves que se encuentran dentro de las instalaciones del aeropuerto. Los mensajes ATIS se transmiten en VHF.

En las siguientes ilustraciones se muestra una panorámica general de la situación actual de las comunicaciones y de sus perspectivas futuras:



**Ilustración 7.** Ambiente actual sistemas de Comunicaciones



**Ilustración 8.** Ambiente futuro sistemas de comunicaciones

### 5.2.1.2. SISTEMAS DE NAVEGACIÓN

Los sistemas de radionavegación son sistemas de navegación complejos que transmiten señales electrónicas. Tradicionalmente, estos sistemas se han basado en señales terrestres pero en el futuro estos serán sustituidos por los sistemas de navegación basados en señales de satélite, que proporcionan una mayor disponibilidad y fiabilidad. A continuación, se presenta una descripción de algunos de los sistemas de radionavegación aeronáutica más importantes:

- **ILS (Instrumental Landing System)**

El ILS (Sistema de aterrizaje por instrumentos) permite aterrizar de manera segura a las aeronaves cuando las condiciones de visibilidad son nulas. Está basado en diferentes estaciones transmisoras y receptoras situadas en tierra y a bordo de la aeronave respectivamente que permiten al piloto conocer su posición exacta. El ILS proporciona un guiado tanto vertical (UHF) como horizontal (VHF) a la aeronave para realizar aproximaciones a tierra muy precisas.

Existen tres categorías de funcionamiento ILS que se recogen en la tabla siguiente, y que se diferencian por su precisión para realizar aterrizajes:

CATEGORÍA	Altura de decisión	Visibilidad
CAT I	60 m	732 m
CAT II	30 m	366 m
CAT III	15 m	213 m

**Tabla 27.** Categorías ILS



El ILS está compuesto por:

- Equipo localizador VHF, con su sistema monitor correspondiente y un equipo de telemando e indicador.
- Equipo UHF de senda de planeo, con su sistema monitor correspondiente y un equipo de telemando e indicador.
- Radiobalizas VHF, o equipo radiotelemétrico (que funciona en UHF) (DME: *Distance Measurement System*) con su sistema monitor correspondiente, equipo de telemando e indicador.
- Marcador externo.
- Sistema luminoso de aproximación.

A continuación se presenta una descripción detallada de los diferentes componentes del sistema ILS:

#### **a) Localizador VHF**

La radiación del sistema de antenas del localizador produce un diagrama de campo compuesto, modulado en amplitud por un tono de 90 Hz y otro de 150 Hz. El diagrama de campo de radiación produce asimismo un sector de rumbo con un tono predominando en un lado del rumbo y el otro tono predominando en el lado opuesto.

En cuanto a las frecuencias de trabajo del localizador VHF, éste trabajará en la banda de 108-111,975 MHz. Cuando se use una sola radiofrecuencia portadora, la tolerancia de frecuencia no ha de sobrepasar el  $\pm 0,005\%$ . Cuando se usen dos radiofrecuencias portadoras la tolerancia de frecuencia no excederá de  $0,002\%$  y la banda nominal ocupada por las portadoras debe ser simétrica respecto a la frecuencia asignada.

#### **b) Equipo de senda de planeo UHF**

La radiación del sistema de antenas de senda de planeo, UHF, producirá un diagrama de campo compuesto modulado en amplitud por un tono de 90 Hz y otro de 150 Hz. Dicho diagrama se dispone de manera que suministre una trayectoria de descenso de la aeronave recta en el plano vertical que contenga al eje de la pista, con el tono de 150 Hz predominando por debajo de la trayectoria y el tono de 90 Hz predominando por encima de la misma por lo menos hasta un ángulo igual a  $1,75\varphi$  (Siendo  $\varphi$  el ángulo de la senda nominal de planeo ILS).

Según se recomienda en el Volumen I, Cap. 3 del Anexo 10 de la OACI, el equipo de senda de planeo ha de ajustarse para suministrar una trayectoria radiada de  $2^\circ$  a  $4^\circ$  respecto a la horizontal. En condiciones normales,  $\varphi$  ha de ser igual a  $3^\circ$ , y sólo se superará este valor cuando no sea posible satisfacer los requisitos de franqueamiento de obstáculos de otra manera.

Este equipo funciona en la banda de frecuencias 328,6 – 335,4 MHz, pudiendo emplearse una o dos portadoras. En los sistemas de una sola portadora, la tolerancia de frecuencia será como máximo del 0,005 %. Por su parte, en los sistemas de doble portadora, la tolerancia no excederá el 0,02%, siendo la banda nominal ocupada por ambas portadoras simétrica respecto a la frecuencia asignada.

*-Pares de frecuencias del localizador y de la senda de planeo:*

Los pares de frecuencias del transmisor del localizador de pista y de la senda de planeo de un sistema ILS, se han de tomar de la siguiente tabla, tal y como se dispone en el Volumen V, Cap. 4 del Anexo 10 de la OACI.

Localizador (MHz)	Senda de planeo (MHz)	Localizador (MHz)	Trayectoria de planeo (MHz)
108,1	334,7	110,1	334,4
108,15	334,55	110,15	334,25
108,3	334,1	110,3	335
108,35	333,95	110,35	334,85
108,5	329,9	110,5	329,6
108,55	329,85	110,55	329,45
108,7	330,5	110,7	330,2
108,75	330,35	110,75	330,05
108,9	329,3	110,9	330,8
108,95	329,15	110,95	330,65
109,1	331,4	111,1	331,7
109,15	331,25	111,15	331,55
109,3	332	111,3	332,3
109,35	331,85	111,35	332,15
109,5	332,6	111,5	332,9
109,55	332,45	111,55	332,75
109,7	333,2	111,7	333,5
109,75	33,05	111,75	333,35
109,9	333,8	111,9	331,1
109,95	333,65	111,95	330,95

**Tabla 28.** Pares de frecuencias ILS

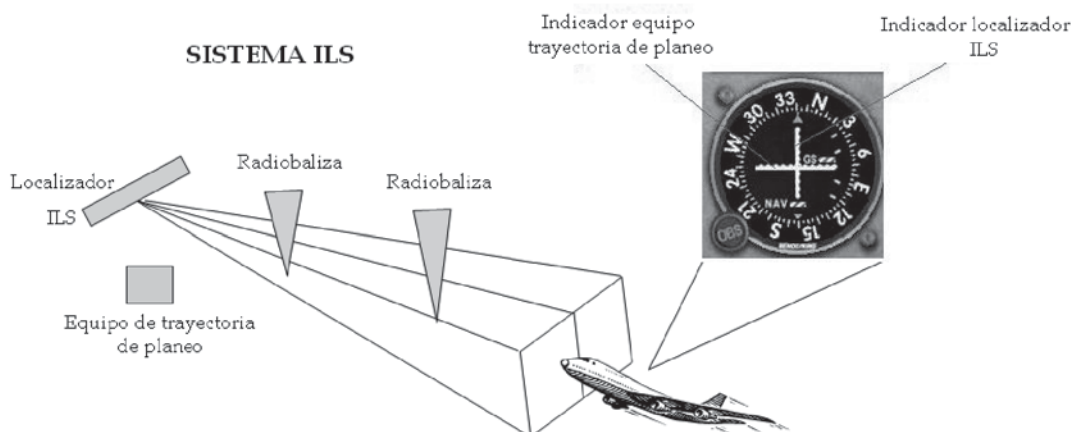
### c) Radiobalizas VHF

En los sistemas ILS existen por norma general dos radiobalizas por cada instalación, pudiéndose añadir una tercera en algunos casos y siempre que así se estime por parte de la autoridad competente. La misión de estas radiobalizas es producir diagramas de radiación para indicar distancias (predeterminadas) al umbral a lo largo de la senda de planeo ILS.

Las radiobalizas trabajan en la frecuencia de 75 MHz con una tolerancia en frecuencia de  $\pm 0,005 \%$ .

Las modulaciones empleadas en las radiobalizas serán las siguientes:

- Radiobaliza interna (si se instala): 3000 Hz → Esta radiobaliza se situará de manera que en condiciones de mala visibilidad indique la inminente proximidad del umbral de la pista.
- Radiobaliza intermedia: 1300 Hz → Esta radiobaliza se situará de manera que indique la inminencia de la orientación de aproximación visual en condiciones de poca visibilidad.
- Radiobaliza exterior: 400 Hz → Esta radiobaliza se situará de manera que pueda proporcionar verificaciones de funcionamiento del equipo, altura y distancia a la aeronave durante la aproximación tanto intermedia como final.



**Ilustración 9.** Sistema ILS

Debemos indicar que el sistema ILS tiene una serie de limitaciones que hacen que sea insuficiente para las necesidades futuras de los entornos aeronáuticos. Dichas limitaciones son, entre otras, el gran coste de sus instalaciones, la existencia de un único trayecto de aproximación en el sistema, la existencia de interferencia multitrayecto y las limitaciones de canal (hasta un máximo de 40 canales).

### • **MLS (Microwave Landing System)**

El MLS (Sistema de aterrizaje por microondas) es la evolución del ILS. Este sistema proporciona un guiado muy preciso a la navegación aérea que permite al avión establecer un alineamiento, una aproximación a tierra y un aterrizaje de forma segura y eficaz. Para ello se proporciona información sobre la

posición en un amplio sector de cobertura en el que se obtienen datos de azimut, elevación y distancia a tierra.

El sistema básico MLS está dividido en las siguientes partes:

- a) *Equipo de azimut de aproximación, con su monitor asociado, control remoto y equipo indicador:* Las antenas del equipo terrestre de azimut presentan un haz en forma de abanico, estrecho en el plano horizontal, ancho en el plano vertical y que se explora horizontalmente entre los límites del sector de guía proporcional. La anchura de haz de la antena no excederá los 4°. Esta antena de aproximación de azimut proporciona una cobertura lateral de 80° (40° a cada lado del centro del haz). Suele estar localizada a unos 300 m del final de pista.
- b) *Equipo de elevación de aproximación, con su monitor asociado, control remoto y equipo indicador:* Las antenas del equipo terrestre de elevación presentan un haz en forma de abanico, que ahora es estrecho en el plano vertical y ancho en el horizontal, y se explora verticalmente entre los límites del sector de guía. La anchura de haz de la antena no excederá los 2,5°. La estación de guía vertical transmite señales de la misma frecuencia que la antena de azimut (las frecuencias empleadas se detallan más adelante).
- c) *Equipo de a bordo*
- d) *Medio para codificación y transmisión de datos críticos, con su monitor asociado, control remoto y equipo indicador:* La estación terrena de guía de azimut incluye una transmisión de datos en su señal que incluye datos básicos (azimut, ángulo de inclinación) y auxiliares (condiciones de la ruta, estado del viento, condiciones meteorológicas).
- e) *DME/N<sup>13</sup> (Equipo de medida de distancia), con su monitor asociado y equipo indicador.*

Las funciones MLS operan en cualquiera de los 200 canales asignados en la banda de frecuencias 5031,0 MHz - 5090,7 MHz.<sup>14</sup> Además, se amplía la banda de asignación de canales a 5030,4 MHz - 5150,0 MHz para poder así satisfacer posibles necesidades futuras de la navegación aérea.

Por otro lado hay que destacar que en el sistema MLS, tanto la información de la posición como los datos se transmitirán mediante multiplexación temporal (TDM) en un canal de radiofrecuencia único. Además, las transmisiones procedentes de los diferentes equipos MLS situados en tierra que presten servicio a una determinada pista, han de estar sincronizados temporalmente

<sup>13</sup> DME/N. Equipo radiotelemétrico, principalmente para cubrir las necesidades operacionales de la navegación en ruta o TMA, donde la "N" identifica las características de espectro estrecho.

<sup>14</sup> Los canales detallados se especifican en el Anexo 10 de la OACI, Vol. I, Apéndice A.



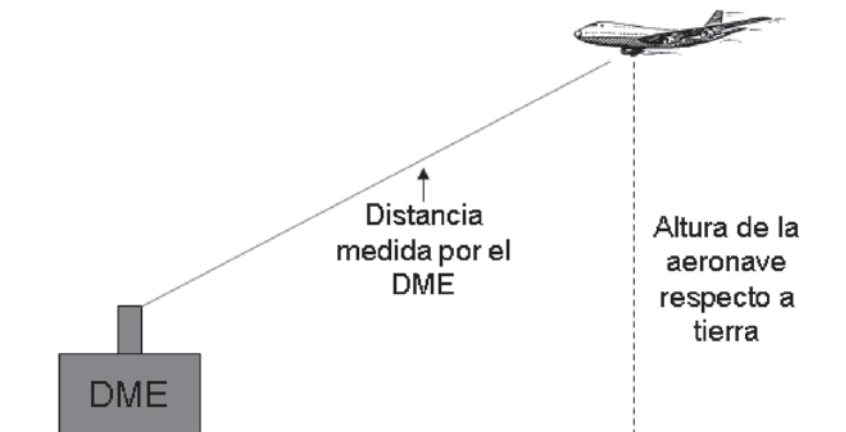
para poder asegurar así operaciones libres de interferencia en el canal común de operación.

- **DME (Distance Measurement Equipment)**

El equipo de medida de distancia es un sistema telemétrico de ayuda a la navegación formado por un transceptor UHF (que funciona en la banda 960 - 1215 MHz) con indicación en cabina. Este equipo proporciona una indicación continua y precisa en la cabina de mando sobre la distancia oblicua a la estación DME en millas náuticas, utilizando para ello un equipo radar.

El emisor situado en el avión envía una señal de aproximadamente 1 GHz, la cual es recibida en la estación terrestre DME, que reenvía otra señal con diferente frecuencia a la aeronave, conociéndose de este modo la distancia entre ambos.

En la práctica la medida de distancia de la estación DME se combina también con los sistemas VOR, MLS, ILS y TACAN que proporcionan datos sobre el azimut del avión, lo que permite al piloto conocer su posición exacta basándose en dicho azimut y en la distancia a un punto conocido de la Tierra (la estación DME).



**Ilustración 10.** Sistema DME

- **VOR (VHF Omnidirectional Range)**

Es un sistema VHF (112 MHz – 118 MHz) de ayuda a la navegación, empleado para distancias de hasta 150 Km y con una potencia de unos 200 W. El VOR es en esencia un radiofaro omnidireccional giratorio emisor de rumbos encargado de emitir señales que se comparan en el avión, extrayéndose así la información azimutal del mismo, denominada "marcación VOR".



El VOR radia una radiofrecuencia portadora que se modula en amplitud por dos señales. En primer lugar, existe una subportadora de 9960 Hz de amplitud constante, modulada en frecuencia a 30 Hz. En segundo lugar existe una componente modulada en amplitud a 30 Hz. En este último caso existen dos modulaciones diferentes, una de ellas es tal que su fase es independiente del azimut del punto de observación, por lo que constituye la fase de referencia. La otra modulación tiene la característica de que su fase en el punto de observación difiere de la fase de referencia en un ángulo igual a la marcación del punto de observación respecto al VOR.

Con el fin de mejorar las prestaciones del VOR, se emplea el *Doppler* VOR (DVOR), basado en el empleo de una modulación de frecuencia motivada por la rotación de la señal de referencia ligada al azimut. Debido al empleo de la modulación de frecuencia, el comportamiento del DVOR en condiciones de radiopropagación adversas es mejor que el del VOR convencional.

Cabe destacar que debido a la operativa del VOR y DVOR, uno de los condicionantes a tener en cuenta es la presencia en el rango de operación de parques de aerogeneradores. Debido a sus dimensiones y a la existencia de elementos móviles, existe un efecto de dispersión de la energía electromagnética incidente en los mismos. Esto ha llevado a la definición de zonas de exclusión en función de las características orográficas, así como de la configuración del parque de aerogeneradores.

Los efectos de los parques de aerogeneradores se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Aumento de la sección radar, modificando el *clutter* efectivo
- Incremento de desplazamiento *Doppler*, ligado a las partes móviles de los aerogeneradores.

Dichos efectos tienen como consecuencia la aparición de parpadeos (*glitches*) en las pantallas de radar, lo que puede conducir a detecciones erróneas por parte de los operadores.

#### • Radiobalizas VHF en ruta (75 MHz)

Las radiobalizas VHF en ruta permiten indicar referencias de posición en cualquier ruta aérea a las diferentes aeronaves. Las emisiones de estas radiobalizas se llevarán a cabo en la frecuencia de 75 MHz  $\pm$  0,005%. Se radiará una portadora de manera ininterrumpida modulada con un tono de 3000 Hz  $\pm$  75 Hz y con una profundidad de modulación comprendida en el rango [95%, 100%].



### ● **NDB (Non Directional Beacon)**

La NDB es una estación transmisora terrestre que radia un haz circular omnidireccional polarizado verticalmente para reducir al mínimo la refracción ionosférica. Las señales emitidas por las estaciones NDB son captadas por el ADF (Radiogoniómetro de a bordo), cuya aguja se orienta en dirección a la estación correspondiente, obteniéndose de este modo información de la situación de la aeronave respecto a la misma.

Las radiofrecuencias asignadas a los NDB se seleccionan entre las disponibles en la banda 190 – 1750 kHz según lo establecido en el Anexo 10 de la OACI. La tolerancia de frecuencia ha de ser del 0,01%, y en algunos casos concretos (potencia de antena mayor que 200 W y frecuencias superiores a 1606,6 kHz) debe ser de 0,005 %.

Cuando se empleen dos de estos faros NDB como complemento de un sistema ILS, la separación de frecuencia existente entre las portadoras de ambos no debe ser inferior a 15 kHz para asegurar así el correcto funcionamiento del ADF. Asimismo, dicha separación no ha de ser superior a 25 kHz, para poder variar rápidamente la sintonía en el caso de que la aeronave disponga de un único ADF.

Por otro lado, cuando NDBs asociados con instalaciones ILS que dan servicio a extremos opuestos de una única pista tengan una frecuencia común, será necesario asegurar que sólo radie la instalación de la cabecera habilitada.

### ● **ADF (Automatic Direction Finder)**

El ADF es un radiogoniómetro automático encargado de proporcionar de manera automática el vector de dirección de la estación emisora en tierra. Trabaja con estaciones emisoras NDB en la banda LF/HF y con una potencia de emisión comprendida entre los 25 W y los 10 KW.

Este sistema está constituido por un receptor ADF, una pantalla de presentación y una antena de cuadro (o de *loop*) que se orienta automáticamente proporcionando el ángulo que forman la emisora y el avión. Asimismo, consta de un conjunto de estaciones terrenas, que pueden ser NDB o de radio comercial.

El ADF se utiliza para fijar la posición del avión, para la navegación del avión en ruta y la aproximación por instrumentos, para procedimientos de espera y para indiciar el punto de inicio de un procedimiento de aproximación más complejo. La marcación indicada por el sistema ADF no debe presentar un error superior a  $\pm 5^\circ$  con una señal de radio procedente de cualquier dirección que tenga una amplitud de campo de 70  $\mu\text{V/m}$  o más, radiados desde un NDB.

- **TACAN (Tactical Air Navigation)**

El sistema de navegación táctica (TACAN) es un sistema militar de radioayuda a la navegación que trabaja en UHF (960 – 1215 MHz) proporcionando una indicación permanente del rumbo y la distancia de la aeronave a una estación terrestre TACAN. Es una versión más precisa de los sistemas civiles VOR/DME.

- **Navegación por satélite**

Los primeros sistemas de navegación basados en satélites como eran el sistema *Transit* (EE.UU) y *Tsikada* (Rusia) estaban muy limitados debido a que la velocidad de actualización de la posición dependía de la localización del usuario, por lo que no eran útiles para su empleo en posicionamiento de aeronaves que se desplazan a gran velocidad.

Estas limitaciones llevaron al desarrollo de los modernos sistemas globales de navegación por satélite (GNSS) como son GPS (EEUU), GLONASS (Rusia), EGNOS y Galileo (Europa).

En la actualidad existen dos sistemas de navegación por satélite para aplicaciones aeronáuticas operativos, que son: GPS (*Global Positioning System*) y GLONASS (*Global Orbiting Navigation Satellite System*). Ambos se diseñaron en los años 70 con el objeto de proporcionar a las instituciones militares información sobre el posicionamiento de sus ejércitos y guiado de misiles de crucero en cualquier punto del planeta.

Actualmente ambos sistemas incluyen un servicio civil. No obstante, muchos de los satélites GLONASS han llegado al final de su vida útil por lo que es el GPS el sistema que realmente se utiliza para la navegación. Sin embargo, este sistema no cumple los requisitos necesarios para la navegación aeronáutica en cuanto a precisión, integridad, continuidad y disponibilidad.

Otro sistema, conocido como COSPAS-SARSAT se desarrolló para la búsqueda y localización de aeronaves o buques marítimos que hubieran sufrido un siniestro. Los usuarios de este sistema disponen de unas radiobalizas (ELT en aeronaves) que se encienden cuando la aceleración experimentada por la aeronave alcanza unos valores por encima de un umbral determinado, emitiendo una señal de 406 MHz. Algunos satélites LEO disponen de receptores a estas frecuencias y cuando pasan por encima de la posición de la aeronave envían la señal con el desplazamiento *Doppler* correspondiente, a los centros de rescate terrestres.

A continuación se describirán los diferentes sistemas GNSS indicando sus aplicaciones y sus limitaciones para emplearlos en entornos aeronáuticos:



### a) GPS

El sistema GPS es un sistema de radionavegación por satélite que proporciona a sus usuarios un posicionamiento de gran precisión así como una precisa referencia temporal en cualquier punto del planeta.

El segmento espacial del sistema GPS está constituido por 24 satélites con una vida útil de aproximadamente 7,5 años, situados en 6 órbitas de cuatro satélites cada una a una altitud de 20200 Km. Cada satélite transmite dos señales empleando dos frecuencias distintas:  $L1 = 1575,42 \text{ MHz}$  (banda UHF) y  $L2 = 1227,6 \text{ MHz}$ .

El sistema GPS tiene como objetivo la localización de un receptor (determinación de la latitud y longitud en las que está situado el mismo) empleando para ello un conjunto de satélites de la constelación mencionada anteriormente. Para ello, es necesario que al menos 4 satélites sean visibles desde la posición del receptor.

Estos satélites transmiten constantemente señales radio a la Tierra que contienen información sobre su posición en todo momento y señales de reloj para indicar el instante en que se ha emitido la señal de posición y permitir el sincronismo entre satélite y receptor.

Tres de los cuatro satélites se encargan de realizar medidas de distancia al receptor, basadas en el tiempo de propagación de las señales, y el cuarto tiene como objetivo eliminar el error debido al *offset* del reloj del receptor para evitar imprecisiones en las medidas.

Con la información proporcionada por cada uno de los satélites el receptor es capaz de decodificar las señales recibidas y combinar las distintas estimaciones de distancia para calcular su posición con una precisión de aproximadamente 10 metros.

El sistema GPS civil no cumple los requisitos de precisión, disponibilidad e integridad requeridos para la navegación aérea en algunas fases críticas del vuelo. La precisión del sistema GPS estándar es suficiente para las fases de vuelo y aproximaciones convencionales pero no para aterrizajes de precisión. En cuanto a la disponibilidad, en el sistema GPS es del 98 %, pero en aproximación convencional se exige un 99,75 % y es todavía superior en los aterrizajes de precisión.

Para solventar estos problemas se emplean sistemas GPS de aumentación como son el SBAS y el GBAS (o WAAS (*Wide Area Augmentation System*) y LAAS (*Local Area Augmentation System*) en EEUU).

## **b) GLONASS**

El sistema GLONASS (*Global Orbiting Navigation Satellite System*), desarrollado por la Federación Rusa, es en concepto similar al GPS pero utiliza diferentes técnicas de procesado de señal. Proporciona una mayor precisión en la determinación de la posición, velocidad y referencia temporal de la aeronave. El segmento espacio está constituido por 24 satélites situados a una altitud de 19100 Km con un periodo orbital de 11 horas y 15 minutos. Estos satélites están distribuidos en tres órbitas diferentes con ocho satélites cada una y tienen un tiempo de vida útil de aproximadamente 3 años. Se espera que el número de satélites alcance los 26 en el año 2012.

Los satélites GLONASS transmiten señales de navegación en banda L en 25 canales separados 0,5625 MHz en dos bandas de frecuencia: 1602,5625 – 1615,5 MHz y 1240 – 1260 MHz. El segmento terreno lleva a cabo la monitorización de los satélites y las funciones de control al tiempo que selecciona los datos que han de ser modulados en las señales codificadas enviadas para las actividades de navegación. El segmento de usuario recibe de manera automática las señales de navegación de al menos cuatro satélites y miden su velocidad. Simultáneamente, el receptor selecciona y procesa todos los datos de entrada y calcula las 3 coordenadas de posición y las 3 componentes de velocidad en tiempo real.

## **c) SISTEMAS DE AUMENTACIÓN**

### **-SBAS**

La arquitectura básica de los sistemas de aumentación basados en satélite (SBAS: *Satellite Based Augmentation System*), que trabajan a una frecuencia de 1575,42 MHz, está constituida por una red de estaciones terrestres diferenciales que son capaces de determinar el error de posición total en una determinada región. La corrección en la posición es transmitida al avión por medio de satélites geoestacionarios y de esa forma, el receptor de a bordo ajusta la información recibida directamente de los satélites GPS, para así navegar con mayor precisión.

La FAA (Federación de Aviación Civil de EEUU) inició en 1991 un programa para introducir el uso del GPS para la navegación en su espacio aéreo nacional. Este sistema se denominó WAAS y su objetivo era obtener a nivel regional la exactitud, integridad, disponibilidad y continuidad necesaria para utilizar el GPS como medio principal para aproximaciones de no-precisión, vuelo en ruta y área terminal y como suplemento para las aproximaciones de precisión.

La principal ventaja del empleo de WAAS es la mejora en la precisión vertical ofrecida por el sistema GPS, lo que permite emplear dicho sistema para la navegación de aeronaves. Asimismo, WAAS ofrece un monitoreo integral para la seguridad del sistema GPS y apoyo a las operaciones de vuelo, lo que reduce



la probabilidad de accidentes por choque contra la tierra. Por último, el sistema WAAS elimina los costes asociados al mantenimiento de los instrumentos de navegación con base terrestre como pueden ser los NDB, VOR, DME e ILS.

- **EGNOS**

El Programa de Navegación por Satélite de la Agencia Europea del Espacio (ESA) ha sido definido, y será implementado, en cooperación con la Comisión de la Unión Europea (CEU) y EUROCONTROL. Concretamente, el componente GNSS-1 (primera iniciativa europea en los sistemas globales de navegación por satélite de primera generación) del Programa consiste en el desarrollo, instalación y pruebas del EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*), basado en el uso de satélites geoestacionarios para proporcionar aumentaciones sobre el GPS y el GLONASS, para su uso por la aviación civil, así como por los usuarios marítimos y terrestres.

El sistema EGNOS será desarrollado en dos fases: una primera fase denominada AOC (*Advanced Operational Capability*), que hará uso de los transpondedores de navegación embarcados a bordo de los satélites geoestacionarios INMARSAT AORE e IOR y del ARTEMIS, y una segunda fase denominada FOC (*Full Operational Capability*) que tiene como objetivo principal el cumplimiento de los requisitos de medio único de navegación y que se basará en el despliegue de elementos adicionales al AOC.

Por sus especiales características, y dado que el Sistema EGNOS se va a usar para dar servicio al mundo aeronáutico (además del marítimo y terrestre), el EGNOS AOC deberá cumplir con los requisitos indicados en las SARPs de la OACI, dando un servicio primario de navegación, por lo que será necesario disponer de un sistema de *back-up*.

La aumentación sobre el GPS se realizará difundiendo desde los satélites geoestacionarios señales tipo GPS (función de *ranging* R-GEO), canal terreno de integridad (función GIC) y correcciones diferenciales de Gran Área (función WAD). La combinación de estas funciones, permitirá los usuarios equipados con el receptor adecuado, cumplir con los requerimientos de la OACI para todas las fases de vuelo.

No obstante, y dado que el depender solamente de GPS no permitirá cumplir con los requisitos más exigentes, y con el objeto de disponer de unos mayores márgenes de operación, se incluirá el sistema GLONASS con las mismas funciones que el GPS ( R-GEO, GIC y WAS), con lo que se podrán alcanzar los requisitos más restrictivos de navegación.

- **GBAS**

Los sistemas GPS/GLONASS aumentados con el sistema SBAS están limitados a aproximaciones de la aeronave de poca precisión. Para poder ejecutar



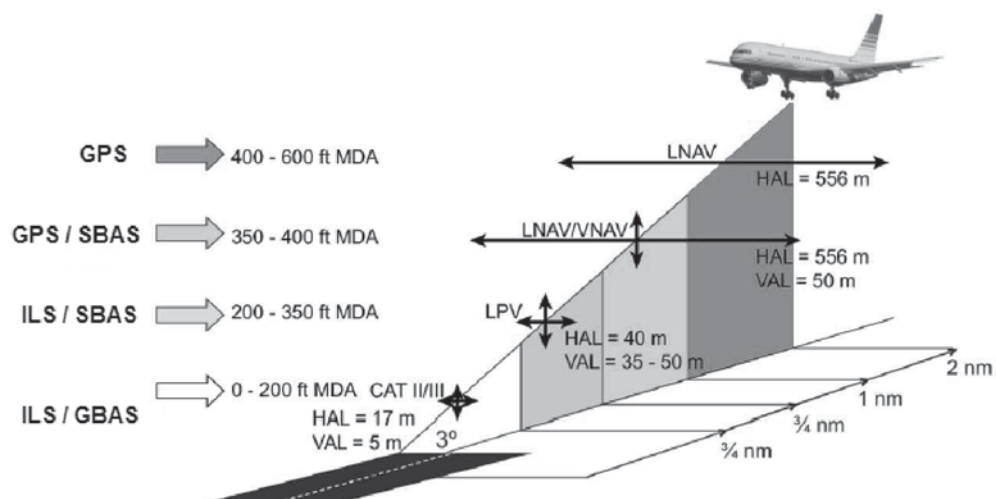
aproximaciones precisas en las que todas las fases de la aproximación estén cubiertas se desarrolla el sistema GBAS (*Ground Based Augmentation System*), más preciso que el SBAS.

El funcionamiento básico del sistema de aumentación basado en tierra (GBAS: *Ground Based Augmentation System*), que trabaja en la banda 108,025 – 117,950 MHz, es el siguiente: Una estación diferencial se instala en o cerca de un aeropuerto, con un conocimiento muy preciso de su posición. Estas estaciones obtienen las correcciones diferenciales de la posición de la aeronave, las cuales se transmiten directamente al receptor de a bordo mediante un enlace VHF.

Entre las ventajas que presenta GBAS están el empleo de un menor tiempo de maniobra por el seguimiento de trayectorias rectilíneas y de mayor precisión, la navegación de aeronaves por la superficie del aeropuerto y la posibilidad de dar cobertura a varias pistas a la vez.

En la actualidad, el sistema GBAS más avanzado es el LAAS (*Local Area Augmentation System*) desarrollado por la FAA.

En la siguiente figura podemos observar una comparativa entre GBAS y otros sistemas de navegación, donde MDA (*Medium Decision Altitude*) es la altitud media de decisión, LNAV (*Lateral NAVigation*) y VNAV (*Vertical NAVigation*) los guiados horizontal y vertical respectivamente y HAL (*Horizontal Alert Limit*) y VAL (*Vertical Alert Limit*) los límites de alerta tanto en la aproximación vertical como horizontal, que observamos se reducen a medida que el avión va descendiendo:



**Ilustración 11.** Comparativa de sistemas de navegación en procedimientos de aproximación



## - **ABAS**

El sistema ABAS (*Aircraft-based Augmentation System*) es un sistema de aumentación de amplia cobertura gracias al cual la información obtenida a partir de otros elementos del GNSS se añade a la información disponible a bordo de la aeronave.

## d) **GALILEO**

El sistema GALILEO constituye el primer sistema de navegación y posicionamiento con carácter totalmente civil. Surge como la contribución europea a los sistemas GNSS-2 (Segunda etapa de la estrategia de la OACI, a partir de 2015). Es una iniciativa de la Unión Europea en colaboración con la Agencia Espacial Europea.

El programa GALILEO comprende una constelación independiente de satélites y los sistemas de extensión asociados, incluyendo la integración con EGNOS. GALILEO tiene fuertes requisitos de precisión, fiabilidad, seguridad y continuidad.

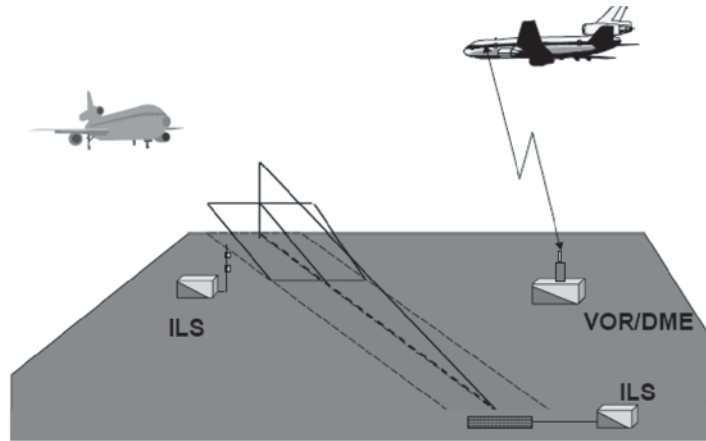
Las frecuencias utilizadas por los satélites están en la banda de 1,1 – 1,6 GHz, en la que deben respetar las regulaciones establecidas por la CMR 2000.

En la siguiente tabla se recogen algunos de los sistemas anteriores y sus frecuencias de funcionamiento:

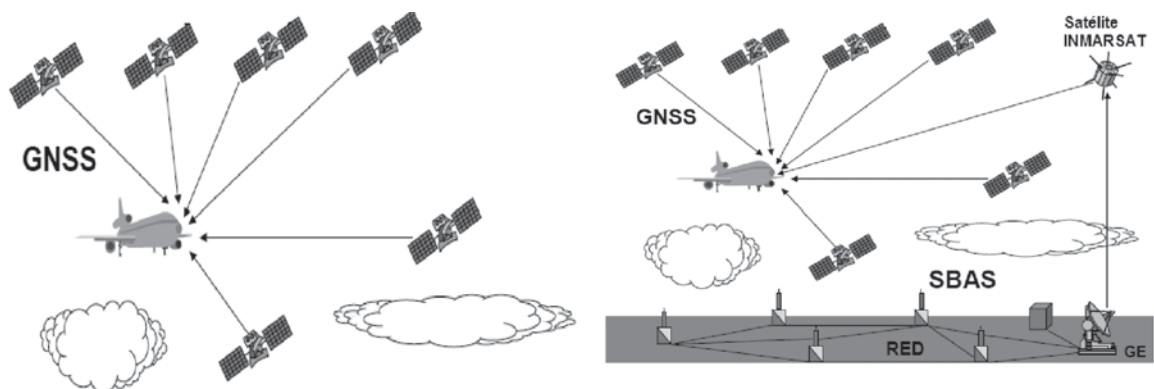
<b>BASADOS EN TIERRA</b>	<b>ILS</b>	108-111,975 MHz	Localizador VHF
		328,6 - 335,4 Mhz	Equipo de trayectoria de planeo
	<b>MLS</b>	5031,0 - 5090,7 MHz	(*) Reservada para necesidades futuras
		5030,4 - 5150,0 MHz (*)	
	<b>VOR</b>	111,975 - 117,975 MHz	(**) Utilizable si no interfiere con ILS
		108 - 111,975 MHz (**)	
<b>Radiobalizas VHF</b>	75 MHz		
<b>DME</b>	960 - 1215 MHz	Transpondedor en tierra	
	1 GHz	Emisor aeronave	
<b>BASADOS EN SATÉLITE</b>	<b>GPS</b>	L1: 1575,42 MHz; L2: 1227,6 MHz	
	<b>GLONASS</b>	1602,5625 - 1615,5 MHz; 1240 - 1260 MHz	
	<b>SBAS</b>	1575,42 MHz	
	<b>GALILEO</b>	1,1 – 1,6 GHz	

**Tabla 29.** Sistemas de navegación

En las ilustraciones siguientes se muestran los entornos de navegación actuales y los que se esperan en el futuro:



**Ilustración 12.** Entorno actual sistemas de navegación



**Ilustración 13.** Ambiente futuro sistemas de navegación

### 5.2.1.3. SISTEMAS DE VIGILANCIA

La vigilancia aeronáutica tradicional está basada en el radar tanto primario como secundario. Estos sistemas clásicos de vigilancia presentan una serie de limitaciones a la hora de hacer frente al aumento del tráfico aéreo, por lo que para afrontar este problema se está evolucionando hacia un nuevo concepto de vigilancia denominado vigilancia dependiente automática (ADS), que permite ampliar la cobertura en las zonas que no se pueden cubrir con el radar y aporta mayor capacidad de vigilancia a las aeronaves.

A continuación se presentarán las características de algunos de los sistemas de vigilancia más importantes:



## ● Sistemas Radar (PSR y SSR)

### a) PSR (Primary Surveillance Radar)

El radar de vigilancia primario o PSR es un radar de pulsos que permite visualizar en una pantalla los ecos reflejados por los diferentes blancos.

Para llevar a cabo la vigilancia con este radar primario no es necesario que las aeronaves dispongan de un transpondedor instalado a bordo, ya que la antena del radar recibe la misma onda emitida que se ha reflejado en los diferentes blancos.

### b) SSR (Secondary Surveillance Radar)

El SSR es un sistema radar utilizado en el control del tráfico aéreo o ATC (*Air Traffic Control*), que no sólo detecta y mide la posición del avión, sino que también solicita información adicional al avión por sí mismo, como su identidad y su altitud.

Este sistema se basa en un equipo a bordo del avión conocido como transpondedor. El transpondedor es un sistema radio receptor y transmisor que recibe un tono de frecuencia (1030 MHz) y transmite otro (1090 MHz). El transpondedor del avión que hace de blanco responde a las señales de un interrogador (normalmente, pero no esencialmente, una estación terrena junto a un radar primario) transmitiendo una señal de respuesta codificada que contiene la información solicitada.

Existen varios modos de trabajo en el transpondedor, cada uno ofrece diferente información:

- *Modo 1*: Proporciona un código de misión de 5 bits y 2 dígitos (sólo para militares, seleccionable por la cabina del piloto).
- *Modo 2*: Provee un código de unidad octal de 4 dígitos (sólo para militares – establecido en tierra o cambiado en vuelo dependiendo del tipo de avión).
- *Modo 3/A*: Provee un código de identificación octal de 4 dígitos para el avión, conocido como código "squawk", asignado por el controlador de tráfico aéreo (militar y civil).
- *Modo 4*: Provee una respuesta de 3 pulsos, que depende de una cuestión válida cripto-codificada de 32 bits (sólo para militares).
- *Modo 5*: Provee capacidad de seguridad de encriptación similar al modo S incluyendo la transmisión de la posición ADS-B y GPS (sólo para militares).
- *Modo C*: Provee un código Gray binario de 10 bits para la presión de altitud del avión (militar y civil).
- *Modo S*: Originalmente pensado para ser un estándar de paquetes de datos para los formatos de los enlaces de datos de subida (1030 MHz)

y bajada (1090 MHz). También se ha usado para proporcionar un diseño de radar donde el transpondedor responde a interrogaciones selectivas (se puede asignar una dirección de 24 bits fija a cada avión para propósitos de interrogación selectivos). El formato del enlace de datos de bajada también se puede utilizar independientemente para proporcionar información en ausencia de interrogación como la posición y la velocidad (militar y civil)

De acuerdo con la OACI, se utilizan para uso civil los modos de operación A, C y S.

- **UAT (*Universal Access Transceiver*)**

El *Universal Access Transceiver* (UAT) es un sistema de comunicaciones digitales de bajo coste que comenzó a desarrollarse en 1997 en EE.UU. Este sistema actualmente se encuentra bajo ensayo. UAT es un sistema de comunicaciones punto a punto o punto a multipunto que trabaja a la frecuencia única de 978 MHz. Inicialmente, fue concebido para desempeñar algunas de las principales funciones de vigilancia aeronáutica, como ADS-B, que serán detalladas en apartados posteriores. Asimismo, UAT puede soportar un gran número de servicios de datos, tales como los servicios de información de vuelo (FIS) y los servicios de información de tráfico (TIS).

El protocolo de tramas del sistema UAT utiliza TDMA en modo TDD (*Time Division Duplex*) con protocolos de acceso regular o aleatorio. Hay mensajes denominados MSO (*Message Start Opportunities*) que se envían cada 125 ms, el ancho de banda de cada trama es de 1 MHz y su tasa binaria para todos los usuarios es de 1041,667 Kbps. Dentro de este ancho de banda cada trama contiene una gran cantidad de carga útil así como una cabecera que protege la información y garantiza una cierta calidad de servicio.

Hay que tener en cuenta que la frecuencia de 978 MHz está dentro de la banda de DME (*Distance Measurement Equipment*) –una radioayuda a la navegación aérea–, lo que podría originar incompatibilidades con dicho sistema. Por ello, los receptores UAT deben estar diseñados para rechazar el canal adyacente DME.

Existen tres tipos de modos de operación UAT:

- Modo I: Aeronave → Transmisor; Estación terrena → Receptor
- Modo II: Aeronave → Transmisor y receptor; Estación terrena → Receptor
- Modo III: Aeronave y estación terrena → Transmisor y receptor



### • **Mode S Extended Squitter**

El *Modo S (Mode Select) Extended Squitter* es una variante del radar secundario de vigilancia (*SSR, Secondary Surveillance Radar*) convencional que permite interrogar a las aeronaves de manera individual utilizando una dirección única para cada una de ellas de 24 bits. Anteriormente, se empleaban los modos A y C, desarrollados para la identificación de las aeronaves y para conocer los informes de altitud.

Las interrogaciones (secuencias de pulsos con PRF = 50 Hz) se llevan a cabo en la frecuencia 1030 MHz y las respuestas por parte de las aeronaves se realizan en la frecuencia 1090 MHz. La estación de tierra extrae información sobre el avión y el vuelo del transpondedor Modo S embarcado. Con los cambios de aviónica adecuados, el transpondedor puede proporcionar más parámetros, que pueden ser usados en tierra para funciones de vigilancia.

Existen dos tipos de secuencias de pulsos, tanto de interrogación como de respuesta. El primero de ellos es el pulso corto, con una carga útil de 56 bits que se transportan en un flujo de datos DPSK de 16,25  $\mu$ s de duración, lo que equivale a una tasa binaria bruta de 3,44 Mbps. Sin embargo, la tasa neta es de 3,11 Kbps ya que la estructura tradicional de la trama SSR tiene una duración de 19,75 ms incluyendo cabeceras. El segundo tipo de secuencias son las de pulso largo, con 112 bits en una trama de duración 30,25  $\mu$ s que proporciona una tasa binaria máxima de 3,7 Mbps, que tras introducir cabeceras es finalmente de 3,32 Kbps.

En cuanto a los formatos de mensajes, existen también dos tipos, el UF (*Uplink Format*) y el DF (*Downlink Format*). El UF es un tipo de mensaje de interrogación originado por un sistema SSR. Por su parte, el DF es la respuesta de la aeronave al mensaje UF.

En la siguiente tabla se muestran las funciones de algunos de estos mensajes:

<b>UF</b>	<b>UF11, UF16</b>	Vigilancia básica
	<b>UF0</b>	Interrogación corta para vigilancia Aire-aire TCAS/ACAS
	<b>UF4</b>	Interrogación corta para vigilancia Tierra -aire (Se origina en la estación terrena)
<b>DF</b>	<b>DF0</b>	Incluye Modo C (Identificación por altitud) y Modo S
		Bit VS ( <i>Vertical Status</i> ): 0 $\rightarrow$ Avión en el aire; 1 $\rightarrow$ Avión en tierra

**Tabla 30.** Mensajes UF y DF

Existen dos escenarios de implementación del Modo S: De vigilancia básica o ELS (*Mode S Elementary Surveillance*) y de vigilancia mejorada o EHS (*Mode S Enhanced Surveillance*).

Los aviones que operan con ELS poseen funcionalidades tales como la capacidad de enviar informes automáticos de identidad de aeronaves, informes de altitud en intervalos de 25 pies (~ 7,6 m) e informes de estado de vuelo (en tierra o en aire). El empleo del Modo S ELS permite identificar de manera no ambigua las diferentes aeronaves (permitiendo un direccionamiento de casi 17 millones de aeronaves), mejora la integridad de los datos de vigilancia y proporciona un seguimiento más sencillo de los aviones por parte de los controladores.

Por su parte, el empleo de EHS añade también un mejor reconocimiento por parte de los controladores de la situación de las diferentes aeronaves, reaccionando de manera más rápida ante cualquier imprevisto. Asimismo, se reduce la carga de trabajo tanto del piloto como del controlador y mejoran notablemente los niveles de seguridad del sistema.

- "Squitter"

Se puede definir *Squitter* como un formato de transmisión de respuestas en Modo S sin que exista una interrogación previa por parte de una aeronave o una estación terrena. Existen dos tipos de mensajes *squitter*, los cortos (DF11 de 56 bits) y los extendidos DF17 (*Extended Squitter*), de 112 bits.

Estos mensajes no solicitados (*squitters*) se utilizan para dar soporte al sistema anticolidión TCAS-2 (*Traffic Collision Avoidance System*). Los sistemas TCAS-2 están a la espera de recibir mensajes *squitter* DF11 que contienen la dirección de cada aeronave, reduciendo así la necesidad de realizar interrogaciones en el aire. Una vez se obtiene esta dirección, TCAS-2 permite llevar a cabo un seguimiento de las diferentes aeronaves, para evitar así colisiones entre ellas.

Los mensajes UF/DF0 y UF/DF16 son *squitters* cuyo origen se encuentra en los equipos de medida de distancia (DME). Las estaciones terrenas DME envían por difusión mensajes de respuesta no solicitados, de manera que cuando la aeronave se encuentra dentro del alcance de la estación podrá recibir el *squitter* para establecer así el diálogo con la estación terrena.

- **ADS (*Automatic Dependant Surveillance*)**

Los actuales sistemas de vigilancia presentan una serie de limitaciones que restringen su aplicación en el marco del futuro sistema ATM. Entre estas limitaciones cabe destacar:



- Cobertura limitada a la propagación por línea de vista (Radar primario y secundario). Esto afecta a las bajas latitudes, áreas oceánicas, movimiento en superficie, conos de silencio, zonas ciegas, ocultación de la antena por maniobras, etc. En algunos casos, como en vuelos oceánicos, esta limitación conlleva la necesidad de control de procedimientos mediante informes de voz.
- El mecanismo de rotación de las antenas, que origina intervalos de detección ineficientes.
- Problemas de integridad y disponibilidad.
- Falta de homogeneidad en las operaciones producida por la variedad de sistemas con diferentes prestaciones y capacidades.
- Falta de capacidad para soportar las aplicaciones previstas de información de tráfico en cabina, puesto que la tripulación carece de los datos de vigilancia necesarios.
- Falta de capacidad para soportar efectivamente la vigilancia de movimiento en superficie en aeropuerto.
- Elevado coste de la infraestructura.

En cualquier caso, debido a dichas limitaciones, y pese a que algunos de los problemas citados (limitación en los códigos de vuelo y falta de información sobre la aeronave) podrían paliarse con la introducción del radar secundario modo S, los sistemas clásicos de vigilancia y de ATC no permiten alcanzar los niveles necesarios de capacidad, flexibilidad y eficiencia necesarios para satisfacer los crecimientos de tráfico previstos, por lo que parece conveniente migrar progresivamente a un nuevo modo de llevar a cabo la vigilancia.

Dentro de este contexto, tanto OACI como EUROCONTROL han identificado al ADS (Vigilancia Dependiente Automática) como el elemento clave en torno al que se construirá el futuro sistema de vigilancia y que posibilitará los cambios requeridos por el Concepto Operacional ATM en general y por cada usuario particular del sistema de vigilancia.

ADS es una técnica de vigilancia que se basa en la transmisión de un conjunto de parámetros desde la aeronave que proporcionan datos extraídos de los sistemas de navegación y posicionamiento de a bordo.

Las características que mejor definen la técnica ADS son que es automática (no necesita de la actuación del piloto para transmitir sus datos a la estación terrena) y dependiente, ya que necesita tomar la información de los diferentes sistemas de a bordo.

Esta técnica necesita un sistema de navegación, un enlace de datos en el interior de la aeronave y una estación terrena receptora que recoja los datos

ADS. Este sistema es fundamental para complementar la vigilancia en regiones oceánicas o en zonas donde la cobertura radar es insuficiente.

En un futuro, la clave de la función de vigilancia será el ADS, que permitirá sustituir los informes de voz en las áreas donde el radar no preste suficiente cobertura. Además, el SSR seguirá manteniéndose para la función de vigilancia, especialmente en áreas terminales y espacios de alta densidad de tráfico, sustituyéndolo por el radar modo S, que permite la interrogación selectiva y el enlace de datos, a medida que la proximidad entre las aeronaves impida el empleo del SSR.

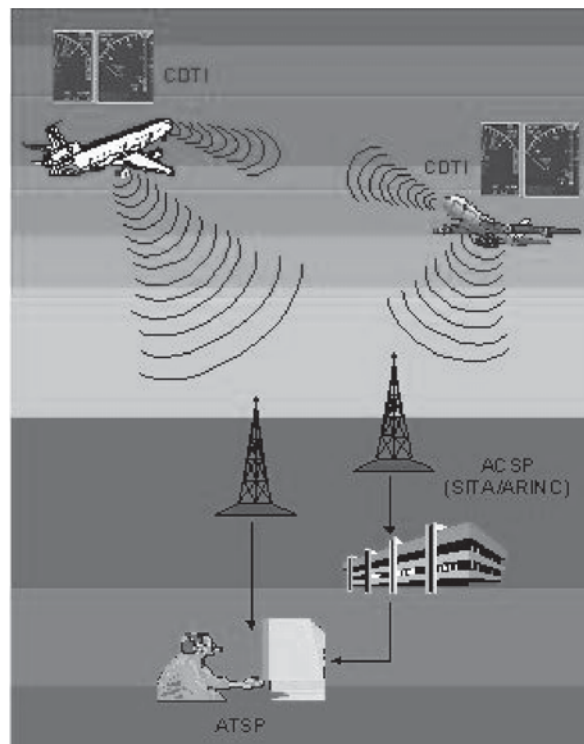
- **ADS-B (*Automatic Dependant Surveillance- Broadcast*)**

ADS-B es un sistema *broadcast* (de difusión) de vigilancia que soporta servicios de comunicaciones tierra-aire y aire-aire. Las aeronaves dotadas de ADS-B emiten sus parámetros de identificación, posición, altitud, velocidad y otros datos relevantes de manera automática cada 500 ms. El sistema depende de otros sistemas de a bordo como el codificador barométrico y el equipamiento para la navegación por satélite GNSS.

Las estaciones terrestres ADS-B están constituidas por un receptor, una antena y una pantalla. Este sistema es independiente de los sistemas de radar y del sistema TCAS, aunque los modernos transpondedores SSR son capaces de transmitir datos tanto SSR como ADS-B.

Las tecnologías sobre las que ADS-B puede ser implantado son principalmente VDL Modo 4, Mode S Extended Squitter y UAT.





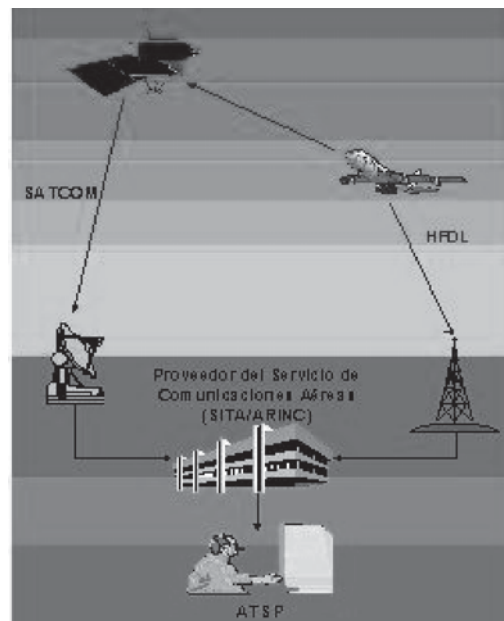
**Ilustración 14.** Funcionamiento ADS-B

- **ADS-C (Automatic Dependant Surveillance-Contractual)**

En el sistema ADS-C únicamente se transmiten los datos desde la aeronave cuando se ha establecido un contacto directo con una de las estaciones de tierra, siendo posible mantener enlace con varias estaciones a la vez. En el enlace de datos, la estación terrena fija la frecuencia de transmisión y los parámetros de la misma.

Existen cuatro tipos de contactos tierra-aire que se clasifican en periódicos, bajo demanda, por evento concreto o de emergencia.

ADS-C utiliza fundamentalmente las tecnologías FANS-1/A (basada en ACARS) y el sistema ATN ADS-C.



**Ilustración 15.** Funcionamiento ADS-C

- **ACAS (Airborne Collision Avoidance System)**

El ACAS (Sistema Anticolisión de A Bordo) tiene como objetivo mejorar la seguridad aérea evitando la colisión entre aeronaves. ACAS está basado en el empleo de transpondedores del radar secundario de vigilancia SSR y funciona de manera independiente a las radioayudas de tierra y al ATC. Este sistema proporciona avisos que alertan al piloto sobre posibles conflictos entre aeronaves equipadas con transpondedores SSR. En la actualidad, el sistema TCAS II (*Traffic Alert and Collision Avoidance System*), o Sistema Anticolisión y de Alerta de Tráfico, es el único disponible comercialmente de ACAS.

El sistema está basado en las señales transmitidas a 1030 MHz por el transpondedor de radar secundario de vigilancia (SSR), llamadas "interrogaciones", similares a las de los radares de control de tráfico aéreo. Una vez que la señal es recibida por el transpondedor de una aeronave próxima, ésta envía una respuesta. Mientras se envían interrogaciones y se reciben las respuestas transmitidas a 1090 MHz, el ordenador del ACAS calcula la distancia a la que se encuentran las aeronaves y gracias a las antenas direccionales se determina la dirección de las mismas. Si el transpondedor de la aeronave intrusa proporciona también datos de altitud, el sistema presenta en pantalla la altitud relativa e indica si está ascendiendo o descendiendo. La principal característica del ACAS es que funciona de acuerdo a criterios de tiempo y no de distancia.

La potencia radiada por el sistema ACAS a 0° de elevación relativa al eje longitudinal de la aeronave no ha de ser superior a 24 dBW. Asimismo, cuando

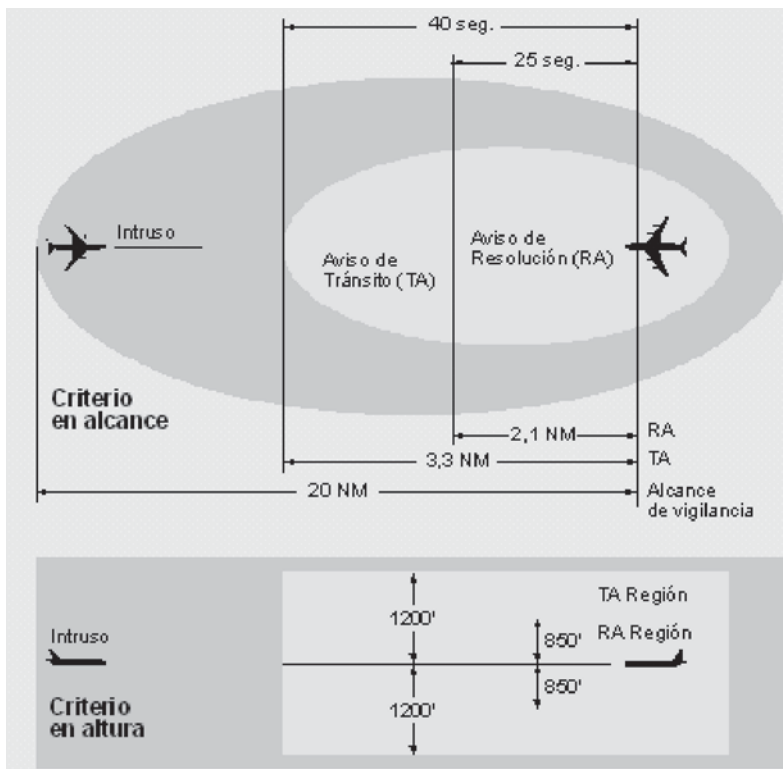
no se esté transmitiendo ningún mensaje de interrogación, la potencia radiada aparente en cualquier dirección no excederá los -70 dBm.

- **ACAS II (Airborne Collision Avoidance System II)**

ACAS II es una versión mejorada del sistema ACAS. ACAS II desempeña funciones de vigilancia, generación de alertas de tráfico al piloto (TA), detección de amenazas, generación de avisos de resolución del conflicto potencial (RA), coordinación y comunicación con estaciones terrestres.

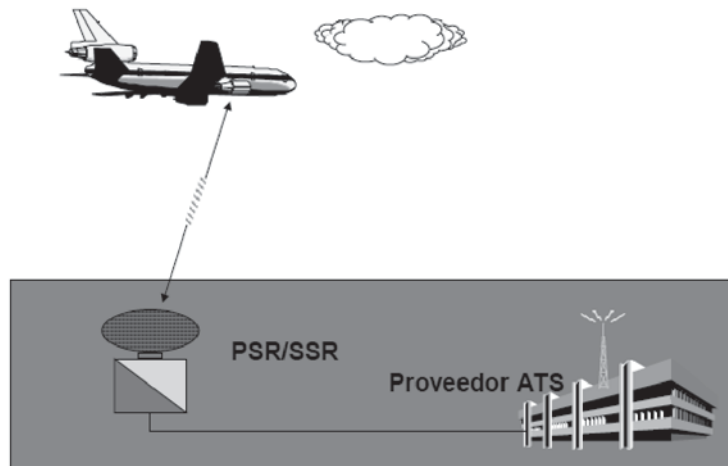
La potencia radiada por el sistema ACAS II a 0° de elevación relativa al eje longitudinal de la aeronave no ha de ser superior a 27 dBW. Asimismo, cuando no se esté transmitiendo ningún mensaje de interrogación, la potencia radiada aparente en cualquier dirección no excederá los -70 dBm.

La Conferencia Europea de Aviación Civil (CEAC) ha establecido de forma obligatoria la instalación y operación del ACAS II en la mayoría de aeronaves civiles para volar en todo el espacio aéreo de sus Estados miembros.

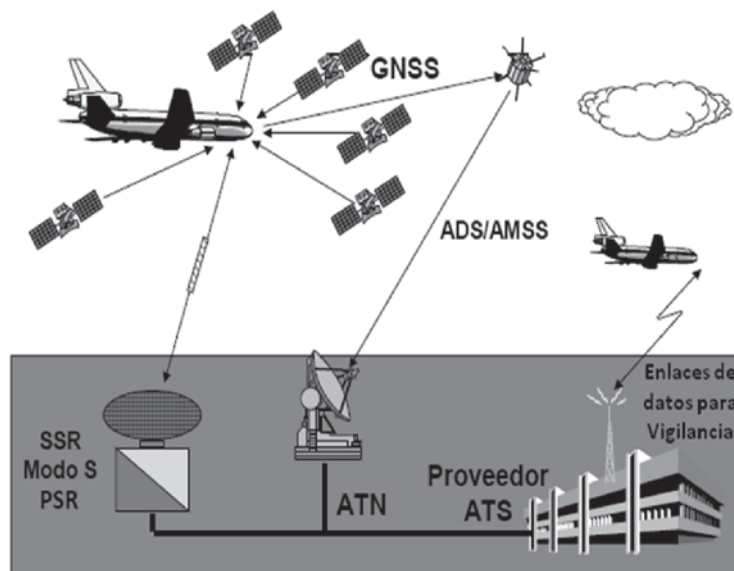


**Ilustración 16.** Principio de funcionamiento del sistema TACAS II. [Cortesía del Ministerio de Fomento]

En las siguientes ilustraciones se muestra el ambiente actual y futuro de los sistemas de vigilancia:



**Ilustración 17.** Ambiente actual sistemas de vigilancia



**Ilustración 18.** Ambiente futuro sistemas de vigilancia



#### **5.2.1.4. SERVICIOS DE TRÁFICO AÉREO (ATS)**

Los servicios de tráfico aéreo (ATS) comprenden un conjunto de aplicaciones aeronáuticas que se detallan a continuación:

##### **→ Servicio de control del tráfico aéreo (ATCS)**

El servicio de control de tráfico aéreo (ATCS: *Air Traffic Control Service*) tiene como funciones la prevención de colisiones entre diferentes aeronaves durante el vuelo y en las maniobras de despegue y aterrizaje, la prevención de colisiones entre aviones y obstáculos situados en la pista y el mantenimiento de un tráfico aéreo seguro y ordenado.

Este servicio ATC se lleva a cabo en la banda VHF y puede incluir a su vez otros tres servicios: "Servicio de control de aeródromos", "Servicio de control de aproximación" y "Servicio de control de área". Estos dos últimos servicios pueden proporcionarse con o sin el empleo de sistemas de vigilancia.

##### **→ Servicio de información de vuelo (FIS)**

El servicio de información de vuelo (FIS) tiene como propósito suministrar información útil para realizar de forma eficiente y segura el control del tráfico aéreo. El servicio incluye información relacionada con las condiciones climatológicas, los cambios de ruta y las condiciones en los aeródromos. Con esta información el piloto es capaz de evaluar mejor los riesgos y las oportunidades que presenta su entorno, permitiendo por tanto que éste tome decisiones que aumenten la seguridad y la eficiencia en el vuelo.

El servicio FIS utiliza como soporte las tecnologías VLD4 (la cual opera como se ha indicado anteriormente en la banda 108-136,975 MHz) y UAT.

##### **→ Servicio de alerta**

El servicio de alerta tiene como objetivo notificar a las organizaciones correspondientes las situaciones de alerta en las que se necesite asistencia.

#### **5.2.2. Comunicaciones de Operación y Control Aeronáutico (AOC)**

Los servicios AOC están relacionados con la seguridad y la regularidad de los vuelos y son necesarios para garantizar un empleo eficiente del espacio aéreo por parte de los usuarios del mismo. Tal y como está recogido en el Anexo 10 de la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional), comprenden comunicaciones tanto de voz como de datos entre la aeronave y el centro de control AOC, la propia compañía aérea o el personal de un aeropuerto. Los servicios AOC pueden ser soportados por sistemas tales como ACARS, o VDL4.

En el estándar ARINC 633 se fijan las pautas para homogeneizar los mensajes AOC de las diferentes aerolíneas.

Los servicios AOC de voz, incluyendo la comunicación con los centros de control en tierra así como entre diferentes aeronaves, serán cada vez menos necesarios a medida que el empleo de las comunicaciones de datos, más eficiente, los sustituya. Sin embargo, siempre será necesario disponer de ciertos servicios de voz para dar un soporte más robusto y mayor seguridad a las necesidades de las aerolíneas.

#### **5.2.2.1. SERVICIOS AOC DE VOZ**

En las comunicaciones AOC existen dos tipos de servicios de voz. El primero de ellos es un servicio de voz dirigido al manejo de las comunicaciones entre la tripulación de la aeronave y el centro de operaciones en tierra.

El segundo es un servicio *party-line* o de difusión encargado de las comunicaciones entre tripulaciones. El servicio *party-line* o difusión se aplica especialmente en regiones oceánicas y remotas. Los servicios de voz AOC están basados en comunicaciones VHF.

#### **5.2.2.2. SERVICIOS AOC DE DATOS**

A continuación se describirán un conjunto de servicios AOC de datos, de los cuales la mayoría aún no están implantados por completo pero que supondrán la evolución de los limitados sistemas actuales:

##### **► Satélite (INMARSAT)**

- **AERO L:** Es un sistema global de comunicaciones de datos desde 600 hasta 1200 bps que soporta fundamentalmente comunicaciones para control de tráfico aéreo y operaciones de las aerolíneas. Asimismo, soporta mensajería ACARS.
- **MINI M AERO:** Canal de voz, fax y datos a 2400 bps utilizado para la aviación general y pequeñas compañías de aviones.

- **AOC Data Link Logon (AOCDLL):** El servicio AOCDLL permite que la tripulación de vuelo active el sistema de comunicación de datos introduciendo para ello la información de identificación de vuelo correspondiente en la página de comienzo de sesión (*Logon*) para que de este modo se responda al servicio AOC con la información correcta. El AOCDLL indica al centro AOC terrestre que la tripulación se encuentra a bordo del avión y que está preparada para recibir información AOC que permita guiar el vuelo.



- ▶ **Out-Off-On-In (OOOI):** Los mensajes de servicio de movilidad incluyendo los informes de datos OOOI son dirigidos automáticamente al "AOC *Movement Control System*". Este servicio OOOI se da únicamente en el enlace descendente (Tierra-Aire) para informar al centro de control de los acontecimientos significativos producidos durante el vuelo.
- ▶ **Notice to Airmen (NOTAM):** El servicio NOTAM proporciona información para alertar a la tripulación de a bordo en situaciones tales como existencia de pistas cerradas, no disponibilidad de ayudas a la radionavegación, restricciones aéreas como consecuencia de ejercicios militares, fallos en la iluminación de obstáculos elevados u obstáculos temporales situados cerca de los aeródromos (como por ejemplo una grúa).
- ▶ **Free Text (FREETEXT):** El servicio de "Free Text" incluye varios canales tanto ascendentes como descendentes para mensajes de texto entre la cabina de mando del avión y el centro AOC u otros centros en tierra. Este servicio no incluye el intercambio de información de texto entre diferentes cabinas de mando.
- ▶ **Textual Weather Reports (WXTEXT):** El servicio WXTEXT se inicia cuando la tripulación de vuelo solicita información meteorológica sobre el estado de los aeropuertos. Los servicios WXTEXT incluyen informes meteorológicos de la situación en los distintos aeródromos (METARs: *Meteorological Aerodrome Reports*) y previsiones en la Terminal (TAFs: *Terminal Area Forecasts*). El centro AOC responde las solicitudes de la tripulación entregando la correspondiente información meteorológica a la cabina de mando de la nave.
- ▶ **Position Report (POSRPT):** El servicio POSRPT es un informe, hacia el AOC, de la posición de la aeronave durante el ascenso, vuelo y aterrizaje.
- ▶ **Flight Status (FLTSTAT):** El servicio FLTSTAT incluye, por ejemplo, informes de mal funcionamiento como puede ser el fallo de los códigos de mantenimiento o la necesidad de piezas de recambio que deben ser trasladadas al avión tras su aterrizaje. Los informes de fallos pueden realizarse de manera manual o enviarse automáticamente cuando se provocan como consecuencia de algún evento concreto.
- ▶ **Fuel Status (FUEL):** El servicio FUEL proporciona información (avión-tierra) del estado del combustible de la aeronave durante el vuelo y antes de aterrizar. Este servicio permite a los servicios en tierra reabastecer el combustible de la nave de manera puntual y en cantidades adecuadas tras aterrizar. La tripulación también puede informar del estado del combustible bajo petición específica del centro AOC.





- ▶ **Gate and Connecting Flight Status (GATES):** El servicio GATES para los pasajeros y la tripulación incluye transmisión de conexión de vuelos, tiempos estimados de salida y asignaciones de puertas de embarque antes del aterrizaje. La información sobre reserva de vuelos alternativos se puede incluir también en estos servicios en caso de retrasos o cancelación de vuelos.
- ▶ **Engine Performance Reports (ENGINE):** El servicio ENGINE se utiliza para enviar información en tiempo real sobre el estado del motor y los diferentes sistemas del avión durante el vuelo, tanto de manera automática como bajo petición del centro de control.
- ▶ **Maintenance Problem Resolution (MAINTPR):** Mediante el empleo del servicio MAINTPR, el personal de mantenimiento y el personal de vuelo son capaces de tratar y corregir los problemas técnicos existentes mientras el avión está aún en el aire. Aunque la voz es lo que más se usa tradicionalmente para tratar cada problema concreto, este servicio de datos se puede utilizar para proporcionar instrucciones que permitan solucionar el problema en forma de mensaje de texto entre el personal de mantenimiento y la tripulación.
- ▶ **Flight Plan Data (FLTPLAN):** El servicio FLTPLAN permite a los operadores solicitar y recibir un plan de vuelo desarrollado por AOC para compararlo con el asignado por ATC y cargarlo en el avión. Los planes de vuelo AOC tienen más información que los realizados con ATS (*Air Traffic Services*).
- ▶ **Load Sheet Request/Transfer (LOADSHT):** Bajo petición de la aeronave (enlace descendente), el *Load Sheet Control System* envía al avión un documento con la carga planificada para el vuelo y la documentación de la carga en el servicio LOADSHT. Para garantizar una mayor seguridad y un cumplimiento de la regulación aeronáutica es necesario conocer algunos datos sobre la carga del avión, su despegue y su aterrizaje. La hoja de carga incluye información del peso y de la situación de equilibrio del avión, lo que asegura que la carga total y el centro de gravedad de la aeronave están dentro de los límites de funcionamiento de la misma. Asimismo, dicha hoja de carga proporciona también información sobre los pasajeros y el estado del combustible. Normalmente, se envía al avión una primera hoja de carga provisional tras haberse realizado un "AOC Data Link Logon" enviándose ya la hoja definitiva una vez se ha situado el avión en la pista de despegue. Es necesario también informar a la aeronave de la velocidad mínima necesaria para el despegue y de los ajustes de los "flaps" del avión. Para ello se envía un TODC (*Takeoff Data Calculation*) con toda la información necesaria para garantizar un despegue seguro, considerando la masa del avión, los parámetros técnicos de la nave, los factores climatológicos... Debe enviarse siempre tras la hoja de





carga definitiva, y reenviarse en caso de cambio en el plan de vuelo. Para la información sobre los parámetros del aterrizaje se envía en la última fase de vuelo un LDC (*Landing Data Calculation*), cuya misión es garantizar en el aterrizaje la mayor seguridad y control posibles.

- ▶ **Flight Log Transfer (FLTLOG):** El servicio FLTLOG se utiliza para controlar los tiempos de vuelo de los aviones, la información de salida y de destino, etc. El registro de la información de vuelo puede ser solicitado de manera manual por el centro AOC o transmitido de manera automática desde la nave hasta el centro de control.
- ▶ **Real Time Maintenance Information (MAINTRT):** El servicio MAINTRT permite que los diferentes parámetros de la aeronave se transmitan a la estación base de mantenimiento de la aerolínea encargada en tiempo real para así poder monitorizar el estado del avión y solucionar los problemas identificados durante el vuelo.
- ▶ **Graphical Weather Information (WXGRAPH):** El servicio WXGRAPH es el encargado de enviar información meteorológica al avión de manera que ésta se pueda presentar gráficamente en las pantallas de la cabina, facilitando así su interpretación. Este servicio puede o bien complementar o bien reemplazar al servicio tradicional AOC de información meteorológica textual que también puede ser consultado por la tripulación.
- ▶ **Real – Time Weather Reports for Met Office (WXRT):** Gracias al servicio WXRT la información obtenida por el avión sobre el entorno en el que está volando (como puede ser la dirección y velocidad del viento o la temperatura) se puede enviar automáticamente en tiempo real a las agencias encargadas de realizar las previsiones meteorológicas para ayudarles en su labor.
- ▶ **Technical Log Book Update (TECHLOG):** El servicio TECHLOG permite a la tripulación completar el registro técnico del avión de manera electrónica y enviarlo a la estación base de mantenimiento para así detectar los posibles problemas de manera rápida y solucionarlos eficientemente.
- ▶ **Cabin Log Transfer (CABINLOG):** El servicio CABINLOG permite que los pilotos puedan completar el registro del equipamiento de la cabina electrónicamente y enviarlo al centro AOC. De este modo se obtiene rápidamente la información relacionada con el funcionamiento de la cabina de la nave, lo que permite una rápida solución de los problemas detectados.
- ▶ **Update Electronic Library (UPLIB):** La “Biblioteca Electrónica” sustituirá los documentos en papel que actualmente han de ir en la cabina del avión, como pueden ser el manual del avión o las cartas del

espacio aéreo. El servicio UPLIB permite que la información se instale electrónicamente en el avión bajo petición de los pilotos o de forma automática.

- **Software Loading (SWLOAD):** El servicio SWLOAD permite instalar nuevas versiones de software para los sistemas del avión mientras la nave está situada en la puerta de embarque. Este servicio es sólo para sistemas no críticos del avión, que no afecten a la seguridad del vuelo.

## 5.3. Comunicaciones aeronáuticas no críticas para la seguridad aérea

### 5.3.1. Comunicaciones aeronáuticas administrativas (AAC)

Las Comunicaciones Aeronáuticas Administrativas (AAC) están definidas por la OACI como aquellas comunicaciones utilizadas por las empresas explotadoras aeronáuticas relacionadas con aspectos comerciales de operación de sus vuelos y servicios de transporte.

Estas comunicaciones se utilizan con diversos fines, tales como vuelos y transporte terrestre, reservas, despliegue de tripulaciones y aeronaves o cualesquiera otros fines logísticos que permitan mantener o mejorar la eficiencia de operación global de los vuelos.

### 5.3.2. Comunicaciones aeronáuticas para los pasajeros (APC)

Los servicios APC (*Aeronautical Passenger Communications*) son aquellos servicios de voz y datos no críticos para la seguridad encargados de proporcionar a los pasajeros del avión y a su tripulación acceso a las redes de telefonía y a Internet durante el vuelo para comunicaciones personales.

A continuación se presenta una descripción de los sistemas que dan soporte a estas comunicaciones APC.

#### a) Satélite

##### → INMARSAT

Inmarsat es una de las empresas de telefonía móvil por satélite con mayor número de clientes en el mundo. En entornos aeronáuticos Inmarsat proporciona gran cantidad de aplicaciones para los ocupantes de los aviones,



tanto para la tripulación como para los pasajeros. Las principales ventajas del empleo de la constelación de satélites de Inmarsat son las siguientes:

- Operaciones seguras que cumplen con los requisitos marcados por la OACI.
- Cobertura global exceptuando las regiones polares.
- Alta fiabilidad y flexibilidad de aplicaciones.
- Calidad de servicio.
- Eficiencia en costes.
- Fácil instalación.

Entre las aplicaciones que proporciona Inmarsat a los pasajeros de las líneas aéreas (Servicios APC) destacan:

- Telefonía desde el avión, telefonía móvil, voz sobre IP (VoIP) y mensajes de texto.
- Correo electrónico, Intranet, Internet y mensajería instantánea.
- Noticias y ocio.
- Acceso VPN (Red Privada Virtual) seguro (Clase Business).
- Videoconferencia (Clase Business).
- Transferencia de archivos de gran tamaño (Clase Business).

En general, los servicios proporcionados por Inmarsat a los pasajeros pueden dividirse en tres grupos, que se detallan a continuación:

- ***Swiftbroadband***

El servicio *Swiftbroadband* se diseñó para satisfacer la demanda de mayor ancho de banda en todas las áreas de la aviación complementando el servicio de voz de alta calidad tradicional de Inmarsat.

El *Swiftbroadband* es un servicio de conmutación de paquetes IP que proporciona una conexión simétrica de datos "*always-on*" de hasta 432 Kbps por canal. En el modo estándar IP el servicio es compartido con otros usuarios simultáneamente, proporcionando un servicio "*best effort*". El *Swiftbroadband* es también capaz de proporcionar una calidad de servicio (QoS) predeterminada con tasas binarias de 32, 64 o 128 Kbps. Se pueden alcanzar no obstante anchos de banda mayores mediante combinación de diferentes canales, actualmente hasta un máximo de dos por avión.

El servicio *Swiftbroadband* proporciona un canal de voz de alta calidad con todas las funcionalidades de la telefonía fija y un servicio genérico de mensajes cortos de texto (SMS). Asimismo, proporciona un servicio RDSI de conmutación de circuitos, siendo posible combinar múltiples servicios de conmutación de paquetes IP con uno de conmutación de circuitos de manera simultánea.

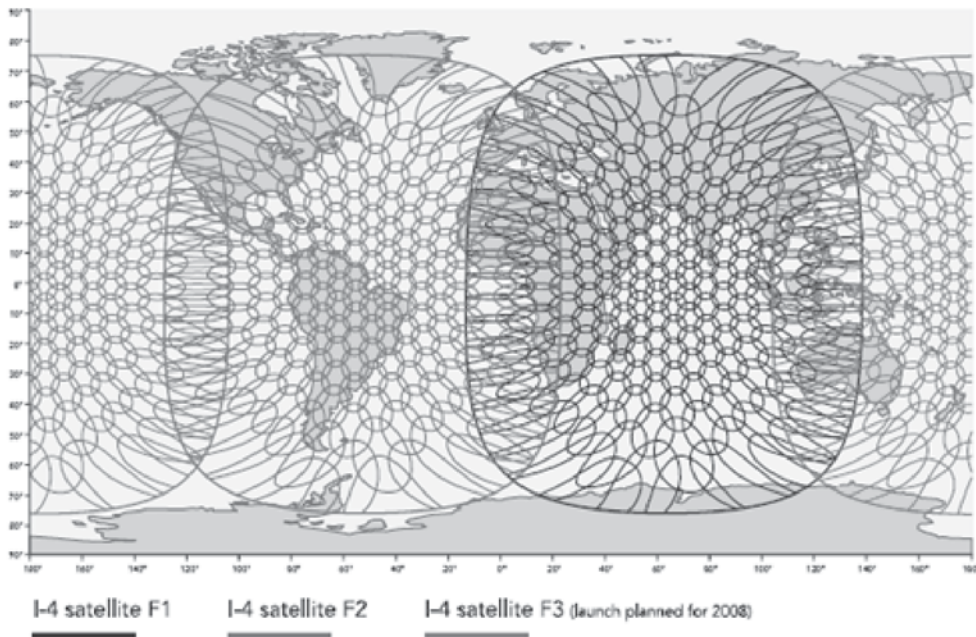


Entre las principales características de este servicio destacan las siguientes:

- Datos IP utilizando hasta dos canales por avión, lo que supone un ancho de banda de hasta 432 Kbps por cada canal empleando antenas de alta ganancia y de 332 Kbps con antenas de ganancia media.
- Flujo de datos IP bajo demanda de 32, 64 o 128 Kbps que pueden combinarse para obtener velocidades mayores.
- Simultaneidad de voz y datos de alta velocidad:
  - Paquetes de datos TCP/IP e RDSI
  - Voz con conmutación de circuitos y voz sobre IP (VoIP)
- Operación simultánea o independiente con los servicios de Inmarsat Aero H/H+ y *Swift* 64 que se describirán más adelante.
- Compatible con GPRS y UMTS
- Conformidad con el estándar ARINC 781
- Permite acceso a algunas redes privadas y/o de alta seguridad.

Para poder operar con el servicio *Swiftbroadband* es necesario disponer de un módem satélite para acceso, una antena situada en el avión capaz de recibir datos de *Swiftbroadband*, equipos destinados al funcionamiento electrónico del servicio (duplexores, amplificadores...) y disponer de un acuerdo con el proveedor.

El servicio *Swiftbroadband* emplea los haces estrechos tipo "spot" de los satélites Inmarsat para dar cobertura global, a excepción de las regiones polares. En la figura siguiente, obtenida de la página web de Inmarsat ([www.inmarsat.com](http://www.inmarsat.com)) se observa la distribución de la cobertura de este servicio:



**Ilustración 19.** Zona de cobertura servicio Swiftbroadband [Cortesía de INMARSAT]

Hay que destacar que el hecho de que el haz del satélite cubra una cierta zona de la Tierra no garantiza el servicio en todos los puntos del área cubierta representada en la figura.

- **Swift 64**

*Swift 64* es un servicio móvil de conmutación de circuitos RDSI que proporciona la misma calidad y garantiza la misma velocidad que la red terrestre RDSI. Se puede obtener un mayor ancho de banda mediante la combinación de hasta cuatro canales de 64 Kbps.

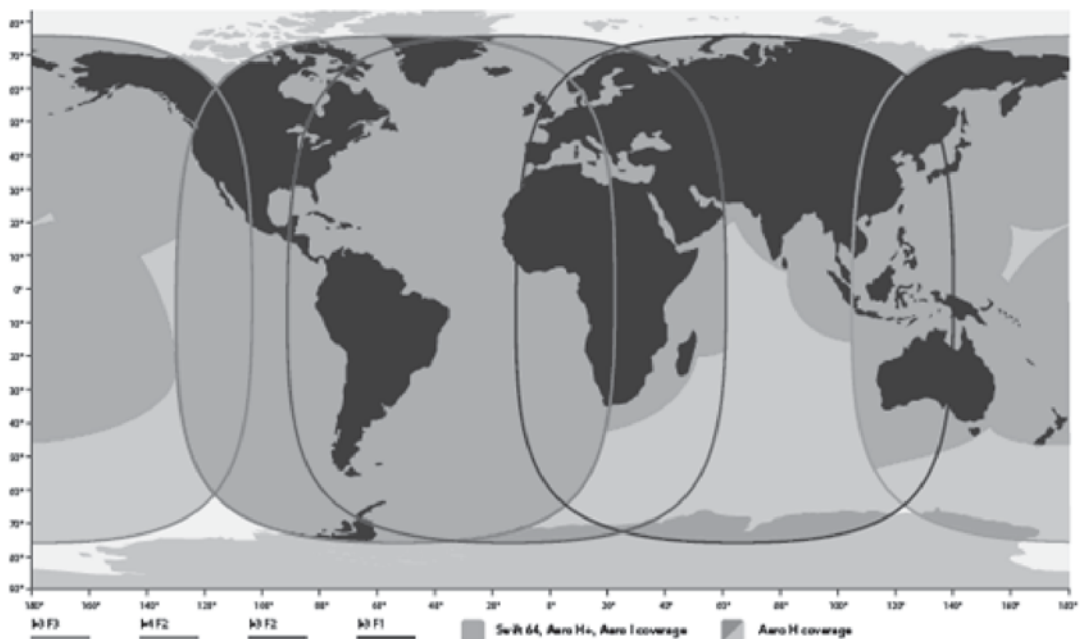
*Swift 64* también ofrece un servicio móvil de paquetes de datos (*MPDS Mobile Packet Data Service*), que proporciona la misma economía y flexibilidad de las conexiones de paquetes de datos "always-on". Además, proporciona un servicio de voz de alta calidad con las mismas funcionalidades que el servicio de telefonía fija terrestre.

Entre las principales características de este servicio destacan las siguientes:

- Circuitos dedicados (RDSI móvil), conexiones en modo paquete (MPDS) y canales de voz de alta calidad.
- Uno, dos o cuatro canales por avión.
- 64 Kbps por cada canal RDSI.

- Combinación opcional de varios canales para alcanzar tasas de 256 Kbps, que pueden ser incrementadas mediante compresión de datos.
- Tres formatos de datos:
  - RDSI
  - UDI (Unrestricted Digital Information)
  - TCP/IP
- Operación independiente o simultánea con el servicio Inmarsat Aero H/H+ a través de la misma antena de alta ganancia.
- Permite acceso a algunas redes privadas y/o de alta seguridad.

En cuanto a la cobertura del servicio, *Swift 64* emplea los haces "spot" de tres satélites Inmarsat y el haz total de satélite I-4 AOR en la región del océano Atlántico. En la siguiente figura se puede observar el mapa de cobertura del servicio, que al igual que en el *Swiftbroadband* no representa el área de servicio garantizado:



**Ilustración 20.** Zona de cobertura del servicio Swift64 [Cortesía de INMARSAT]

### ● **Servicios clásicos**

Inmarsat posee también un conjunto de servicios clásicos que dan soporte a unas comunicaciones de voz de alta calidad y a una transmisión de datos segura de baja velocidad.

- **AERO H:** Es un servicio de voz multicanal que soporta comunicaciones de datos y fax de 10.5 Kbps gracias a una antena de alta ganancia situada dentro del haz de cobertura global de los satélites.



- **AERO H+:** Es un servicio similar al AERO H en el que las antenas están situadas en los haces "Spot" de los satélites Inmarsat-3 y en la cobertura total de Inmarsat-4 que cubre la región del océano Atlántico. Este servicio tiene un menor coste por conexión que el anterior.
- **AERO I:** Servicio de voz multicanal que soporta comunicaciones de datos y fax en modo circuito a 4,8 Kbps soportado por una antena de media ganancia. También soporta transmisión de paquetes de datos de baja velocidad.
- **AERO C:** Servicio que soporta mensajería bidireccional a 600 bps y posicionamiento GPS para operaciones no críticas en cuanto a seguridad.

## → IRIDIUM

El sistema de comunicaciones por satélite de Iridium permite a los pasajeros del avión enviar y recibir voz, mensajería e información sobre su posición en todos los puntos del planeta, pudiendo realizar comunicaciones tierra-aire, aire-tierra y aire-aire.

Los servicios que ofrece Iridium a los pasajeros durante el vuelo son:

- Telefonía por satélite
- Conexión a Internet vía satélite
- Envío y recepción de fax

## b) Telefonía móvil

La Comisión Europea permitió el pasado abril de 2008 el uso de móviles para enviar mensajes de texto y correos electrónicos durante el vuelo. Esto ha hecho que las aerolíneas se lancen a una carrera tecnológica para ofrecer ese servicio, que aún no está disponible en la mayoría de las rutas aéreas que cruzan Europa. En Estados Unidos, *American Airlines* lo ofrece desde el 20 de agosto de 2008.

La normativa establecida por la Comisión Europea obligará a desactivar la conexión de los móviles durante el despegue y el aterrizaje, esperar a alcanzar los 3000 metros de altura para activar los teléfonos móviles y establecer una frecuencia común de 1800 MHz para móviles GSM, que se empleará en los 27 países de la Comunidad Económica Europea. Por lo tanto, al cruzar fronteras europeas no será necesario un permiso adicional para usar este servicio. La certificación de la Comisión Europea asegura, además, que la tecnología (micro-antena y conexión vía satélite) será la misma para todas las flotas



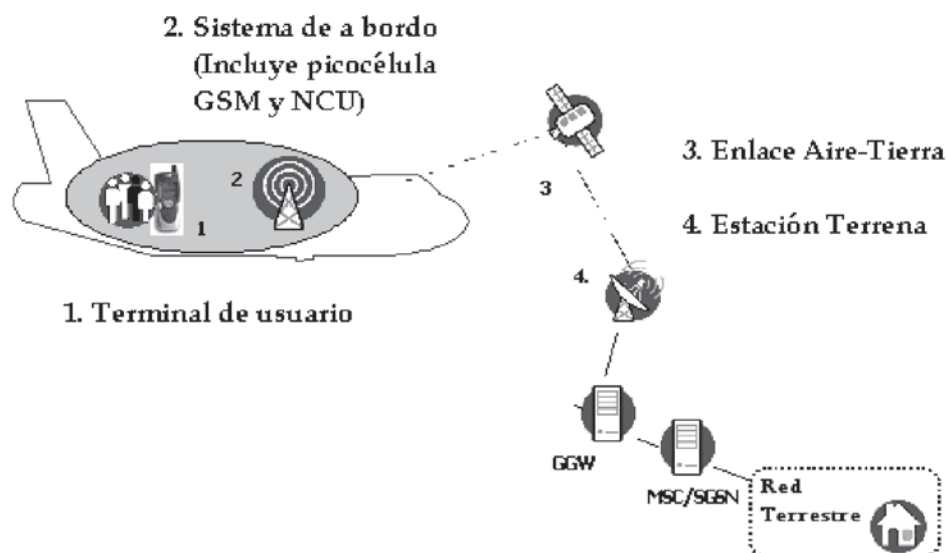
aéreas, por lo que se mantienen las condiciones de seguridad en todas las aerolíneas.

En cuanto a la homologación del sistema tecnológico, una microantena instalada en el avión no interfiere con las antenas terrestres. La Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA) otorgó a Airbus la certificación necesaria para fabricar e instalar el sistema de telefonía móvil a bordo (*OnAir*) para las aeronaves A-320. La posibilidad técnica de conectarse a las redes de telefonía móvil desde el avión existe desde hace años, pero el miedo a las interferencias y las dudas sobre la rentabilidad del servicio han retrasado su implantación.

### → GSMOBA

El sistema GSMOBA (*GSM OnBoard Aircraft*), es decir, el sistema GSM dedicado a las comunicaciones móviles para los pasajeros durante el vuelo está especificado y regulado por la ETSI en su estándar "ETSI EN 302 480 V1.1.1 (2007-07)". El sistema trabaja en el avión en las bandas de GSM 1800: 1805-1880 MHz y 1710-1785 MHz.

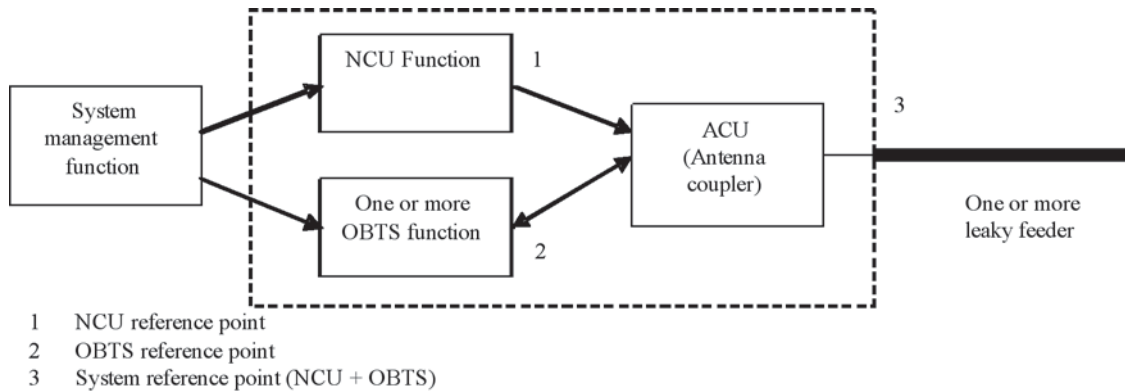
Dicho sistema GSMOBA está formado por una estación base a bordo del avión (OBTS: *OnBoard BTS*) y una unidad de control de red (NCU: *Network Control Unit*). Ambos elementos están conectados a un sistema de antenas dedicadas al servicio GSM. El sistema completo GSMOBA se conecta a la red terrestre a través de un enlace por satélite, tal y como se indica en la figura siguiente, extraída del estándar de la ETSI 302 480 v1.1.1 (2007-07).



**Ilustración 21.** Sistema GSMOBA



El sistema GSMOBA está constituido por una o más NCU, una o varias estaciones base (BTS) y por varios acopladores de antena. Esta organización funcional del sistema se puede observar en la siguiente figura:



**Ilustración 22.** Estructura funcional del sistema GSMOBA

La OBTS establece la comunicación de acceso a la estación móvil situada en el avión. Entre sus características destacan: soporta servicios GSM operando en la banda de 1800 MHz, trabaja con un margen de al menos 9 dB por encima del nivel del NCU y asegura que una estación móvil que esté comunicándose con el OBTS transmita con el nivel nominal mínimo de potencia de 0 dBm.

Debe evitarse que los terminales móviles a bordo del avión accedan a las redes terrestres. Para ello pueden emplearse dos métodos. En primer lugar, puede actuarse de forma pasiva proporcionando al fuselaje del avión un revestimiento que atenúe la señal de RF aislándola del exterior. Otra forma de abordar este problema es mediante la inclusión de una Unidad de Control de Red (NCU) que aumenta el ruido de la señal dentro de la aeronave transmitiendo para ello una señal de banda ancha sin las frecuencias de operación de GSM. Ambos métodos pueden combinarse para así reducir la potencia necesaria en el NCU y lograr un mejor apantallamiento de la señal RF.

Las bandas de frecuencia que deben ser aisladas son las siguientes:

Bandas de frecuencias aisladas GSMOBA	Red terrestre aislada de la aeronave
460 - 470 MHz	CDMA450 / FLASH-OFDM Enlace descendente
921 - 960 MHz	GSM900 (Incluido GSM-R) WCDMA (UMTS 900) Enlace descendente
1 805 - 1 880 MHz	GSM1800, WCDMA (UMTS1800)
2 110 – 2 170 MHz	WCDMA (UMTS) 2 GHz FDD
2500 – 2690 MHz	WCDMA, WiMAX

**Tabla 31.** Frecuencias GSMOBA de la que se debe aislar la aeronave



## 5.4. Sistemas de comunicaciones aeronáuticas militares

### 5.4.1. Comunicaciones militares VHF

Las comunicaciones VHF militares no llegaron a desarrollarse ampliamente debido a que no proporcionaban la seguridad, encriptamiento y robustez necesarias para estos servicios encargados de la "seguridad nacional". Estos servicios militares requieren una alta fiabilidad y deben seguir en funcionamiento aun cuando partes de la infraestructura de comunicaciones queden destruidas. Por este motivo se dejó atrás la banda VHF para uso militar en busca de otros sistemas más avanzados y adaptados a las necesidades militares.

Dichas necesidades pueden resumirse en los siguientes puntos:

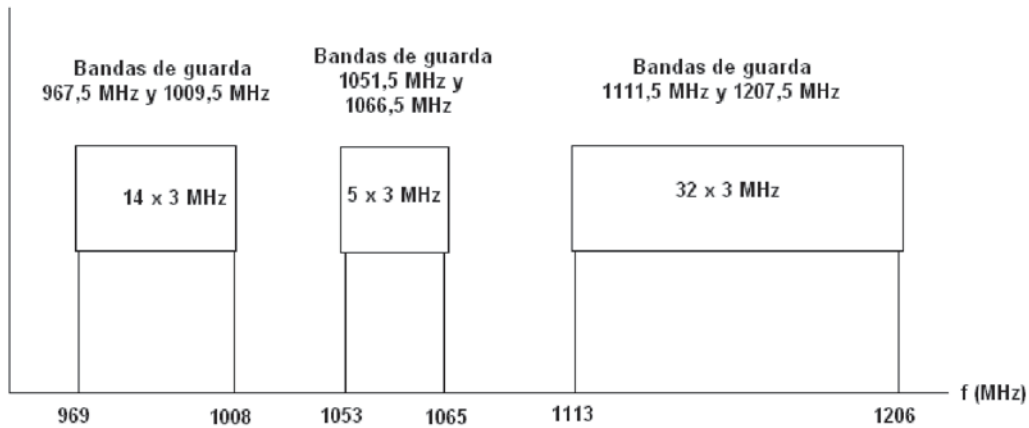
- Seguridad
- Altas velocidades de transmisión: Muy limitadas en VHF
- Robustez frente a interferencias
- Tamaño reducido de aeronaves y terminales
- Funciones de vigilancia y navegación

### 5.4.2. Comunicaciones militares UHF

#### • **JTIDS/MIDS (Joint Tactical Information Distribution System / Multifunction Information Distribution System)**

El sistema JTIDS / MIDS es un sistema militar que fue desarrollado en Estados Unidos y en sus últimas etapas también en Europa. Actualmente el sistema está implantado en unos 25 estados de Europa, Estados Unidos, Israel, Canadá, Islandia, Australia, Japón, Nueva Zelanda y Corea del Sur.

El sistema está diseñado para operar en la banda UHF 960 – 1215 MHz en paralelo con el servicio aeronáutico de radionavegación (DME "Distance Measuring Equipment" y GNSS). Dicha banda está dividida en 51 canales de 3 MHz tal y como se observa en la figura siguiente:



**Ilustración 23.** Canalización y bandas de guarda JTIDS/MIDS

#### - Interfaz Aire Link 4A

La interfaz Link 4A tiene mensajes de control y respuestas desde el avión. Se envían mensajes de control hacia la aeronave de 56 bits cada 32 ms con una tasa de transmisión unidireccional de 1750 bps. La tasa efectiva de transmisión bidireccional es algo superior a los 3 Kbps.

#### - Interfaz Aire Link 11

Link 11 transmite tramas de 30 bits (24 de datos y 6 para control de errores) con una tasa de 75 tramas por segundo, por lo que en la interfaz aire existe una tasa de 2250 bps (1800 bps de tasa útil).

#### - Interfaz Aire Link 16

Link-16 es un sistema de comunicaciones tácticas digitales desarrollado por la OTAN basado en JTIDS/MIDS (*Joint Tactical Information Distribution System/Multifunctional Information Distribution System*). Se caracteriza por su gran capacidad y resistencia a interferencias. Proporciona comunicaciones flexibles, así como funciones de navegación, identificación, vigilancia y guerra electrónica. Es capaz de soportar comunicaciones A/A (aire/aire) y T/A, tanto punto a punto como punto a multipunto. Link-16 emplea acceso TDMA, multiplexación en frecuencia (FDM) y acceso FDMA, así como CDMA.

El protocolo TDMA es utilizado con intervalos temporales de  $1/128 \text{ s} = 7,8125 \text{ ms}$ . A cada estación móvil del sistema se le asigna de antemano el conjunto de *slots* temporales necesario para sus transmisiones y recepciones de datos. La trama de Link-16 tiene una duración de 12 s, por lo que el número de intervalos temporales en la misma (de duración  $1/128 \text{ s}$ ) es:  $12 \cdot 128 = 1536$  (*slots*).

La supertrama de este sistema tiene una duración de 12,8 minutos (98.304 *slots*). Dicha supertrama está constituida por intervalos temporales de tres tramas diferentes (A,B y C) entrelazados entre sí de la siguiente manera:

*A-0, B-0, C-0, A-1, B-1, C-1,..., A- 32767, B-32767, C-32767*

Por su parte, los protocolos FDM y FDMA se utilizan para realizar las asignaciones de frecuencias a lo largo de los 51 canales de la banda JTIDS/MIDS a través de un algoritmo pseudoaleatorio (técnica de salto en frecuencia).

El sistema también puede operar en otros dos modos de funcionamiento, pero no son demasiado habituales ya que son menos robustos y menos seguros. Estos métodos son los siguientes:

- a. Transmisión encriptada usando frecuencia única (normalmente 969 MHz)
- b. Transmisión no encriptada usando frecuencia única (normalmente 969 MHz)

En cuanto al empleo de CDMA, este protocolo de acceso se aplica en la cabecera de trama que es transferida desde el nivel de datos al nivel de radiofrecuencia, empleando para ello un modulador de pulsos con una codificación pseudoaleatoria. De este modo, la onda de radio se hace más robusta frente a interferencias.

#### • **Métodos de acceso:**

Una vez se está operando dentro del sistema JTIDS/MIDS, la asignación de intervalos temporales a los diferentes terminales puede llevarse a cabo de diferentes maneras:

- a. *Asignación por demanda:* Se emplea para funciones de "pulsar para hablar" PTT (*Push-to-talk*). Puede haber problemas si dos usuarios desean usar el canal al mismo tiempo.
- b. *Acceso dedicado:* A cada uno de los terminales JTIDS/MIDS se le asigna de manera exclusiva un conjunto de intervalos temporales.
- c. *Acceso en contienda:* Un conjunto de terminales pueden "competir" por los recursos basándose en una asignación estadística de los mismos. Normalmente el receptor seleccionará la señal más robusta, descartando las demás.
- d. *Reasignación de intervalos temporales:* En este caso los terminales móviles comparten los intervalos de tiempo disponibles obteniendo cada uno de ellos el número de *slots* necesarios en cada momento. Cada cierto tiempo se recalcula esta demanda de intervalos temporales por parte de cada terminal y se reasignan de manera dinámica.



#### • Terminal MIDS-LVT de Link-16

El terminal MIDS – LVT de Link 16 emplea varios tipos de espectro ensanchado y claves criptográficas. La transmisión de la información se lleva a cabo mediante el catálogo de mensajes J o bien como texto libre. La capacidad del terminal es de 54 Kbps utilizando el formato de mensaje *pack-2 double pulse*.

### 5.4.3. Comunicaciones militares por satélite

#### • INMARSAT

Inmarsat es el principal proveedor de servicios de comunicaciones por satélite en el sector de la aviación militar.

Las aplicaciones que Inmarsat proporciona a este sector son las mismas que las proporcionadas a la aviación civil, añadiéndose a éstas una telefonía multicanal de alta calidad, acceso a redes privadas gubernamentales, comunicaciones seguras, servicios de telemedicina, comunicaciones encriptadas y colaboración tierra-aire en tiempo real.

## 5.5. Sistemas de comunicaciones propios de la aviación general

Se entiende por aviación general todos los vuelos civiles llevados a cabo por aviones y helicópteros que no pertenecen a las aerolíneas regulares o chárter.

Las actividades de aviación general comprenden entre otras: vuelos de negocios, turismo, salvamento y rescate, formación de pilotos, aeronaves de recreo, ambulancias aéreas, controles medioambientales, supervisiones pesqueras, inspecciones de oleoductos y gasoductos, supervisiones de tendidos de alta tensión, servicios de transporte de órganos, fumigación, etc.

Como se indicó anteriormente en el capítulo anterior, las bandas reservadas para usos de aviación general son, según se establece en la nota UN-102 de la CNAF: 122,000-123,050 MHz, 123,150 – 123,675 MHz y 129,700 – 130,875 MHz.

## 5.6. Sistemas de comunicaciones propios de aeropuertos

Las operaciones de gestión aeroportuaria requieren que un conjunto de sistemas permitan llevarlas a cabo de forma eficaz, segura y rápida. Para ello se emplean diferentes sistemas funcionando fundamentalmente en bandas de uso común, ya que dan soporte a servicios no críticos tales como la gestión de equipajes o de pasajeros. Los servicios relacionados con entornos

aeroportuarios críticos (como puede ser el control del tráfico aéreo o la vigilancia superficial) se detallaron en el apartado *SISTEMAS CNS/ATM*.

En la tabla siguiente se recogen cuatro de los sistemas de comunicaciones aeroportuarias más importantes:

SISTEMA	DESCRIPCIÓN	TECNOLOGÍA	COMENTARIOS
<b>Procesamiento de pasajeros</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>* Tramitación de billetes</li><li>* Registro de pasajeros</li><li>* Embarque en la aeronave</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>* Redes LAN</li></ul> Ejemplo: Sistema <i>i MUSE</i> de ARINC	<ul style="list-style-type: none"><li>* Datos compartidos en tiempo real</li><li>* Apoyo a la seguridad</li></ul>
<b>Gestión de equipajes</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>* Localización de cada maleta en tiempo real</li><li>* Asociación de cada maleta a un pasajero</li><li>* Control de equipaje embarcado</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>* RFID (BagMatch de ARINC)</li><li>* LAN (Servidores para almacenar ruta seguida por el equipaje)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>* Apoyo a la seguridad</li><li>* Prevención de pérdidas de equipaje</li></ul>
<b>Operaciones aeroportuarias: Gestión de medios</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>* Control de aeronaves en tierra</li><li>* Gestión de recursos escasos: Pistas, puertas de embarque, cintas de equipaje</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>* Redes LAN</li><li>* PSR</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>* Imprescindible para coordinación</li></ul>
<b>Seguridad aeroportuaria</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>* Detección de intrusos</li><li>* Detección de objetos no permitidos</li><li>* Detección de incendios</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>* RFID, Video vigilancia</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>* Existe normativa europea relativa a la seguridad aeroportuaria</li></ul>

**Tabla 32.** Principales sistemas de gestión aeroportuaria

### 5.6.1. Trámites relacionados con pasajeros

Las actividades relacionadas con el tratamiento de pasajeros incluyen la tramitación de los billetes de avión, el registro de los mismos y el embarque en la aeronave. Mediante las tecnologías de procesamiento de pasajeros se logra que todas estas tareas se realicen de forma más automática, rápida, eficaz y segura.

Si buscamos algún ejemplo concreto de sistema de gestión de pasajeros, podemos encontrar el sistema *i MUSE* de ARINC. Este sistema está constituido por una red LAN multiusuario que permite a las aerolíneas y a las organizaciones de gestión y soporte aeroportuario compartir información esencial en tiempo real así como compartir mostradores y puertas de embarque, lo que supone un importante ahorro. Cada transacción llevada a cabo por los pasajeros (desde la presentación del billete y la facturación del



equipaje hasta el alquiler de un coche o la reserva de un hotel) se procesa a través de la red común, eliminando así posibles barreras de comunicación.

Existe también otro sistema, diseñado por ARINC, denominado IdMS (*Identity Management System*), que permite rastrear los movimientos de los diferentes pasajeros e identificarlos de manera automática en caso necesario a través de técnicas biométricas. Esta aplicación es fundamental para aportar seguridad a las operaciones aeroportuarias.

### **5.6.2. Gestión de equipajes**

El sistema automático de tratamiento de equipajes constituye una herramienta clave en la operación de aeropuertos de gran magnitud, exigiéndosele a este tipo de sistemas que permitan el crecimiento escalonado de su capacidad para adaptarse al crecimiento de tráfico de pasajeros, medida en pasajeros totales en hora punta. Este sistema ha de responder a la necesidad de seguridad y de control de los diferentes equipajes de los pasajeros. Por ello, se deben proporcionar datos sobre dónde está cada maleta en cada momento, a quién pertenece y si todas las maletas embarcadas en los aviones pertenecen a usuarios embarcados en la misma aeronave.

Presentaremos a continuación dos casos concretos de este tipo de sistemas, desarrollados por ARINC, un referente en el desarrollo y despliegue de estos sistemas en diversos países. En primer lugar, el sistema BagMatch es un ejemplo de sistema de identificación por radiofrecuencia, que permite identificar el equipaje a través de una etiqueta (que puede ser RFID) para así localizarlo en cualquier momento y permitir la recuperación rápida de equipajes perdidos. Asimismo, este sistema asigna cada equipaje a un usuario, lo que aporta un extra de seguridad. BagMatch emplea sistemas inalámbricos de escaneo láser de códigos de barras para leer las etiquetas asignadas a cada maleta. De este modo se logra mantener un control exhaustivo del equipaje que circula por el aeropuerto.

Por otro lado, también existe otro sistema denominado BagLink, que permite a los sistemas de clasificación de equipaje llevar a cabo de manera eficaz y sin retraso su tarea de organizar los equipajes y enviarlos al avión correspondiente. Los servidores de comunicaciones de BagLink permiten almacenar las diferentes rutas que siguen los equipajes. De este modo, cualquier equipo conectado al sistema (desde cualquier aeropuerto) puede conocer la situación de cada uno de los equipajes de los diferentes pasajeros.

### **5.6.3 Operaciones aeroportuarias: Gestión de medios**

Una parte fundamental de la gestión aeroportuaria es el control de las diferentes aeronaves en todo momento dentro del área de aeropuerto. Es necesario tener un seguimiento continuo de los diferentes aviones, puertas de embarque y pistas de despegue y aterrizaje para poder llevar a cabo la

coordinación y asignación de dichos recursos, caracterizados por ser escasos y compartidos entre diferentes aerolíneas.

En muchos casos, y gracias a estos sistemas, es posible fijar una base referencial contractual en la que se establece, mediante un convenio, una forma de utilización de una serie de recursos aeroportuarios basada en una serie de reglas, que son posteriormente implementadas en la base de conocimiento del sistema de gestión de medios. Valgan como ejemplo las reservas de utilización de puertas de embarque, de puestos de estacionamiento, la utilización compartida de puestos, etc. El sistema AirPlan de ARINC es un ejemplo de aplicación de gestión de medios.

#### **5.6.4. Seguridad aeroportuaria**

El sistema de seguridad de un aeropuerto, en especial si es un aeropuerto en el que operan vuelos internacionales, constituye un elemento clave dentro del funcionamiento del mismo. Existe una amplia gama de sistemas de este tipo que ofrecen una gran variedad de servicios. En general, estos sistemas deben controlar la detección perimetral e interior de intrusos, permitir la integración de cámaras de televisión en circuito cerrado, proporcionar un control de accesos, detección e incluso extinción de incendios, interfonía y megafonía. De este modo han de garantizar la seguridad de pasajeros, trabajadores, infraestructuras e información.

Es importante tener en cuenta en su diseño e instalación, los servicios de seguridad del propio aeropuerto, además de los diversos cuerpos de seguridad del Estado implicados en la gestión del mismo. Así, es posible que la información obtenida mediante el sistema deba ser divulgada a más de un medio. Asimismo, los centros de control de seguridad deben ser diseñados con la amplitud suficiente como para poder albergar al personal participante de las distintas entidades.

Entre las diferentes tecnologías empleadas para garantizar la seguridad aeroportuaria destacan las ya descritas iMUSE e IdMS, así como los sistemas de identificación de equipajes RFID, los sistemas de detección de intrusos (IDS) mediante video-vigilancia y control de acceso.

Además de lo descrito anteriormente, existe una amplia gama de sistemas empleados en aeropuertos para diferentes aplicaciones. A continuación, se presenta una lista en la que se recogen algunos de ellos.





<b>SISTEMAS AEROPORTUARIOS</b>	
Sistema de información meteorológica.	Sistema de gestión de personal.
Sistema de mando y presentación de balizamiento.	Sistema de gestión de maquinaria y móviles.
Sistema de control eléctrico.	Sistema de asignación de posiciones de mostrador para compañías.
Sistemas de control de túneles.	Sistema de asignación de medios aeroportuarios.
Sistemas de control de estaciones separadoras de hidrocarburos.	Sistema de telefonía pública.
Sistemas de control de instalaciones de deshielo de aeronaves.	Sistema de Información Automática de Área Terminal.
Sistemas de medición de contaminación atmosférica.	Sistema de control de abastecimiento de combustible.
Sistemas de información al pasajero.	Sistema de control de ruidos.
Sistemas de comunicaciones vocales, megafonía y distribución de voz.	Sistema de control de impacto acústico.
Sistema de gestión integral de instalaciones electromecánicas.	Sistema de monitorización de contaminación ambiental.
Sistema de gestión de Slot.	Sistemas simuladores.
Sistema de información al público.	Sistema de gestión de programaciones.
Sistemas de facturación.	Sistemas de gestión de tiempo real.
Sistema automático de tratamiento de equipajes.	Sistema de gestión de mantenimiento preventivo.
Sistema de control de parkings.	Sistemas de análisis de la operación.
Sistema de CCTV.	Sistema de Asignación de Medios Aeroportuarios.
Sistema de control de accesos.	Sistema de gestión de Conocimiento Operativo o Base de datos de conocimiento operativo.
Sistema de distribución de tiempo GPS.	Entornos normalizados para el Tratamiento de la información operacional.
Sistema de control de puntos de venta.	Sistema de información de medios aeroportuarios.
Sistema de equipos de uso compartido.	Sistema de información al público.
Sistema de asignación de puertas.	Sistema de supervisión y gestión del tráfico en superficie.
Sistema de información al pasajero.	Sistema de detección de explosivos.
Sistema de gestión de concesionarios.	Sistema de protección de sistemas informáticos.
Sistema de monitorización y mantenimiento remoto para Aeropuertos.	Sistema de control de elementos publicitarios.
Sistemas de localización y control de objetos móviles.	Sistemas de información geográfica del Aeropuerto.
Sistemas de control de inventario de material aeronáutico.	Sistema de vigilancia de aeronaves (no ADS).

**Tabla 33.** Sistemas aeroportuarios

## **CAPÍTULO 6. RESUMEN**

En el presente informe se ha presentado una panorámica de la utilización de los distintos sistemas de radiocomunicación involucrados en el funcionamiento de los entornos aeronáuticos, quedando patente tanto la diversidad de servicios para los que se utilizan como la complejidad que se deriva de la compatibilidad funcional de los mismos.

El importante papel que juegan las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en estos entornos se ha puesto de manifiesto a lo largo de este informe, ya que se han convertido en una tecnología horizontal de alto valor estratégico. En el primer capítulo queda recogida la importancia de las mismas en un entorno tan complejo como es el aeronáutico.

Asimismo, se ha dedicado el segundo capítulo de este informe al análisis de la problemática de la compatibilidad electromagnética en los entornos aeronáuticos, enumerando las principales fuentes de interferencia, estándares e interferencias producidas en los servicios vía radio.

Por otro lado, se ha presentado una clasificación inicial de los sistemas y servicios en aquellos que son propios del entorno y que garantizan la seguridad y eficiencia en la explotación de los diferentes servicios, y en aquellos que sin ser específicos de estos entornos proporcionan soporte a los servicios principales y dan acceso a los pasajeros a redes de voz y datos.

Para cada tipo de sistemas se han analizado los procesos de gestión de frecuencias y la normativa técnica aplicable a cada uno de ellos, recogiendo las diferentes bandas de frecuencias implicadas en el funcionamiento de estos entornos.

Para finalizar, se ha llevado a cabo un análisis de los diferentes sistemas propios de estos entornos, que se han clasificado según fueran críticos o no para la seguridad, en sistemas AAC, APC, AOC y CNS/ATM, haciendo evidente la necesidad actual de dar soporte a la gran cantidad de sistemas existentes para ser capaces de hacer frente al aumento de tráfico aéreo que existe hoy en día. Asimismo, se han presentado los sistemas propios de las comunicaciones militares, de aviación general y de entornos aeroportuarios.



## CAPÍTULO 7. ACTUACIONES Y PROPUESTAS

En primer lugar, se expone brevemente lo que se ha considerado como aspectos clave de los servicios de telecomunicación en entornos aeronáuticos, así como las problemáticas actuales de algunos de dichos aspectos claves, para, seguidamente, proponer algunas actuaciones en línea con dicho análisis.

- El entorno aeronáutico se caracteriza por la utilización, por un lado, de Sistemas Específicos de este entorno, altamente normalizado y regulado por organismos internacionales de estandarización: OACI y UIT; y por otro, de Sistemas No Específicos del entorno, también generalmente normalizados: GSM, TETRA, Wi-Fi, etc. desplegados básicamente en aeropuertos.
- Resulta conveniente la separación de servicios propios (y más aún si éstos son críticos) de los servicios de telecomunicación disponibles por el público, asociados a operadores de telecomunicaciones, independientemente de la posible existencia de servicios de valor añadido proporcionados por los propios operadores aeronáuticos.

Ante la complejidad del entorno y aunque tanto los servicios específicos como los no específicos han sido estudiados desde el punto de vista de compatibilidad electromagnética para que el despliegue de los nuevos sistemas de comunicaciones y la convivencia con los sistemas ya implantados sea exitosa y contribuya a un mejor funcionamiento de estos entornos, deberían adoptarse las siguientes actuaciones:

- Sería recomendable la definición de proyectos técnicos unificados para los despliegues realizados por parte de los operadores de telecomunicaciones que deseen ofrecer servicios disponibles al público de GSM, UMTS, Wi-Fi, etc. que incluyeran un apartado de compatibilidad electromagnética con los sistemas específicos desplegados en el mismo entorno. Dicho proyecto técnico debe incorporar las pertinentes estimaciones de niveles, así como contemplar la secuencia de medidas de niveles radioeléctricos, con el fin de determinar las condiciones adecuadas de protección del espectro radioeléctrico.
- Sería muy conveniente la definición de un protocolo de verificación del sistema radioeléctrico en el interior de las aeronaves y su influencia sobre los sistemas exteriores y viceversa. El uso progresivo de tecnologías inalámbricas en el interior de los aviones hace previsible un aumento en la interacción entre el interior y el exterior de los mismos.
- Sería deseable la existencia de la figura de un Órgano Gestor que permita la coordinación de las frecuencias utilizadas en los sistemas de radiocomunicaciones usados por los distintos operadores en estos entornos aeronáuticos.



- La introducción de comunicaciones móviles 3G por la transposición de la directiva 2009/114/CE debe realizarse teniendo en cuenta los sistemas de comunicaciones aeronáuticas por encima de 960 MHz al objeto de garantizar una protección adecuada.

La puesta en marcha, en mayor o menor medida, de las actuaciones propuestas puede contribuir a un mejor funcionamiento de estos entornos, provocando un avance significativo en el ámbito de la seguridad y la calidad de servicio.



## BIBLIOGRAFÍA

### Estudios, artículos y normativa

- "8,33 User Guide. Horizontal Expansion" Edition Number 5.1., European Air Traffic Management Programme, (EUROCONTROL) 21 de enero de 2002.
- "Atribuciones de Frecuencia", Artículo 5 del Reglamento de Radiocomunicaciones.
- "CAP 493. Manual of Air Traffic Services Part 1" 4ª edición. Safety Regulation Group. Civil Aviation Authority. 22 de agosto de 2008.
- "Cap. 493 Manual of Air Traffic Services Part 1", 4º Ed. Agosto 2008 (Civil Aviation Authorities)
- "Communications Operating Concept and Requirements for the Future Radio System" (COCR Version 2.0), EUROCONTROL/FAA Future Communications Study Operational Concepts and Requirements Team.
- "Compatibility between GSM Equipment on Board Aircraft and Terrestrial Networks" ECC Report 93. ECC-CEPT (Electronic Communications Committee – European Conference of Postal and Telecommunications Administrations)
- "Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); Harmonized EN for the GSM Onboard Aircraft System Covering the Essential Requirements of Article 3.2 of the R&TTE Directive". ETSI EN 302 40 V.1.1.2 (2008-04)
- "Expansión Horizontal de 8,33 kHz entre Canales en la Banda de Radiocomunicaciones VHF", Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea (AENA), División de Información Aeronáutica
- "Manual on the Universal Access Transceiver (UAT): Detailed Technical Specifications" Edition 1, Revision 3.2. 2 de marzo de 2005. OACI
- "The Many Faces of Air-Ground Data Link", Information Paper (CANSO)
- B. Delicado "Seguridad en Vuelo y Compatibilidad Electromagnética en Aeronaves" EADS CASA
- B.A. Delicado, "Nuevas Tecnologías y Seguridad en el Transporte Aéreo: La Compatibilidad Electromagnética" Economía Industrial Nº 353 (2003/V), páginas 95-98



- C.Hamel, A. Lemaire, W. Philipp. "Plan for the 8,33 kHz Channel Spacing Implementation" Version 2.0. 2 de diciembre de 1996.
- F.J. Díaz Bermúdez "Sistemas de Control y Operación en Aeropuertos: La Transformación del Entornos Aeroportuario por la Introducción de las Tecnologías de la Información" VII Jornadas sobre Tecnologías de la Información para la Modernización de las Administraciones Públicas, Octubre 2002
- OACI. "Global Air Navigation Plan for CNS/ATM" Second Edition – 2002
- M. Aguilera. "Comunicaciones Aeronáuticas Digitales. Antecedentes y Tecnologías". Revista BIT 149 (Febrero-Marzo de 2005) Páginas 74 – 77
- M. Savio Pereira, "Choosing the right VHF data link technology for commercial aviation air traffic services" Junio 1995
- M.A. Martín Prats, "Introducción a la Compatibilidad Electromagnética en Aeronaves" Universidad de Sevilla
- Notas de Utilización (UN) del Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF) 2007.
- OACI, "Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation: Aeronautical Telecommunications"
  - Volume I: Radio Navigation Aids
  - Volume II: Communication Procedures including those with PANS status
  - Volume III: Communication Systems
  - Volume IV: Surveillance Radar and Collision Avoidance Systems
  - Volume V: Aeronautical Radio Frequency Spectrum Utilization
- Pat de Barros, "HF Datalink: Background and Future Plans", ICNS Conference 21 de mayo de 2003, ARINC
- Reglamento (CE) Nº 1265/2007 de la Comisión Europea de 26 de Octubre de 2007
- W. Stamper, "Understanding Mode S Technology", RF Design ([www.rfdesign.com](http://www.rfdesign.com)), Defense Electronics, páginas 18 - 21, Diciembre 2005
- T. Walter, P. Enge, J. Blanch, B. Pervan, "Worldwide Vertical Guidance of Aircraft Based on Modernized GPS and New Integrity Augmentations", Proceedings of the IEEE, Vol. 96, No. 12, Diciembre 2008.



- L. Monticone, "Optimizing Spectrum Use in the 960 – 1215 MHz Band", FAA/MOIE, Mitre Technology Program, 2002.
- "Future Use of the Band 5030 – 5150 MHz. Compatibility Analysis between Existing AMS(R)S and ARNS/MLS Allocations", Thales Alenia Space, NSP/SSG, Montreal, 31 de marzo – 4 de abril de 2008.
- "Sistemas CNS/ATM. Planificación General", OACI.
- G. Höfgen, "VOR y VOR-Doppler", Comunicaciones Eléctricas, Nº 50/4, páginas 269-272, 1975.

## Libros

- Dale Stacy, "Aeronautical Radio Communication Systems and Networks" Ed. Wiley. 2008

## Referencias de Internet

- "AIRCOM Datalink VDL and ATN Services" (SITA), [www.sita.aero](http://www.sita.aero)
- AENA (Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea), [www.aena.es](http://www.aena.es)
- ARINC, ACARS, [www.arinc-acars.com](http://www.arinc-acars.com)
- ARINC, [www.arinc.com](http://www.arinc.com)
- ECAC (European Civil Aviation Conference), [www.ecac-ceac.org](http://www.ecac-ceac.org)
- EUROCONTROL, "ATM Performance", [www.eurocontrol.int](http://www.eurocontrol.int)
- EUROCONTROL, European Organisation for the Safety of Air Navigation, [www.eurocontrol.be](http://www.eurocontrol.be)
- INMARSAT, [www.inmarsat.com](http://www.inmarsat.com)
- IRIDIUM, [www.iridium.com](http://www.iridium.com)





## ACRÓNIMOS

**A/A:** Aire/Aire

**A – BPSK:** Aeronautical – Binary Phase Shift Keying

**A – QPSK:** Aeronautical – Quadrature Phase Shift Keying

**AAC:** Aeronautical Administrative Communications

**ACARS:** Aircraft Communications Addressing and Reporting System

**ACAS:** Airborne Collision Avoidance System

**ACC :** Aviation Centre Cologne

**ACC:** Air Control Communication

**ADF:** Automatic Direction Finder

**ADS:** Automatic Dependant Surveillance

**ADS-B:** ADS Broadcast

**ADS-C:** ADS Contractual

**AEEC:** Airlines Electronic Engineering Committee

**AMHS:** Aeronautical Message Handling System

**AM(R)S:** Aeronautical Mobile (Route) Service

**AM-MSK:** Amplitude Modulation – Minimun Shift Keying

**AMS(R)S:** Aeronautical Mobile Satellite (Route) Service

**AMSS:** Aeronautical Mobile Satellite Service

**AOC:** Advanced Operational Capability

**AOC:** Aeronautical Operation and Control

**AOCDLL:** AOC Data Link Logon

**APC:** Aeronautical Passenger Communications

**ARINC:** Aeronautical Radio, Incorporated

**ASCII:** American Standard Code for Information Interchange

**ATAS:** Air Traffic Advisory Service

**ATC:** Air Traffic Control

**ATCS:** Air Traffic Control Service

**ATIS:** Automatic Terminal Information System

**ATM:** Air Traffic Management

**ATN:** Aeronautical Telecommunication Network

**ATS:** Air Traffic Services

**AVLC:** Aviation VHF Link Control



**BTS:** Base Transceiver Station

**CABINLOG:** Cabin Log Book Transfer

**CDU:** Control Display Unit

**CEM:** Compatibilidad Electromagnética

**CEPT:** Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications

**CMR:** Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones

**CNAF:** Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias

**CNS:** Communications, Navigation, Surveillance

**COSPAS:** acrónimo ruso de Sistema Espacial para la Búsqueda de Buques en Peligro – Localización de Siniestros en el Mar

**CPDLC:** Controller Pilot Datalink Communications

**CSMA:** Carrier Sense Multiple Access

**CW:** Continuous Wave

**D-ATIS:** Digital Automatic Terminal Information Service

**DCL:** Departure clearance

**DCS:** Digital Communication System

**DF:** Downlink Format

**DLS:** Direct Link Service

**DME:** Distance Measurement Equipment

**DPSK:** Differential Phase Shift Keying

**DVOR:** Doppler VOR

**ECC:** European Communications Committee

**EEHWG:** Grupo de Trabajo para la armonización de efectos electromagnéticos

**EGNOS: European** Geostationary Navigation Overlay Service

**EHS:** Enhanced Surveillance

**ELS:** Elementary Surveillance

**ELT:** Transmisores de Localización de Emergencia.

**ENGINE:** Engine Performance Reports

**EPLRS/SADL:** Enhanced Position Location Reporting System / Situation Awareness Datalink

**ETSI:** European Telecommunications Standards Institute

**EUROCAE:** European Organization for Civil Aviation Equipment



- FAA:** Federal Aviation Authority  
**FAA:** Federal Aviation Administration  
**FANS:** Future Air Navigation Systems  
**FAR/JAR:** Federal Aviation Recommendation/Joint Aviation Recommendation  
**FIS:** Flight Information System  
**FLTLOG:** Flight Log Transfer  
**FLTPLAN:** Flight Plan Data  
**FLTSTAT:** Flight Status  
**FMS:** Flight Management System  
**FOC:** Full Operational Capability
- GBAS:** Ground Based Augmentation System  
**GLONASS:** Global Orbiting Navigation Satellite System  
**GNSS:** Global Navigation Satellite System  
**GPS:** Global Positioning System  
**GSC:** Global Signalling Channels  
**GSM:** Global System for Mobile communication  
**GSMOBA:** GSM OnBoard Aircraft
- HDLC:** High-Level Data Link Control  
**HF:** High Frequency  
**HFDL:** HF Data Link  
**HIRF:** High-Intensity Radiated Fields
- ICM:** Industriales, Científicas y Médicas  
**IdMS:** Identity Management System  
**IFF:** Identification Friend or Foe  
**ILS:** Instrumental Landing System  
**IMT:** International Mobile Telecommunications  
**IP:** Internet Protocol  
**ISO:** International Organization for Standardization
- JTIDS/MIDS:** Joint Tactical Information Distribution System / Multifunctional Information Distribution System



**LAAS:** Local Area Augmentation System

**LDC:** Landing Data Calculation

**LEO:** Low Earth Orbit

**LME:** Link Management Entity

**LOADSHT:** Load Sheet Request

**LOS:** Line of Sight

**LVT:** Low Volume Terminal

**MAINTPR:** Maintenance Problem Resolution

**MAINTRT:** Real Time Maintenance Information

**MAN:** Metropolitan Area Network

**METAR:** Meteorological Aerodrome Report

**MLS:** Microwave Landing System

**MODE S:** Mode Select

**MPDS:** Mobile Packet Data Service

**MSO:** Message Start Opportunities

**MU:** Management Unit

**NCU:** Network Control Unit

**NDB:** Non Directional Beacon

**N-LOS:** No - LOS

**NOTAM:** Notice to Airmen

**NPA:** Notice of Proposed Amendment

**NPRM:** Notice of Propose Rulemaking

**OACI:** Organización de Aviación Civil Internacional

**OBTS:** OnBoard BTS

**OCM:** Oceanic Clearance Datalink Service

**OOOI:** Out-Off-On-In

**OR:** Off Route

**OSI:** Open System Interconnection

**PIRE:** Potencia Isótropa Radiada Equivalente

**PMR 446:** Personal Mobile Radio 446 MHz

**POSRPT:** Position Report

**PRF:** Pulse Repetition Frequency



**PSR:** Primary Surveillance Radar

**QoS:** Quality of Service

**R:** Route

**RA:** Aviso de Resolución

**RBLS:** Radiobalizas de Localización de Siniestros

**RDSI:** Red Digital de Servicios Integrados

**RFID:** Radio Frequency Identification

**R-GEO:** Ranging GEO

**RLAN:** Radio Local Area Network

**RLS:** Reliable Link Service

**RNA:** RadioNavegación Aeronáutica

**RTCA:** Radio Technical Commission for Aeronautics

**SARPs:** Standards and Recommended Practices

**SARSAT:** Search And Rescue Satellite-Aided Tracking

**SATCOM:** Satellite Communications

**SBAS:** Satellite Based Augmentation System

**SCPC:** Single Carrier per Channel

**SFS:** Servicio Fijo por Satélite

**SINGARS:** Single Channel Ground and Airborne Radio System

**SSR:** Secondary Surveillance Radar

**SWLOAD:** Software Loading

**T/A: Tierra/Aire**

**TA:** Aviso de Tránsito

**TACAN:** Tactical Air Navigation

**TACAS:** Traffic Alert and Collision Avoidance System

**TAF:** Terminal Area Forecast

**TCAS:** Traffic Collision Avoidance System

**TDD:** Time Division Duplex

**TDM:** Time Division Multiplexing

**TDMA:** Time Division Multiple Access

**TECHLOG:** Technical Log Book Update

**TETRA:** TERrestrial Trunked Radio



**TIC:** Tecnologías de la Información y las Comunicaciones

**TIS:** Traffic Information Service

**TODC:** Takeoff Data Calculation

**UAT:** Universal Access Transceiver

**UDI:** Unrestricted Digital Information

**UF:** Uplink Format

**UHF:** Ultra High Frequency

**UIT:** Unión Internacional de Telecomunicaciones

**UIT-R:** UIT - Radiocomunicaciones

**UMTS:** Universal Mobile Telecommunications System

**UPLIB:** Update Electronic Library

**VDL:** VHF Digital Link

**VHF:** Very High Frequency

**VoIP:** Voz sobre IP

**VOLMET:** meteorological information for aircraft in flight

**VOR:** VHF Omnidirectional Range

**WAAS:** Wide Area Augmentation System

**WAN:** Wide Area Network

**WI-FI:** Wireless Fidelity

**WIMAX:** Worldwide Interoperability for Microwave Access

**WXGRAPH:** Graphical Weather Information

**WXRT:** Real – Time Weather Reports for Met Office

**WXTEXT:** Textual Weather Reports





## **AGRADECIMIENTOS**

La realización de este informe ha sido posible gracias al esfuerzo y las contribuciones desinteresadas de diferentes personas que han aportado al Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación su conocimiento, así como las fuentes de información y los trabajos realizados en esta materia.

La materialización del presente informe no habría sido posible sin la colaboración y dedicación de Elena Vega Fernández y Manuel Espías Fernández a quienes agradecemos sinceramente su desinteresada colaboración.

Especialmente también queremos reconocer la extraordinaria labor de los miembros del Grupo, Victoria Ramos y Leandro de Haro por haber impulsado y liderado la elaboración de este informe.

Por último, agradecer a todos los miembros del Grupo de Nuevas Actividades Profesionales (NAP), del Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, su tiempo y dedicación, y a nuestros colaboradores Mariano Molina García, Pablo Almorox González y Rosario Torres Vera su contribución y dedicación en la redacción de este informe.

A todos ellos, nuestro más sincero agradecimiento por su disponibilidad y generosidad para compartir este trabajo con el colectivo de Ingenieros de Telecomunicación y con la sociedad en general.



