

RECOMENDACIÓN UIT-R SM.1535-0*, **

Protección de los servicios de seguridad de emisiones no deseadas

(2001)

Alcance

Esta Recomendación sirve de base para las técnicas de mitigación para proteger los servicios de seguridad reduciendo al mínimo la interferencia perjudicial de emisiones no deseadas.

Palabras clave

Sistema de seguridad, emisiones no deseadas, mitigación, servicios aeronáuticos

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que en algunos casos se han atribuido bandas de frecuencias adyacentes o cercanas a servicios de seguridad y a servicios que utilizan transmisores de alta potencia;
- b) que al realizar tales atribuciones, es posible que no se haya tenido en cuenta la compatibilidad entre el transmisor y el receptor;
- c) que el número 1.59 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) define a un servicio de seguridad como todo servicio radioeléctrico que se explote de manera permanente o temporal para garantizar la seguridad de la vida humana y la salvaguardia de los bienes;
- d) que algunos servicios de radiocomunicación, como son los servicios de seguridad relacionados con la seguridad de la vida o de las propiedades, se basan en la recepción de emisiones con una probabilidad de integridad y una disponibilidad superiores a las requeridas por otros servicios de radiocomunicación;
- e) que el número 1.169 del RR define la interferencia perjudicial como aquélla que compromete el funcionamiento de un servicio de radionavegación o de otros servicios de seguridad, o que degrada gravemente, interrumpe repetidamente o impide el funcionamiento de un servicio de radiocomunicación explotado de acuerdo con el RR;
- f) que en el número 4.10 del RR se establecen los requisitos del servicio de radionavegación y de otros servicios de seguridad al objeto de que se tomen medidas especiales que garanticen que no se ven afectados por interferencia perjudicial;
- g) que es importante evitar que los servicios de seguridad se vean afectados por interferencia perjudicial debido a la potencial pérdida de vidas o de propiedades que ello puede acarrear;
- h) que en varias notas del RR se advierte sobre la necesidad de una mayor disponibilidad y prioridad de los servicios de seguridad en determinadas bandas (por ejemplo, en los números 5.353A, 5.357A y 5.362A). En este sentido, las emisiones de alta potencia y las emisiones procedentes de estaciones espaciales o de aeronaves pueden ser especialmente perjudiciales;

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 4, 5, 6 y 7 de Radiocomunicaciones.

** La Comisión de Estudio 1 de Radiocomunicaciones introdujo algunas modificaciones redaccionales en esta Recomendación en 2018 y 2019, de conformidad con la Resolución UIT-R 1.

- j) que existen diversas prácticas operacionales y técnicas de mitigación que los servicios de seguridad pueden utilizar a fin de minimizar los efectos de la interferencia procedente de otros servicios;
- k) que existen diversas prácticas operacionales y técnicas de mitigación que pueden ser utilizadas para evitar la interferencia sobre los servicios de seguridad;
- l) que en el caso de emisiones en el domino no esencial, los límites generales especificados en el Apéndice 3 del RR pueden no proteger suficientemente de la interferencia a los servicios de seguridad;
- m) que la Recomendación 66 (Rev.CMR-2000) recomienda al UIT-R que «estudie las bandas de frecuencias y los casos en los cuales, por razones técnicas u operacionales, se pueden necesitar límites más estrictos para las emisiones no esenciales que los límites generales consignados en el Apéndice 3, para proteger a los servicios de seguridad y los servicios pasivos tales como el de radioastronomía, y las consecuencias de la aplicación o falta de aplicación de esos límites sobre todos los servicios interesados»;
- n) que la Recomendación 66 (Rev.CMR-2000) recomienda al UIT-R que «estudie las bandas de frecuencias y los casos en los cuales, por razones técnicas u operacionales, se pueden necesitar límites de las emisiones fuera de banda para proteger a los servicios de seguridad y los servicios pasivos tales como el de radioastronomía, y el impacto de la aplicación o falta de aplicación de esos límites sobre todos los servicios interesados»;
- o) que deben tomarse las medidas adecuadas para evitar el riesgo potencial de interferencia perjudicial sobre los servicios de seguridad;
- p) que la movilidad de las aeronaves y la amplia zona de visibilidad a la que éstas están expuestas, junto con la variabilidad e incertidumbre de la ocurrencia de interferencia perjudicial sobre servicios aeronáuticos relacionados con la seguridad de la vida humana, puede hacer necesaria la utilización de técnicas estadísticas y de otras técnicas a fin de evaluar la interferencia perjudicial;
- q) que en otras áreas de actividad se han utilizado con éxito técnicas estadísticas, como por ejemplo, en el control de la calidad de fabricación y en el análisis de fiabilidad;
- r) que el término «interferencia perjudicial» debe interpretarse a la luz de la naturaleza de las operaciones y del entorno de seguridad,

reconociendo

que el RR contiene definiciones y terminología relativa a los servicios de seguridad (por ejemplo, en los números 1.28-1.31, 1.32, 1.33, 1.36, 1.43, 1.44, 1.46, 1.47: servicios; los números 4.10, 1.59: general, y los números 1.166, 1.167, 1.168, 1.169: interferencia),

observando

- a) que en el Anexo 1 se explica por qué los servicios de seguridad pueden necesitar una especial atención en lo que se refiere a la interferencia de emisiones fuera de banda o no esenciales;
- b) que los servicios de seguridad sólo pueden definirse en términos de requisitos de seguridad destinados a mostrar que el sistema alcanza un nivel de integridad especificado en todas las condiciones operacionales posibles de utilización. En lo que se refiere a los requisitos de protección, es necesario demostrar que no se compromete la integridad de un sistema de seguridad;

c) que puede resultar de utilidad la información histórica sobre la compatibilidad entre servicios de seguridad y otros servicios,

recomienda

1 que se tomen las medidas siguientes a fin de evitar el riesgo potencial de interferencia perjudicial sobre los servicios de seguridad:

- 1.1 la consulta e intercambio de información técnica y operacional entre las partes implicadas;
- 1.2 la cooperación en relación con la selección e implementación de las medidas más adecuadas entre operadores de sistemas de seguridad y de otros sistemas; y
- 1.3 las técnicas adecuadas de gestión del espectro, incluyendo los límites de las emisiones no deseadas;

2 que los sistemas de transmisión puedan utilizar las técnicas y medidas de mitigación descritas en el Anexo 2 con el fin de evitar la interferencia perjudicial generada por las emisiones no deseadas, teniendo en cuenta las limitaciones que ello imponga al diseño del sistema;

3 que los servicios de seguridad puedan utilizar las técnicas y medidas de mitigación descritas en el Anexo 3 con el fin de reducir o evitar los efectos de la interferencia generada por otros servicios, siempre que aquéllas no degraden la calidad de funcionamiento del equipo del servicio de seguridad;

4 que cuando se considere necesario, puedan utilizarse límites más estrictos para las emisiones no esenciales que los límites generales consignados en el Apéndice 3 del RR para las bandas de frecuencias indicadas en el Anexo 4; las Recomendaciones UIT-R aplicables pueden ser utilizadas para resolver los casos especiales;

5 que las bandas de frecuencias enumeradas en el Anexo 4 deben considerarse como las bandas de frecuencias de los servicios de seguridad en las que, por motivos técnicos u operacionales, los límites fuera de banda pueden ser utilizados por otros servicios para la protección de los servicios de seguridad;

6 que el nivel de interferencia perjudicial sobre los servicios de seguridad de la vida humana se determine caso a caso mediante un análisis de seguridad. Este análisis debe evaluar el uso que se hace de los sistemas de seguridad y demostrar que se mantiene el nivel de integridad especificado cualesquiera que sean las condiciones operacionales;

7 que la determinación de los niveles de umbral cuantitativos de la interferencia perjudicial de los diversos servicios móviles aeronáuticos pueda incluir el examen del funcionamiento y el criterio de seguridad adecuado que se describen en los Anexos 5 y 6.

ANEXO 1

Protección de los servicios de seguridad

Los servicios de seguridad son servicios de radiocomunicaciones utilizados para la salvaguarda de la vida humana y de las propiedades. Así, por ejemplo, las operaciones aeronáuticas, el control del tráfico aéreo y muchas de las comunicaciones marítimas son fundamentalmente servicios relativos a la seguridad de la vida humana. Los sistemas utilizados para la seguridad de la vida, incluidos los sistemas de radionavegación y los sistemas de radionavegación por satélite, dependen de la capacidad para detectar una señal débil o distante en circunstancias en las que la interferencia puede afectar de forma crítica a la recepción de la misma. Ello significa que para los servicios de

seguridad puede ser necesaria una protección especial, tal como se establece en el número 4.10 del RR, dada la naturaleza crítica de la protección de la vida humana y de las propiedades. La necesidad de que los sistemas de seguridad deban detectar señales muy débiles, hace que sea muy importante que dichos sistemas funcionen en un entorno libre de interferencias perjudiciales. Las autoridades con responsabilidad en la reglamentación internacional de las radiocomunicaciones reconocen la necesidad de que los servicios de seguridad dispongan de una protección especial. A la vista de la importancia de los servicios de seguridad y su vulnerabilidad a la interferencia, el Artículo 31 del RR prohíbe específicamente cualquier emisión que cause interferencia perjudicial sobre las comunicaciones de socorro y seguridad en cualquiera de las frecuencias discretas identificadas en los Apéndices 13 y 15 del RR. Por otra parte, además de los límites generales de las emisiones no esenciales especificados en el RR, son necesarias normas específicas o Recomendaciones UIT-R para la protección de algunos servicios de seguridad. Algunos ejemplos de ello pueden encontrarse en las Recomendaciones UIT-R M.218, UIT-R M.441, UIT-R M.589, UIT-R M.690, UIT-R M.1088, UIT-R M.1233, UIT-R M.1234, UIT-R M.1313, UIT-R M.1317, UIT-R M.1318, UIT-R M.1343, UIT-R M.1371, UIT-R M.1460, UIT-R M.1461, UIT-R M.1463, UIT-R M.1464, UIT-R M.1478, UIT-R S.1342, UIT-R SM.1009 y UIT-R SM.1051.

1 Sistemas aeronáuticos

En el caso de la aviación civil internacional, las Normas y Prácticas recomendadas de la Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI) establecen normas de seguridad específicas, en particular en el Anexo 10 al Convenio de la Aviación Civil Internacional. La OACI establece que «El Reglamento de Radiocomunicaciones presta una atención especial a la prevención de todo tipo de interferencias, entre servicios o entre regiones, entre asignaciones o procedentes de cualquier fuente de radiación, tales como los equipos médicos e industriales. Se presta una especial atención a los servicios que tienen una función predominantemente relacionada con la seguridad de la vida humana, como es el caso de los servicios aeronáuticos».

En el diseño de las comunicaciones para la navegación y vigilancia (CNS, *communications, navigation and surveillance*) aeronáuticas, los atributos de eficiencia espectral y de robustez de las operaciones del sistema (por ejemplo, un margen del enlace adecuado, resistencia a la interferencia o modos de fallo mínimos) entran a menudo en conflicto. Cuando así ocurre, debe darse prioridad a la robustez del diseño del sistema debido a la naturaleza crítica en materia de seguridad de los sistemas CNS aeronáuticos.

2 Sistemas espaciales de alerta de socorro y de localización

Los sistemas de socorro y seguridad que funcionan mediante estaciones espaciales con receptores sensibles son especialmente vulnerables a la interferencia procedente de los emisores de sistemas terrenales y espaciales. Sistemas tales como el Cospas-Sarsat, que utilizan satélites de órbita baja tienen campos de visión que abarcan millones de kilómetros cuadrados y los satélites en órbita terrestre geoestacionaria cubren cada uno aproximadamente 1/3 de la superficie terrestre. Estos satélites reciben las débiles señales de socorro de las radiobalizas de localización de siniestros (RLS) que son muy vulnerables a la interferencia. Se ha demostrado que las interferencias sobre el sistema Cospas-Sarsat en la banda de 406-406,1 MHz tienen su origen en equipos de las bandas adyacentes y próximas a las bandas adyacentes, así como en transmisores con características de modulación de banda ancha que funcionan a frecuencias distantes de hasta 20 MHz de la frecuencia de 406 MHz. Las emisiones fuera de banda y emisiones no esenciales de sistemas de alta potencia que utilizan técnicas de modulación digital y con impulsos, pueden tener niveles suficientes para enmascarar completamente a las emisiones procedentes de las RLS.

2.1 Requisitos de protección del sistema Cospas-Sarsat

La UIT ha aprobado Recomendaciones que:

- identifican los requisitos de protección de los procesadores de búsqueda y salvamento Cospas-Sarsat que funcionan en la banda de frecuencias de 406-406,1 MHz; y
- proporcionan directrices para la detección y supresión de interferencia perjudicial en la banda de frecuencias de 406-406,1 MHz.

En particular, la Recomendación UIT-R M.1478 – Criterios de protección de los procesadores Cospas-Sarsat de búsqueda y salvamento (SARP) en la banda 406-406,1 MHz, establece el nivel umbral de la densidad de flujo de potencia de banda ancha máxima admisible a la entrada de la antena del satélite en $-198,6 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz})$). Esta Recomendación establece asimismo que las emisiones no esenciales de banda estrecha no deben exceder de $-185,8 \text{ dB(W/m}^2)$ a la entrada de la antena Sarsat. La Recomendación UIT-R SM.1051 proporciona información sobre los principios de detección y localización de las RLS, el procesamiento de las señales interferentes a 406 MHz, los niveles de interferencia perjudicial y los procedimientos para la localización/eliminación de interferencia perjudicial.

ANEXO 2

Técnicas y medidas de mitigación que pueden utilizarse en el transmisor

En algunas Recomendaciones UIT-R, como por ejemplo en la Recomendación UIT-R SM.328, se han descrito varias técnicas de mitigación que pueden tener relevancia directa para las categorías que se enumeran a continuación:

1 Aspectos del soporte físico y del sistema a considerar en las primeras etapas del diseño de los sistemas a fin de reducir la interferencia procedente de emisiones no esenciales

- Arquitectura del transmisor.
- Diseño del amplificador de potencia de salida para evitar que la señal se reproduzca en canales adyacentes o intermodulación.
- Utilización de componentes que funcionen en la mayor medida posible con características lineales.
- Análisis y/o simulaciones para determinar que el grado de envejecimiento de los componentes del transmisor no producirá interferencia sobre los sistemas de socorro y seguridad durante la vida operacional del transmisor.
- Diseño del proceso de modulación para evitar emisiones no deseadas.
- Diagramas de radiación de las antenas.
- Control de la potencia.

2 Gestión de la carga de tráfico

La gestión de la carga de tráfico consiste en la reducción o modificación de las emisiones de la fuente potencial de interferencia durante situaciones (en determinados momentos o circunstancias)

en las que puede producirse interferencia perjudicial si no se realiza dicha reducción. En muchos casos se considera que en la evaluación global de la compatibilidad deben incluirse consideraciones relativas al tráfico a fin de determinar si puede darse una situación potencialmente interferente. Asimismo, se estima que, en términos generales, la gestión de la carga de tráfico de la fuente potencialmente interferente y que está destinada a proteger un servicio de seguridad, no es viable debido al elevado nivel de integridad que dicha protección requiere.

3 Utilización de la banda

- Una forma de evitar la interferencia perjudicial cocanal es hacer un uso óptimo de la reutilización de frecuencias.
- La separación geográfica y en frecuencia constituyen métodos normalizados para evitar la interferencia perjudicial.
- Los servicios de seguridad pueden protegerse más fácilmente contra las interferencias de emisiones no deseadas cuando se les atribuyen bandas de frecuencia en exclusiva.
- Los sistemas satelitales de alerta de socorro y localización tienen receptores sensibles, y se deben tener en cuenta las consideraciones siguientes en la planificación de nuevos sistemas o cuando se llevan a cabo mejoras sobre sistemas existentes:
 - Las anchuras de banda de protección propuestas deben tener en cuenta el efecto Doppler debido al movimiento relativo entre el transmisor y la estación espacial receptora. Esto es especialmente importante cuando el transmisor se encuentra también situado en el espacio.
 - Debe tenerse especialmente en cuenta el impacto de las emisiones fuera de banda y no esenciales procedentes de sistemas que utilizan técnicas de modulación con impulsos, espectro ensanchado u otras técnicas de modulación de banda ancha. Estos tipos de sistemas pueden causar interferencia cuando la frecuencia del transmisor está relativamente cercana a la frecuencia portadora del sistema de seguridad.
- Los amplificadores pueden quedar desensibilizados cuando los sistemas de seguridad se encuentran espacialmente próximos a otros sistemas que no sean de seguridad. Puede producirse una situación de potencial deterioro total de los amplificadores de bajo ruido cuando, por ejemplo, la geometría orbital es tal que sistemas de seguridad y otros sistemas alcanzan posiciones muy próximas entre sí.
- Se deben utilizar las Recomendaciones UIT-R pertinentes que identifican los niveles de interferencia perjudicial como ayuda para establecer la separación de frecuencia adecuada entre sistemas de seguridad y el resto de los sistemas.

4 Canales de guarda

La protección del canal 16 en las bandas marítimas se ha venido realizando históricamente dejando canales vacantes a ambos lados de los canales de llamada de socorro y seguridad y de los canales de trabajo. Por ejemplo, los canales 15 y 17 no se utilizaban para evitar la interferencia sobre el canal 16. El actual Apéndice 18 del RR protege el canal 16 mediante notas a pie de página que instan a que los canales 15, 75, 76 y 17 se utilicen para operaciones de baja potencia y comunicaciones a bordo. La utilización de bandas de guarda en atribuciones adyacentes a los servicios de seguridad puede ayudar a mitigar la interferencia.

5 Supervisión

Pueden utilizarse informes relativos a la interferencia para determinar el tipo de interferencia o de servicio recibido a fin de establecer si el problema se debe resolver mediante estaciones de supervisión locales o internacionales.

La supervisión del espectro mediante equipos de supervisión móviles y de laboratorios de compatibilidad electromagnética (CEM) puede constituir un complemento de las facilidades de supervisión fijas.

6 Cese de la transmisión

Pueden establecerse procedimientos operacionales para deshabilitar el transmisor cuando el haz principal de radiación se encuentre en el campo de visión de un sistema del servicio de seguridad.

ANEXO 3

Técnicas y medidas de mitigación que pueden utilizar los servicios de seguridad para minimizar la interferencia perjudicial procedente de otros servicios

Las técnicas de mitigación varían en función de los distintos servicios y sistemas. No todas las técnicas que se enumeran a continuación son adecuadas en todos los casos. Por ejemplo, algunos sistemas de comunicación y vigilancia utilizados por la aviación civil disponen de diversidad de frecuencia y de procesado de la señal. Sin embargo, otras técnicas tales como el diseño a medida del haz de radiación o la inclinación del haz pueden limitar la calidad de funcionamiento de algunos sistemas de seguridad aeronáuticos y pueden resultar inadecuados.

1 Arquitectura del receptor

La utilización de selectividad mejorada de radiofrecuencia permite reducir las señales no deseadas fuera de la anchura de banda sintonizada. Un diseño de doble superheterodino permite disponer de buenas condiciones de rechazo del canal adyacente y de la frecuencia imagen.

2 Apantallamiento del emplazamiento

La utilización de vallas espaciadas entre sí y el adecuado aprovechamiento de la topografía local permite atenuar las señales interferentes.

3 Medidas operacionales

La correcta utilización de procedimientos operacionales puede permitir minimizar las fuentes de interferencia.

4 Corrección de errores y entrelazado

La utilización de técnicas de corrección de errores y de entrelazado puede mejorar la calidad de funcionamiento de los sistemas digitales en presencia de señales no deseadas.

5 Diversidad de frecuencia

Cuando existen varias frecuencias que pueden utilizarse en cualquier momento se pueden transmitir simultáneamente dos o más frecuencias. Las señales pueden combinarse en el receptor o bien, se puede seleccionar la señal de mayor intensidad. No obstante, debe señalarse que esta técnica es ineficiente desde el punto de vista espectral.

6 Diversidad espacial

Las señales débiles pueden reforzarse utilizando antenas espacialmente separadas cuyas salidas se combinan en el receptor.

7 Inclinación descendente del haz

No solamente puede reducirse la señal interferente en hasta 3 dB (incluso la cocanal) sino que también puede mejorarse la penetración. Para ofrecer una mejor calidad de servicio se han utilizado técnicas de antenas tales como el relleno de nulos.

8 Diagrama de radiación de la antena

Pueden utilizarse antenas en diedro y otras antenas direccionales para conseguir una adaptación adecuada a la zona de servicio de interés y minimizar así la interferencia del exterior de la zona de servicio.

9 Procesamiento de la señal (radar)

La Recomendación UIT-R M.1372 – Utilización eficaz del espectro radioeléctrico por las estaciones del servicio de radiodeterminación, proporciona algunos métodos que pueden utilizarse para mejorar la eficiencia espectral de los sistemas de radar que funcionan en las bandas del servicio de radiodeterminación. En dicha Recomendación se analizan varias técnicas de supresión de la interferencia en postdetección en el receptor que actualmente se utilizan en radares de radionavegación, radiolocalización y meteorológicos, junto con el análisis de soluciones de compromiso (limitaciones) relativas a la calidad de funcionamiento asociada a las técnicas de supresión de la interferencia.

10 Filtrado en radiofrecuencia

Los filtros de ranuras se han utilizado con éxito para la protección de sistemas de navegación hiperbólicos tales como el sistema Loran frente a la interferencia perjudicial. Este tipo de filtrado puede utilizarse fácilmente para atenuar señales de gran potencia cercanas a la señal deseada. También pueden utilizarse otros tipos de filtrado, tales como el filtrado paso de banda, etc., cuando sólo sean de interés unos pocos canales o bandas. Estas técnicas pueden aplicarse tanto a transmisores como a receptores.

11 Sistemas de acceso múltiple por división en el tiempo (AMDT)/acceso múltiple por división de frecuencia (AMDF)

Los sistemas de multiplexación en el tiempo o en frecuencia pueden ofrecer una mayor inmunidad a algunos tipos de interferencia que los sistemas asíncronos y de gran anchura de banda.

12 Silenciador con codificación digital (DCS, *digitally coded squelch*)/sistema de señalización de control de tono continuo (CTCSS, *continuous tone control signalling system*)

Un receptor que utilice esta técnica sólo estará activado cuando exista tráfico dirigido a dicha unidad.

13 Supervisión

El sistema Cospas-Sarsat tiene la capacidad de localizar muchos tipos de señales interferentes. Esta capacidad se ha implementado en numerosas estaciones terrenas, informándose de forma rutinaria a las administraciones y a la UIT. En la Recomendación UIT-R SM.1051 se muestra un ejemplo de procedimientos de supervisión del espectro.

14 Gestión de la carga de tráfico

La gestión de la carga de tráfico puede realizarse de varias formas. Una de ellas consiste en establecer un esquema de las prioridades y la interrumpibilidad de los mensajes. En otras palabras, cuando todos los canales de comunicación disponibles están siendo utilizados por mensajes que no son de seguridad, los mensajes con una prioridad más elevada interrumpen a los mensajes con menor prioridad. Esta técnica puede utilizarse en una red de un sistema por satélite que transporte las comunicaciones del servicio móvil por satélite que no sean de seguridad junto con las comunicaciones de seguridad del servicio móvil aeronáutico por satélite (R) (SMA(R)S) y del sistema mundial de socorro y seguridad marítimo (SMSSM). Un sistema radioeléctrico de concentración de enlaces que transporte comunicaciones de seguridad puede utilizar los principios de prioridad e interrumpibilidad cuando se utiliza un canal de control.

15 Control de potencia adaptable

La potencia de un transmisor móvil puede ajustarse automáticamente. Esta técnica tiene limitaciones prácticas.

ANEXO 4

Bandas de frecuencia relevantes para los servicios de seguridad

En este Anexo se enumeran las bandas de frecuencia que utilizan los servicios de seguridad. Las administraciones nacionales pueden estar utilizando otras bandas, que se encuentran bajo su control, para los servicios de seguridad, pero dichas bandas puede que no estén incluidas en el siguiente Cuadro.

Banda de frecuencias	Breve descripción de la utilización de seguridad
70-130 kHz	Comparación de fase hiperbólica
90-110 kHz	Diferencia de tiempo hiperbólica LORAN-C
190-535 kHz	Balizas no direccionales NAVTEX
275-335 kHz	Sistema digital mundial de navegación aeronáutica por satélite (DGNSS, <i>digital global navigation satellite system</i>) RANA hiperbólica
1 625-1 635 kHz	Comparación de fase hiperbólica TORAN
1 800-1 810 kHz	Comparación de fase hiperbólica TORAN
2 160-2 170 kHz	Comparación de fase hiperbólica TORAN
2,1-28 MHz (varias bandas)	Servicio móvil aeronáutico (R) y (OR) y comunicaciones del SMSSM de conformidad con el Artículo 5 del RR
74,8-75,2 MHz	Baliza marcadora del sistema de aterrizaje por instrumentos (ILS)
108-118 MHz	Ayudas a la radionavegación – rango omnidireccional en ondas métricas, localizador del sistema de ILS, aumento terrenal del servicio de radionavegación por satélite (SRNS)
118-137 MHz	Comunicaciones de seguridad aeronáuticas
121,45-121,55 MHz	Balizas de socorro: Cospas-Sarsat y localización de emergencia aeronáutica
156-162 MHz	Comunicaciones marítimas del SMSSM, sistema de identificación automática
242,95-243,05 MHz	Balizas de socorro: Cospas-Sarsat y localización de emergencia aeronáutica
225-328,6 MHz	Comunicaciones de seguridad aire-tierra y tierra-aire
328,6-335,4 MHz	Radioalineación de descenso del ILS
335,4-400 MHz	Comunicaciones de seguridad aire-tierra y tierra-aire
406,00-406,10 MHz	Balizas de socorro Cospas-Sarsat (Tierra-espacio), SMSSM
960-1 215 MHz	Ayudas de radionavegación aeronáutica – Equipo de medición de distancia, navegación táctica aérea, balizas radar, radar secundario de vigilancia, sistema para evitar colisiones de aeronaves, sistemas de radionavegación por satélite
1 215-1 400 MHz	Radar aeronáutico
1 215-1 260 MHz	Sistemas de radionavegación por satélite
1 525-1 559 MHz (espacio-Tierra)	Comunicaciones móviles por satélite de socorro y seguridad (SMSSM y SMA(R)S)
1 544-1 545 MHz (espacio-Tierra)	RLS del SMSSM

Banda de frecuencias	Breve descripción de la utilización de seguridad
1 559-1 610 MHz	Sistemas de radionavegación por satélite, aumentos basados en sistemas terrenales y satelitales para sistemas de navegación por satélite.
1 626,5-1 660,5 MHz (Tierra-espacio)	Comunicaciones móviles por satélite de socorro y seguridad (SMSSM y SMA(R)S)
1 645,5-1 646,5 MHz (Tierra-espacio)	RLS del SMSSM
2 700-3 300 MHz	Radar (a bordo de barcos, en tierra, aeronáutico y meteorológico, RACON y transpondedores a bordo de aeronave)
4 200-4 400 MHz	Altímetro radioeléctrico en aeronave
5 000-5 250 MHz	Sistema de aterrizaje por microondas (MLS), sistemas de radionavegación por satélite.
5 350-5 650 MHz	Balizas radar, radar en aeronave y radar meteorológico
8 750-8 850 MHz	Ayudas Doppler a la navegación de aeronaves (radar)
8 900-9 280 MHz	Radar en tierra, radar aeronáutico
9 200-9 500 MHz	Radar (en barcos), balizas radar y mejoradores de objetivo, radar meteorológico en aeronave y en tierra, radar aeronáutico en tierra, transpondedores de búsqueda y salvamento
13,25-13,4 GHz	Ayudas Doppler a la navegación de aeronaves (radar)
15,4-16,4 GHz	Equipo de detección de superficie de superficie de los aeropuertos, radar meteorológico, sistemas de aterrizaje de aeronaves, sistema de medida y detección radar

ANEXO 5

Factores que deben tenerse en cuenta cuando se establezcan criterios de protección para los servicios de seguridad aeronáuticos

1 Introducción

Para los fines de este Anexo, se define como ruido electromagnético o ruido todo tipo de energía electromagnética, procedente de elementos radiantes intencionados o no intencionados, excepto la procedente de una señal deseada para un sistema específico de interés.

Los criterios de protección existentes y propuestos, a los que a menudo se hace referencia como a señales interferentes máximas admisibles, intensidad de campo máxima admisible o límites de ruido, se establecen frecuentemente de la forma siguiente:

N (μ V/m) a 30 m en la banda de frecuencias de 108-112 MHz

Este tipo de declaración puede ser insuficiente en sí misma pues puede no tener en cuenta una serie de factores que son pertinentes, algunos de los cuales se identifican en el § 2.

2 Factores específicos

2.1 Deben establecerse las condiciones bajo las cuales se deben realizar las mediciones de intensidad de campo de la señal interferente. Una especificación inadecuada de dichas condiciones, tales como la anchura de banda del receptor (por ejemplo, 10 kHz, 100 kHz o 1 MHz, 3 dB, 6 dB o anchura de banda impulsiva), las características del detector del receptor, las técnicas de calibración, el tipo de antena utilizada, la polarización y la altura de la antena sobre el suelo, hacen que el método de medidas quede abierto a interpretaciones; ello puede dar lugar a conclusiones erróneas y a la imposibilidad de comparar datos obtenidos por distintos grupos de expertos.

2.2 Los errores en los instrumentos y en su calibración así como los errores en las configuraciones de prueba y en los procedimientos de medida, generan errores de medida sistemáticos y aleatorios. También se producen errores debido a que los problemas que causan la interferencia electromagnética son a menudo de naturaleza probabilística, más que determinística. El método de análisis de errores utilizado en el establecimiento de los límites de los parámetros se convierte en un factor importante cuando deben tenerse en cuenta factores de tipo reglamentario.

2.3 Una serie de administraciones, instituciones educativas y organizaciones de investigación están actualmente desarrollando o refinando técnicas de predicción de interferencia, modelos de ruido y modelos de los sistemas de comunicaciones. Una lista no exhaustiva de parámetros y técnicas de medición incluye los siguientes:

- tensión media (V_{avg});
- tensión eficaz (V_{rms});
- tensión de quasi cresta (V_{qp}) (tanto en el Comité Internacional Especial de Perturbaciones (CISPR) como en el American National Standards Institute (ANSI));
- tensión de cresta (V_p);
- relación impulsiva: $V_d = 20 \log (V_{rms}/V_{avg})$;
- factor de ruido efectivo de la antena (F_a);
- potencia de ruido media (P_n);
- distribución de probabilidad de la amplitud (APD, *amplitude probability distribution*);
- distribución de la amplitud del ruido (NAD, *noise amplitude distribution*);
- relación de cruce media (ACR, *average crossing rate*).

Algunos de estos parámetros son principalmente útiles para detectar la presencia o ausencia de emisiones no deseadas procedentes de algunas zonas o de algunos objetos. Idealmente debe existir una correlación entre los parámetros de emisión o radiación o las técnicas de medición seleccionadas y la forma en que el ruido degrada la calidad de funcionamiento de los sistemas de comunicación radioeléctrica o los sistemas de navegación.

2.4 No es realista utilizar una única relación de protección que abarque todas las fuentes de ruido en una banda de frecuencias determinada. Dicha relación de protección puede no tener en cuenta las características del ruido (es decir, si el ruido es de onda continua, gaussiano, aleatorio o impulsivo). Es posible que sea necesario descomponer las fuentes de ruido en grupos tales como líneas de transmisión de energía, aparatos científicos y médicos y sistemas de encendido, con factores de protección específicos para cada uno de ellos.

2.5 La característica temporal del ruido es un aspecto importante. En función del grado de servicio necesario, una fuente de ruido que exceda el criterio de protección el 0,5% del tiempo puede tener que ser tratada de forma distinta a una fuente de ruido que lo exceda durante el 95% del tiempo.

2.6 Puede ser necesario tener en cuenta las variaciones en la calidad de funcionamiento de los equipos de radiocomunicaciones y de navegación a la hora de establecer los criterios de protección. Un enfoque puede consistir en determinar la susceptibilidad de los sistemas de radiocomunicación y navegación al ruido generado por el hombre, estableciendo parámetros y niveles que describan el ruido que estos sistemas pueden soportar sin que su calidad de funcionamiento se degrade.

2.7 Cuando las fuentes de ruido se fabrican en grandes cantidades, el control del límite de sus emisiones electromagnéticas puede realizarse mediante métodos de muestreo estadístico (por ejemplo, el método de prueba del CISPR). Dichas pruebas sólo garantizan que un porcentaje determinado de los sistemas fabricados cumple los límites establecidos. Puede ser necesario un análisis detallado de las pruebas de muestreo estadísticas a fin de determinar si las garantías estadísticas son compatibles con el nivel de protección necesario.

2.8 En el caso de la protección de los servicios de seguridad aeronáuticos, puede que no sea realista formular relaciones de protección basadas en mediciones de la intensidad de campo realizadas a nivel del suelo o cerca del mismo, pues en situaciones reales las aeronaves vuelan sobre las fuentes de ruido. Un análisis de las referencias bibliográficas existentes indica que, en algunos casos, los niveles de ruido a una determinada distancia y medidos lateralmente en relación con la posición de la fuente de ruido, son inferiores a los medidos a la misma distancia por encima de la fuente de ruido. Además, las aeronaves en vuelo pueden estar sujetas a ruidos procedentes de muchas y muy diversas fuentes; aunque el ruido producido por una fuente puede tener efectos muy reducidos, el efecto combinado de muchas fuentes de este tipo puede ser significativo. Debe notarse que las aeronaves en vuelo experimentan regularmente señales no deseadas que no se detectan en la verificación que se realiza en tierra.

Considerando la movilidad de las aeronaves y las grandes zonas de visibilidad a las que están expuestas, así como la variabilidad e incertidumbre existente en la evaluación y control de la interferencia perjudicial sobre los servicios relacionados con la seguridad de la vida humana, es obvio que resulta inviable tener en cuenta de forma precisa todas las características de las fuentes de señal no deseadas que puede encontrar una aeronave. Sin embargo, todos estos factores deben tenerse en cuenta a fin de mantener los elevados índices de fiabilidad del transporte aéreo civil. Un método para que dichos factores sean tenidos en cuenta es incluir compensaciones en forma de margen adicional de las relaciones de protección.

ANEXO 6

Criterios generales de seguridad desde el punto de vista de los servicios aeronáuticos

1 Antecedentes

La definición que hace la UIT de interferencia perjudicial es la que figura en el número 1.169 del RR. El término «interferencia perjudicial» debe ser interpretado a la luz de la naturaleza de las operaciones y del entorno de seguridad. Ello permite concluir que la determinación de niveles umbrales cuantitativos de interferencia perjudicial para los diversos servicios de comunicaciones móviles aeronáuticas exige el análisis de los criterios de seguridad adecuados.

2 Fuentes de interferencia perjudicial aeronáuticas y no aeronáuticas

Cuando se identifica una interferencia perjudicial para un servicio radioeléctrico determinado es normalmente necesario entender la naturaleza y la variabilidad de la interferencia, pues éstas pueden tener implicaciones muy importantes. Esto se aplica particularmente a aquellos entornos en los que existen múltiples fuentes de interferencia potencial, posiblemente de más de un tipo y donde, por tanto, es previsible que la interferencia agregada en cualquier punto varíe con el tiempo.

Un aspecto importante del estudio de la interferencia perjudicial es determinar si el criterio de interferencia perjudicial procedente de fuentes no aeronáuticas tiene, o debe tener, relación alguna con los criterios de planificación técnica establecidos en los servicios aeronáuticos para asignaciones en el mismo canal y en los canales adyacentes. El criterio de planificación de las asignaciones de frecuencia adoptado internacionalmente para los servicios aeronáuticos se basa en consideraciones prácticas que tienen en cuenta la utilización operacional de cada servicio. Además, los criterios de planificación están basados, de forma suficientemente razonable, en que todas las partes implicadas actúan de forma cooperativa y utilizan normas y procedimientos de aviación internacionalmente aceptados. Es un hecho que los Estados firmantes de los Acuerdos de la OACI están sujetos a determinadas obligaciones relativas a la adopción de normas internacionales, prácticas y procedimientos recomendados, tal como establece el Artículo 38 del Convenio de la Aviación Civil Internacional (Chicago, 1944). Dimanante de tales obligaciones, existe un servicio de información y registro muy desarrollado que garantiza que todas las facilidades de la aviación y sus volúmenes de servicios en frecuencias protegidas se promulgan oficialmente y están disponibles en forma de Cartas conformes con el Anexo 15 del Convenio de la Aviación Civil Internacional; la información pertinente sobre este servicio forma parte de la documentación de cabina de una aeronave. Por lo tanto, en lo que respecta a la interferencia perjudicial aeronáutica-aeronáutica, existe una protección adicional completa y significativa que proporciona la estructura organizativa de la aviación civil internacional, de la que la OACI constituye su punto focal.

La protección adicional descrita en el párrafo anterior es en gran medida inexistente para fuentes no aeronáuticas de interferencia perjudicial para la aviación, algunas de las cuales sólo están parcialmente reguladas por la UIT. En consecuencia, no existe necesariamente una relación inherente entre los criterios de protección aeronáuticos y los criterios que pueden ser adecuados para servicios de seguridad y de aplicación a fuentes de interferencia perjudicial no aeronáuticas. Cada fuente no aeronáutica de interferencia perjudicial exige una consideración individualizada en este sentido.

Se han identificado las siguientes fuentes externas de emisiones y radiaciones producidas por el hombre como causantes de interferencia perjudicial sobre los servicios aeronáuticos:

- radiodifusión, tanto de señales moduladas en amplitud en ondas hectométricas y kilométricas, como de señales de modulación de frecuencia en ondas métricas;
- sistemas de distribución por cable;
- líneas de sistemas de distribución de energía;
- equipos industriales, científicos y médicos;
- emisiones de los osciladores locales de equipos domésticos electrónicos;
- dispositivos sin licencia;
- enlaces ascendentes de satélites.

Debe observarse que algunos de ellos no se encuentran en el ámbito de actuación de la UIT, por lo que puede ser necesaria la cooperación entre la UIT, la OACI y otras organizaciones interesadas.

3 Atribuciones compartidas

Cuando se trata de un servicio de seguridad, deben tomarse las precauciones necesarias para que todo servicio de radiocomunicaciones que comparta la misma banda de frecuencias tenga las limitaciones necesarias como para mantener bajo cualquier circunstancia un margen adecuado de forma que la interferencia perjudicial agregada nunca exceda el criterio de protección requerido.

Las limitaciones de peso, tamaño y consumo de potencia de los equipos de aeronave han hecho que los transmisores de los mismos sean de relativamente poca potencia y elevada sensibilidad, lo cual es consistente con la directriz genérica de la UIT para un uso eficiente y efectivo del espectro radioeléctrico. Sin embargo, las limitaciones anteriores pueden hacer que la comunidad aeronáutica tenga dificultades para mitigar la interferencia. Por ejemplo, la señal deseada en el límite de un volumen de servicio en ondas métricas debe ser de un nivel tal que satisfaga las normas y las prácticas recomendadas de la OACI. En el caso de una aeronave, la intensidad de campo deseada puede ser igualada, o verse superada, por una fuente de señales no deseadas situada en tierra. Por lo tanto, deben tomarse las precauciones pertinentes antes de considerar la utilización compartida de frecuencias que implique a servicios de radiocomunicación aeronáuticos.

4 Sistemas de radiocomunicación aeronáuticos

En el Anexo 10 al Convenio de la Aviación Civil Internacional se incluye información detallada sobre los sistemas de radiocomunicación aeronáuticos. Sin embargo, dicho Anexo 10 no incluye normas para los radares primarios. A continuación se presenta una sinopsis de dichos sistemas.

4.1 Radiofaros no direccionales (NDB, *non-directional beacon*) (en las bandas en ondas hectométricas y kilométricas)

Aunque los NDB pueden parecer conceptualmente semejantes a los radiofaros omnidireccionales en ondas métricas (VOR, *VHF omnidirectional radio range*), existen diferencias prácticas significativas en su utilización. La utilización de los NDB está más generalizada que la de los VOR, y a menudo son utilizados por aeronaves más pequeñas, que en algunas ocasiones no están equipadas para utilizar los VOR. Los NDB se utilizan frecuentemente para orientar y estabilizar las aeronaves en trayectos de vuelo de forma que puedan adquirir más fácilmente las ayudas más precisas en ondas métricas (VOR, ILS, etc.) en sus maniobras de aproximación. Utilizados de esta forma, también se denominan localizadores. Además, el equipo de aeronave utilizado con los NDB es conceptualmente más sencillo y está menos capacitado para trabajar en entornos interferentes que otros equipos de aeronave más sofisticados. La simplicidad del sistema hace que esté menos capacitado para distinguir entre señales de NDB verdaderas y señales de emisiones no deseadas producidas en frecuencias cercanas o dentro de la banda de paso. En particular, en determinadas circunstancias las señales interferentes pueden proporcionar una falsa indicación de radiofaro suplementario.

La interferencia sobre los NDB es un asunto de gran importancia en el mundo de la aviación, pues muchos NDB se encuentran en bandas de frecuencia compartidas con otros usuarios en algunas partes del mundo y, además, dichas bandas se encuentran a menudo muy congestionadas. Los criterios de protección contra la interferencia perjudicial deben tener en cuenta estos factores.

4.2 Radiotelefonía analógica y transmisión digital de datos en las bandas en ondas métricas y decamétricas

Tanto la radiotelefonía analógica como la transmisión digital de datos aire/tierra establecen enlaces directos entre aeronaves en vuelo y estaciones aeronáuticas en tierra. El número de aeronaves que vuelan simultáneamente un espacio aéreo determinado y las múltiples rutas aéreas existentes,

exigen un conjunto complejo de reglas y de procedimientos que garanticen la seguridad de las operaciones aéreas. Si bien es cierto que la interferencia sobre la radiotelefonía aire/tierra es relativamente fácil de detectar en la medida en que el piloto puede escuchar la señal y es menos probable que sea confundido por la interferencia que en el caso de transmisión digital de datos o que en el caso de las ayudas a la radionavegación, dichas interferencias pueden tener consecuencias graves, particularmente en aeronaves que se ponen en contacto con el control de aproximación cuando vuelan hacia lugares en los que la visibilidad es de sólo unos pocos cientos de metros. Por lo tanto, a pesar de que las comunicaciones se limiten a unas frases precisas y al cumplimiento de los procedimientos operacionales normalizados, se han dado casos en los que una ligera interferencia en el momento de pronunciar una frase ha tenido consecuencias catastróficas.

La conversión de los factores anteriores en criterios cuantitativos sobre la relación de protección es una misión especialmente difícil. Por un lado, está la creencia generalizada de que las comunicaciones de voz admiten un mínimo de interferencia, pero por otra parte, es necesario tener en cuenta que en circunstancias operacionales difíciles, los errores que normalmente serían aceptables pueden tener consecuencias muy importantes, y en dichas circunstancias, un servicio libre de interferencias puede resultar vital.

4.3 VOR

Los sistemas VOR en ondas métricas constan de una baliza en tierra que emite una señal omnidireccional que proporciona la orientación direccional en el plano horizontal que permite al sistema de aeronave disponer de una indicación exacta de la posición angular de la aeronave en relación con el radiofaró. El sistema también proporciona señales de identificación y permite la comunicación vocal. El radiofaró transmite continuamente señales de onda continua moduladas y puede dar servicio simultáneamente a un número cualquiera de aeronaves debidamente equipadas. El volumen de servicio de algunas facilidades situadas en rutas aéreas puede alcanzar más de 300 km.

La mayor parte de las instalaciones VOR proporcionan servicios en ruta, a menudo asociados a equipos radio telemétricos (DME, *distance measuring equipment*). Además, algunas instalaciones VOR de baja potencia se utilizan como ayudas de aproximación en las cercanías de aeródromos. Con respecto a las funciones de orientación, las interferencias sobre el VOR se manifiestan como presentación de información errónea de orientación a la tripulación o al sistema de control de vuelo automático, afectando por tanto directamente a la seguridad del vuelo. La importancia del efecto de dicha interferencia depende de su tipo, intensidad y duración. En los casos de VOR de baja potencia, incluso bajos niveles de interferencia pueden resultar críticos para el funcionamiento de la aeronave, aunque afortunadamente, los volúmenes de servicio son relativamente pequeños. En la Recomendación UIT-R SM.1009 se analiza la compatibilidad entre el servicio de radiodifusión sonora en la banda de aproximadamente 87-108 MHz y los servicios aeronáuticos en la banda 108-137 MHz.

4.4 Frecuencias de emergencia en la banda en ondas métricas

El RR y el Anexo 10 al Convenio de la Aviación Civil Internacional contienen disposiciones especiales en relación con la utilización y protección de la frecuencia de emergencia móvil aeronáutica de 121,5 MHz. Subsiguientemente, la OACI ha adoptado procedimientos especiales para supervisar estas frecuencias, al tiempo que el sistema Cospas-Sarsat proporciona capacidades de alerta esenciales. Asimismo, las RLS, cuyo transporte a borde de aeronaves es obligatorio en algunos países, funcionan a dichas frecuencias. Es importante que no se degrade la recepción de transmisiones de socorro y emergencia. Estas frecuencias también son utilizadas por otros servicios para comunicaciones con los servicios aeronáuticos en caso de emergencia.

4.5 ILS (en las bandas en ondas métricas y decimétricas)

El ILS consta de un localizador (en ondas métricas) que proporciona un sistema de guiado lateral para una aeronave que se acerca a la pista de aterrizaje de un aeropuerto, un trayecto de planeo (en ondas decimétricas) que determina la línea descendente en el plano vertical y una, dos o tres radiobalizas marcadoras que permiten que la aeronave verifique la altura y la distancia en puntos conocidos con respecto al inicio de la pista de aterrizaje. Conjuntamente con el ILS pueden utilizarse uno o más localizadores u otras ayudas de aproximación suplementarias tales como VOR, que ayuden a que la aeronave se sitúe alineada con los haces radioeléctricos que señalan la situación correcta en ruta de la aeronave. Cada uno de los componentes anteriores del ILS realiza una función diferente, de tal forma que el conjunto de componentes no presenta ninguna redundancia.

En las fases de aproximación y aterrizaje de un vuelo, cuando la aeronave maniobra en las proximidades de tierra, es esencial que la interferencia perjudicial sobre cualquiera de las ayudas a la navegación utilizadas en esta fase del vuelo se mantenga con niveles de probabilidad de ocurrencia extremadamente baja. En este sentido, es particularmente relevante señalar que la utilización de sistemas de aterrizaje automático que utilizan sistemas de guiado ILS, constituye el modo de funcionamiento normal de las grandes aeronaves modernas, independientemente de cuales sean las condiciones atmosféricas. Debe señalarse que los muy elevados niveles de protección contra la interferencia perjudicial que se requieren para el funcionamiento de estos sistemas sólo son necesarios en volúmenes muy limitados del espacio aéreo alrededor de las instalaciones ILS, por ejemplo, alrededor de los aeródromos. Este factor puede ser muy útil cuando se consideren los aspectos prácticos asociados a la protección contra la interferencia perjudicial.

Debido a lo crítico de este asunto, se han realizado numerosos estudios en relación con la interferencia sobre sistemas ILS, la Recomendación UIT-R SM.1009 está dedicada a analizar la compatibilidad entre los servicios de radiodifusión sonora en la banda de aproximadamente 87-108 MHz y los servicios aeronáuticos en la banda 108-137 MHz.

4.6 DME (en las bandas en ondas decimétricas).

Los sistemas DME utilizan transmisiones digitales codificadas que proporcionan a la aeronave mediciones de la distancia oblicua hasta las posiciones de los radiofaros en tierra. El radiofaró transmite en respuesta a una interrogación realizada desde la aeronave y aunque la interrogación y respuesta codificada constituyen una protección contra la interferencia, el sistema puede saturarse cuando numerosas aeronaves se encuentren dentro del alcance del radiofaró. En tales circunstancias, la interferencia puede reducir la seguridad.

Los DME se utilizan sobre todo conjuntamente con los VOR a fin de proporcionar facilidades internacionales de navegación de corto alcance. Sin embargo, algunos DME se utilizan asociados a sistemas ILS y en consecuencia, en tales circunstancias pueden requerir disposiciones especiales para asegurar la adecuada protección contra la interferencia perjudicial.

Es asimismo importante señalar que, mediante acuerdos internacionales, las asignaciones de frecuencia a los DME están apareadas con frecuencias de sistemas VOR, ILS o MLS. En consecuencia, las consideraciones relativas a la protección de las frecuencias deben satisfacerse simultáneamente en todas las frecuencias apareadas.

4.7 Sistema mundial de navegación por satélite (GNSS, *global navigation satellite system*)

El panel de la OACI sobre el sistema mundial de navegación por satélite está desarrollando el primer sistema mundial de navegación de aplicación a la aviación civil basado en sistemas espaciales. Se compone de dos constelaciones de satélites, el sistema mundial de posicionamiento (GPS, *global positioning system*) de los Estados Unidos de América y el sistema mundial de navegación por satélite de la Federación de Rusia (GLONASS). Cada una de las constelaciones se

compone de veinticuatro satélites en una órbita media terrestre. Cada satélite transmite una señal en la banda de frecuencias de 1 559-1 610 MHz. Dichas señales se reciben directamente en los receptores a bordo de los aviones. Las señales se procesan para determinar la posición exacta en el espacio tridimensional.

Las señales son adecuadas para la navegación en ruta en todo el mundo. También pueden utilizarse en maniobras de aproximación y aterrizaje de precisión cuando su precisión se aumenta mediante un sistema de aumento espacial (SBAS, *space based augmentation system*) o un sistema de aumento basado en tierra (GBAS, *ground based augmentation system*) que también están siendo desarrollados por el panel GNSS. La señal de aumento de precisión GBAS utiliza frecuencias de la banda 108-118 MHz.

Las señales satelitales se reciben con un nivel muy bajo, por lo que son susceptibles de sufrir interferencia perjudicial. No obstante, debe señalarse que en el proceso de demodulación se produce una ganancia significativa, debido a que las señales han sido sometidas a ensanchamiento espectral mediante el método de secuencia directa. Por lo tanto, para la utilización del GNSS en aviones puede ser necesario adoptar medidas especiales para proteger los receptores de emisores situados tanto en las propias aeronaves como en el exterior de las mismas, particularmente cuando se utiliza en maniobras de aproximación, aterrizaje y rodaje en pista. En las Recomendaciones UIT-R se describen las medidas especiales que deben tomarse para controlar las emisiones no esenciales de fuentes en tierra, como por ejemplo, en la Recomendación UIT-R M.1343. Dichas medidas pueden aplicarse para proteger a GNSS de los efectos agregados de un gran número de emisores individuales.

En la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (Estambul, 2000) (CMR-2000) se atribuyó la banda 1 164-1 215 MHz al SRNS (espacio-Tierra). Es previsible que el desarrollo de nuevos sistemas y de los sistemas existentes en esta banda permita que las aeronaves de todo el mundo puedan calcular su posición con una precisión tal que haga innecesario los sistemas de aumento para determinadas aplicaciones de precisión, pudiéndose reducir notablemente dicho aumento para otras aplicaciones. Además, la disponibilidad de nuevas señales aumentará la disponibilidad y robustez de los sistemas del SRNS.

4.8 MLS

El MLS proporciona a una aeronave que desea aterrizar información de orientación similar a la que ofrece el sistema ILS. El sistema consta de una señal a una única frecuencia en la banda de 5 GHz que proporciona orientación en acimut y ángulo de elevación. El MLS tiene algunas ventajas que lo diferencian del sistema ILS, pues ha sido diseñado para ser menos susceptible a la interferencia por trayectos múltiples. Debido a ello, el MLS permite utilizar ayudas para el aterrizaje en una pista o aeropuerto donde anteriormente no había sido posible utilizar sistemas ILS debido a la existencia de un entorno local propicio a los trayectos múltiples. El MLS puede también aumentar la capacidad de una pista debido a la reducción que permite en la separación entre una aeronave y otra que avance por delante en la maniobra de aterrizaje, o respecto a otras que ya se encuentren en tierra. El MLS también ofrece alternativas al trayecto de aproximación en línea recta que proporciona el ILS, lo cual supone una ventaja operacional para los operadores de aeronaves pues se permiten aproximaciones en curva a la pista de aterrizaje.

También son de aplicación comentarios similares a los realizados en el apartado sobre ILS en relación con la protección frente a la interferencia. En la Recomendación UIT-R S.1342 se presenta una metodología para determinar la distancia de coordinación entre un sistema MLS que funcione en la banda 5 030-5 091 MHz y los enlaces de conexión del servicio móvil por satélite que funcionan en la banda de 5 091-5 150 MHz.

4.9 Radares

Los radares con fines aeronáuticos pueden tomar muchas formas con características y utilizaciones operacionales muy variadas, como por ejemplo, vigilancia de largo alcance del tráfico aéreo, altímetros radar, radares secundarios de vigilancia, vigilancia de muy corto alcance de superficie en aeropuertos y detección meteorológica de a bordo y ayuda a la navegación.

No es posible hacer una evaluación global de la interferencia que tenga en cuenta todas estas posibles variantes y, por lo tanto, cada caso debe ser considerado por separado. No obstante, merece la pena señalar que con independencia de las características de transmisión utilizadas, es bastante normal que los requisitos de recepción de un sistema radar sean, necesariamente, muy sensibles y, por lo tanto, capaces de detectar niveles bajos de señales no deseadas.

En ocasiones pueden utilizarse técnicas de procesamiento sofisticadas destinadas a aliviar algunos tipos de interferencias; sin embargo, dichas técnicas no son de aplicación universal y en determinadas condiciones operacionales resultan inaceptables.
