

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1341*

COMPARTICIÓN ENTRE LOS ENLACES DE CONEXIÓN DEL SERVICIO MÓVIL POR SATÉLITE Y EL SERVICIO DE RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA EN EL SENTIDO ESPACIO-TIERRA EN LA BANDA 15,4-15,7 GHz Y PROTECCIÓN DEL SERVICIO DE RADIOASTRONOMÍA EN LA BANDA 15,35-15,4 GHz

(Cuestión UIT-R 242/4)

(1997)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la Resolución 116 (CMR-95) de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (Ginebra, 1995) solicita al UIT-R que realice estudios sobre la situación de compartición entre los enlaces de conexión (espacio-Tierra) del servicio móvil por satélite (SMS) y el servicio de radionavegación aeronáutica en la banda 15,4-15,7 GHz;
- b) que la banda 15,4-15,7 GHz está atribuida al servicio de radionavegación aeronáutica a título primario y que en ella se aplica el número 953 (S4.10) del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR);
- c) que la CMR-95 añadió una atribución al servicio fijo por satélite en esta banda para los enlaces de conexión de redes de satélites no geoestacionarios (no OSG) del SMS en el sentido espacio-Tierra;
- d) que es necesario dar acomodo en esta banda a los enlaces de conexión (espacio-Tierra) de los sistemas de satélites no OSG;
- e) que las emisiones procedentes de los satélites pueden provocar interferencia inaceptable a las estaciones del servicio de radionavegación aeronáutica;
- f) que se han impuesto limitaciones a la densidad de flujo de potencia (dfp) de las emisiones procedentes de estaciones espaciales no geoestacionarias para proteger el servicio de radionavegación aeronáutica de acuerdo con el número S5.511A del RR, sujetas a revisión por parte del UIT-R;
- g) que la coordinación de las emisiones de los satélites con las estaciones de radionavegación aeronáutica no se considera posible;
- h) que las emisiones procedentes de estaciones de radionavegación aeronáutica propagadas a lo largo de la superficie de la Tierra pueden provocar interferencia inaceptable a las estaciones terrenas de enlaces de conexión;
- j) que es preciso establecer métodos para determinar las distancias de coordinación y separación necesarias entre las estaciones terrenas de enlaces de conexión y las estaciones de radionavegación aeronáutica para proteger las citadas estaciones terrenas de enlaces de conexión;
- k) que de acuerdo con el número S5.511B del RR, no se permite a las estaciones de aeronave transmitir en la banda 15,45-15,65 GHz;
- l) que está muy extendido el uso de esta banda por el servicio de radionavegación aeronáutica en las estaciones a bordo de aeronaves, en tierra y marítimas;
- m) que las características técnicas y de explotación de las estaciones de radionavegación aeronáutica están razonablemente bien definidas;
- n) que las características técnicas y de explotación de los enlaces de conexión no están bien definidas;
- o) que los sistemas de satélite en esta gama de frecuencias normalmente no funcionan con ángulos de elevación bajos de la antena de la estación terrena;
- p) que se han realizado estudios con respecto al *considerando o*);

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 7 y 8 de Radiocomunicaciones.

- q) que la banda de frecuencias adyacente 15,35-15,4 GHz está atribuida al servicio de radioastronomía y a otros servicios pasivos y que es necesario protegerlos contra la interferencia perjudicial causada por emisiones procedentes de las estaciones espaciales (véase el número S5.511A del RR);
- r) que están prohibidas todas emisiones en la banda 15,35-15,4 GHz con arreglo al número S5.340 del RR o, salvo las indicadas en el número S5.341 del RR;
- s) que en la Recomendación UIT-R RA.769 figuran los niveles umbrales de interferencia perjudicial para el servicio de radioastronomía,

recomienda

- 1 que los enlaces de conexión del SMS se limiten a la banda 15,43-15,63 GHz (véase la Nota 1);
- 2 que provisionalmente la dfp en la superficie de la Tierra producida por emisiones procedentes de enlaces de conexión de un sistema espacial de satélites no OSG para todas las condiciones y cualquiera que sea el método de modulación no rebasen los valores indicados en el § 2.1 con la condición señalada en el § 2.2 (véase la Nota 2);

2.1 en la banda de frecuencias 15,43-15,63 GHz, siendo φ el ángulo de llegada (grados) por encima del plano del horizonte:

-127	dB(W/m ²) en 1 MHz	para	$0 \leq \varphi < 20$
$-127 + 0,56(\varphi - 20)^2$	dB(W/m ²) en 1 MHz	para	$20 \leq \varphi < 25$
-113	dB(W/m ²) en 1 MHz	para	$25 \leq \varphi < 29$
$-136,9 + 25 \log(\varphi - 20)$	dB(W/m ²) en 1 MHz	para	$29 \leq \varphi < 31$
-111	dB(W/m ²) en 1 MHz	para	$31 \leq \varphi \leq 90$

2.2 que estos límites se relacionen con la dfp que se obtendría suponiendo condiciones de propagación en espacio libre;

3 que con los límites de dfp indicados en el *recomienda* 2 no se realice la coordinación de las emisiones por satélite con las estaciones receptoras del servicio de radionavegación aeronáutica;

4 que los radares de superficie (SBR) descritos en el Anexo 1 no funcionen en la banda 15,43-15,63 GHz;

5 que la distancia umbral para la coordinación de las emisiones procedentes de estaciones del servicio de radionavegación aeronáutica con respecto a estaciones terrenas de enlaces de conexión del SMS con una ganancia de antena de estación terrena en el plano horizontal de 11,5 dBi sea:

- 150 km desde el segmento terrestre en los sistemas de aterrizaje de aeronaves (ALS);
- 600 km desde las aeronaves que utilizan radares de carácter general;
- 60 km desde la superficie de aterrizaje de las aeronaves para los sistemas de detección y medición por radar (RSMS);

6 que las estaciones terrenas de enlaces de conexión limiten su funcionamiento a ángulos por encima del plano horizontal de al menos 5°;

7 que las emisiones procedentes de los enlaces de conexión de un sistema espacial de satélites no OSG para toda condición y cualquiera que sea el método de modulación tengan en cuenta los niveles umbrales que figuran en la Recomendación UIT-R RA.769 para la banda 15,35-15,4 GHz (véase la Nota 3).

8 que se consulte la información adicional contenida en los Anexos 1, 2 y 3.

NOTA 1 – La anchura de banda indicada en el *recomienda* 1 es más pequeña que la atribuida por la CMR-95 a los enlaces de conexión del SMS no OSG. Se recomienda mantener esta diferencia para facilitar la compartición entre los enlaces de conexión del SMS no OSG y el servicio de radionavegación aeronáutica. El *recomienda* 1 será revisado posteriormente, de acuerdo con los resultados de una futura CMR.

NOTA 2 – No se ha estudiado aún la posibilidad de diseñar y explotar enlaces de conexión en sentido espacio-Tierra con los límites de dfp indicados en el *recomienda* 2.1. Además, los valores provisionales de dfp indicados en el *recomienda* 2.1 deben reconsiderarse para garantizar la protección del servicio de radionavegación aeronáutica.

NOTA 3 – Pueden imponerse limitaciones adicionales en el diseño y explotación de los enlaces de conexión espacio-Tierra del SMS para tener en cuenta los niveles umbrales del servicio de radioastronomía señalados en el *recomienda* 7 de la Recomendación UIT-R RA.769.

ANEXO 1

Sistemas de radionavegación aeronáutica en la banda 15,4-15,7 GHz**1 Radares de superficie (SBR-Surface based radars)**

Los SBR situados en tierra y en barcos se utilizan para la detección, localización y movimiento de aeronaves y de otros vehículos en la superficie de los aeropuertos y en otras zonas de aterrizaje de aeronaves.

1.1 Diagramas de antena

- Anchura de haz nominal a 3 dB: < 3,5° vertical, cosecante invertida a –31°
0,35° horizontal
- Gama de frecuencias: 15,65-16,7 GHz
- Polarización: circular
- Ganancia típica: 43 dBi
- Máximo nivel del lóbulo lateral: 25 dB por debajo de la ganancia de cresta
- Máximo nivel del lóbulo posterior: 35 dB por debajo de la ganancia de cresta
- Gama de inclinación vertical: ± 1,5°
- Máxima gama de exploración horizontal: 360°.

1.1.1 Diagrama de la envolvente del ángulo de elevación de antena

Basándose en los datos medidos y en las especificaciones del nivel del lóbulo lateral y con la ganancia de cresta dirigida a +1,5°, se define un diagrama de la envolvente del ángulo de elevación de la forma siguiente, siendo φ el ángulo de elevación (grados):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 43 & \text{dBi} & \text{para} & 0 \leq \varphi < 4 \\ 43 - 5(\varphi - 4) & \text{dBi} & \text{para} & 4 \leq \varphi < 9 \\ 18 & \text{dBi} & \text{para} & 9 \leq \varphi < 16 \\ 43,2 - 21 \log \varphi & \text{dBi} & \text{para} & 16 \leq \varphi < 48 \\ 8 & \text{dBi} & \text{para} & 48 \leq \varphi \leq 90 \end{cases}$$

1.1.2 Diagrama de la envolvente del acimut de antena

Basándose en los datos medidos y en las especificaciones del nivel del lóbulo lateral, se define el diagrama de ganancia de acimut de la forma siguiente, siendo φ el ángulo acimutal relativo (grados):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 43 - 110 \varphi^2 & \text{dBi} & \text{para} & 0 \leq \varphi < 0,4767 \\ 18 & \text{dBi} & \text{para} & 0,4767 \leq \varphi < 0,72 \\ 17,07 - 6,5 \log \varphi & \text{dBi} & \text{para} & 0,72 \leq \varphi < 48 \\ 8 & \text{dBi} & \text{para} & 48 \leq \varphi \leq 180 \end{cases}$$

1.2 Otras características**1.2.1 Transmisión**

- p.i.r.e. de cresta: 86 dBW
- Frecuencia de repetición de impulsos: 8 192 Hz
- Duración del impulso: 0,04 μ s
- Anchura de banda del impulso a 3,5 dB: 25 MHz.

1.2.2 Recepción

- Ganancia de antena típica: 43 dBi
- Factor de ruido típico: 6,2-6,9 dB.

2 Sistemas de aterrizaje de aeronaves (ALS – Aircraft landing systems)

Los ALS son polivalentes y se utilizan en los barcos, como sistemas portátiles o permanentes en tierra y para aterrizajes de lanzadera (sistema de aterrizaje por haz de exploración de microondas (MSBLS – Microwave scanning beam landing system)). Algunas de las características varían con las aplicaciones en concreto.

2.1 Diagramas de antena de la estación en la superficie

Los diagramas de antena son similares para todas las aplicaciones incluidos los MSBLS. Las gamas de exploración varían con la aplicación. Las gamas indicadas a continuación cubren todas las aplicaciones.

El complemento de antena del ALS consiste en una antena de elevación y una antena de acimut.

La parte de antena de elevación del ALS se utiliza para transmitir a la aeronave datos sobre el ángulo vertical:

- anchura de haz nominal a 3 dB: 1,3° vertical
40° horizontal
- gama de frecuencias: 15,4-15,7 GHz
- polarización: horizontal y vertical
- ganancia típica: 28 dBi
- máximo nivel del lóbulo lateral: 17 dB por debajo de la ganancia de cresta en ambos planos
- máxima gama de exploración vertical: 0° a 30°.

La parte de antena de acimut del ALS se utiliza para transmitir a la aeronave información de acimut:

- anchura de haz nominal a 3 dB: 2,0° horizontal
6,5° vertical
- el diagrama vertical se modifica para lograr al menos una ganancia de 20 dBi a 20° por encima del horizonte
- gama de frecuencias: 15,4-15,7 GHz
- polarización: horizontal y vertical
- ganancia típica: 33 dBi
- máximo nivel del lóbulo lateral: 17 dB por debajo de la ganancia de cresta en ambos planos
- máxima gama de exploración horizontal: $\pm 35^\circ$.

2.1.1 Diagrama combinado de la envolvente del ángulo de elevación de antena

Se define, de la forma siguiente, un diagrama combinado de la envolvente del ángulo vertical basándose en los datos medidos, siendo φ el ángulo de elevación (grados):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 33 & \text{dBi} & \text{para} & 0 \leq \varphi < 8 \\ 33 - 0,833(\varphi - 8) & \text{dBi} & \text{para} & 8 \leq \varphi < 14 \\ 28 & \text{dBi} & \text{para} & 14 \leq \varphi < 32 \\ 28 - 9(\varphi - 32) & \text{dBi} & \text{para} & 32 \leq \varphi < 34 \\ 10 & \text{dBi} & \text{para} & 34 \leq \varphi < 40 \\ 10 - 0,2(\varphi - 40) & \text{dBi} & \text{para} & 40 \leq \varphi \leq 90 \end{cases}$$

2.1.2 Diagramas del acimut de antena

Se define el diagrama de la envolvente del acimut de la antena de elevación de la forma siguiente, siendo φ el ángulo acimutal relativo (grados):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 28 - 0,0062 \varphi^2 & \text{dBi para } 0 \leq \varphi < 70 \\ -2,37 & \text{dBi para } 70 \leq \varphi \leq 180 \end{cases}$$

El diagrama de la envolvente del acimut de la antena de acimut se define de la forma siguiente, siendo φ el ángulo acimutal relativo (grados):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 33 - 2 \varphi^2 & \text{dBi para } 0 \leq \varphi < 3 \\ 15 & \text{dBi para } 3 \leq \varphi < 5 \\ 32,5 - 25 \log \varphi & \text{dBi para } 5 \leq \varphi < 48 \\ -9,53 & \text{dBi para } 48 \leq \varphi \leq 180 \end{cases}$$

2.2 Otras características

2.2.1 Transmisión

- p.i.r.e. de cresta: 71 dBW
- Frecuencia de repetición de impulsos: 3 334 Hz
- Duración del impulso: 0,333 μ s
- Anchura de banda del impulso a 3,5 dB: 3 MHz.

2.2.2 Recepción

- Ganancia de antena típica: 8 dBi
- Factor de ruido típico: 8 dB.

3 radares de aeronave multifunción (MPR – Multipurpose radars)

Se trata de MPR de radionavegación, radiolocalización y meteorológicos.

3.1 Diagramas de antena

La antena es una parábola de aproximadamente 0,3 m de diámetro que es explorada vertical y horizontalmente con respecto al rumbo y actitud de la aeronave:

- anchura de haz nominal a 3 dB: 4,5°
- gama de frecuencias: 15,4-15,7 GHz
- polarización: vertical
- ganancia típica: 30 dBi
- gama máxima de exploración horizontal: $\pm 45^\circ$
- gama máxima de exploración vertical: $\pm 20^\circ$.

El diagrama de la envolvente de la antena de elevación se define de la forma siguiente, siendo φ el ángulo acimutal relativo (grados):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 30 & \text{dBi para } 0 \leq \varphi < 20 \\ 30 - 0,56 (\varphi - 20)^2 & \text{dBi para } 20 \leq \varphi < 25 \\ 16 & \text{dBi para } 25 \leq \varphi < 29 \\ 39,86 - 25 \log (\varphi - 20) & \text{dBi para } 29 \leq \varphi < 68 \\ -2,17 & \text{dBi para } 68 \leq \varphi \leq 180 \end{cases}$$

3.2 Otras características

3.2.1 Transmisión

- p.i.r.e. de cresta: 70 dBW
- Frecuencia de repetición de impulsos: 800 Hz
- Duración del impulso: 2 μ s
- Anchura de banda del impulso a 3,5 dB: 0,5 MHz.

3.2.2 Recepción

- Ganancia de antena típica: 30 dBi
- Factor de ruido típico: 8 dB.

4 Sistema de detección y medición por radar (RSMS – Radar sensing and measurement system)

Las técnicas de medición que utilizan tecnología de radar a 15 GHz son particularmente adecuadas para pequeñas aeronaves, incluidos los helicópteros, porque ofrecen la ventaja de ser equipos compactos y ligeros con una buena directividad de antena y un comportamiento más que suficiente para la mayoría de las aplicaciones operacionales de radionavegación, que no es posible obtener a frecuencias más bajas debido a la propagación o a otras razones. Para su utilización en modo de medición de alturas esta banda de frecuencias más elevada proporciona algunos beneficios en el diseño del sistema tales como un acoplamiento cruzado inferior y una ausencia de los efectos de triangulación, lo cual es especialmente importante para realizar mediciones precisas con separaciones muy bajas (métricas). Para algunas aplicaciones operacionales supone la única solución técnica posible.

Los sistemas que emplean esas técnicas son ampliamente utilizados en algunas partes del mundo donde suponen una contribución muy importante a la seguridad en la navegación aérea. La medición de la altura, y del despejamiento del terreno, es uno de los parámetros más críticos en el vuelo de una aeronave, cuando se utiliza en las etapas finales del aterrizaje. Una alta precisión y un funcionamiento sin interferencias son características fundamentales para mejorar la seguridad.

Los RSMS se emplean fundamentalmente en operaciones a bajo nivel hasta una altura nominal de unos 1 500 m. En la gran mayoría de las aplicaciones se utiliza una antena que transmite y recibe de forma vertical. Para disminuir la dispersión y otros efectos indeseables se utiliza una reducción de potencia proporcional a la altura sobre el terreno.

4.1 Características de los RSMS

4.1.1 Transmisor

- Gama de frecuencias: 15,63-15,65 GHz
- Potencia de cresta: 30 dBmW
- Ganancia de antena: 13 dBi, lóbulos posteriores < 5 dBi
- Frecuencia de repetición de impulsos: 58 kHz
- Longitud del impulso (máxima): 500 ns
- Ciclo de trabajo (máximo): 3%
- Anchura de banda del impulso a 3,5 dB: 2 MHz.

4.1.2 Receptor

- Ganancia de antena: 13 dBi, lóbulos posteriores < 5 dBi
- Factor de ruido: 6 dB.

ANEXO 2

Criterios de protección para el servicio de radionavegación aeronáutica y posibilidad de compartición con los enlaces de conexión del SMS (espacio-Tierra) en la banda 15,4-15,7 GHz y protección del servicio de radioastronomía en la banda 15,35-15,4 GHz

1 Características de los sistemas de radionavegación aeronáutica

Se han identificado varios sistemas que funcionan en esta banda, entre los que pueden citarse los SBR situados en tierra y en barcos, que se utilizan para la detección, la localización y movimiento de aeronaves y de otros vehículos en otras zonas de aterrizaje de aeronaves, los ALS, los MPR y los RSMS. Los diagramas de antena de estos sistemas constituyen un elemento importante para determinar la dfp en función del ángulo de elevación. En el Anexo 1 figuran los diagramas de las envolventes de antena y otras características pertinentes.

2 Análisis

2.1 Límites de dfp en caso más desfavorable

La expresión general para el cálculo de la dfp en este caso es:

$$dfp \leq -217,6 + 10 \log B - 20 \log \lambda - G/T + I/N \quad \text{dB(W/m}^2\text{) en } B \quad (1)$$

siendo:

B : anchura de banda (Hz)

λ : longitud de onda (m)

G/T : relación ganancia de antena/temperatura de ruido (dB)

I/N : relación interferencia admisible/ruido (dB).

Como estos sistemas son de radionavegación aeronáutica y se consideran como servicios de seguridad, los requisitos de protección pueden ser más estrictos que para otros servicios. Suponiendo un valor límite de la relación I/N de -10 dB, la solución de la ecuación (1) para los parámetros de los radares de detección de superficie que figuran en el § 2.1 da lugar a un límite de dfp de -146 dB(W/m²) en 1 MHz. La solución de la ecuación (1) para los parámetros de los sistemas que figuran en el Anexo 1 da lugar a unos límites de dfp de -111 dB(W/m²) en 1 MHz para los sistemas de aterrizaje de aeronave y los sistemas de detección y medición por radar y de -133 dB(W/m²) en 1 MHz para los radares multifunción a bordo de aeronave. Estos valores se basan en las máximas ganancias de antena para estos sistemas.

El límite de dfp de -146 dB(W/m²) en 1 MHz supone la utilización de antenas de estación terrena de gran tamaño (más de 15 m de diámetro) que no se consideren prácticas (véase el § 2.3). Sin embargo, los radares de detección de superficie en tierra y en barcos pueden acomodarse en la banda 15,63-15,7 GHz y ello podría eliminar esta restricción en una banda de enlaces de conexión de 15,43-15,63 GHz.

La zona fundamental de funcionamiento de los radares multifunción a bordo de aeronaves es sobre los océanos, por lo que en la mayoría de los casos el radar se encuentra más allá de la distancia de coordinación de las estaciones terrenas de enlaces de conexión, lo cual evita la necesidad de coordinar con dichas estaciones. En consecuencia, el funcionamiento de estos radares en la banda 15,4-15,7 GHz podría permitirse aun cuando aparecieran ciertas limitaciones de tipo geográfico (véase el Anexo 3).

Los RSMS no imponen restricciones significativas a la dfp, pero pueden aplicarse restricciones geográficas.

Un límite de dfp de -133 dB(W/m²) en 1 MHz con bajos ángulos de elevación de llegada podría limitar indebidamente el establecimiento de estaciones terrenas de enlace de conexión del SMS. Una dfp de -127 dB(W/m²) en 1 MHz arroja diámetros de antena de la estación terrena iguales a la mitad de los impuestos por una dfp de -133 dB(W/m²) en 1 MHz (véase el § 2.3). Como el MPR utiliza una antena de exploración de haz estrecho, se producirá interferencia durante cortos periodos de tiempo cuando su haz principal esté dirigido hacia un satélite. Además, el funcionamiento normal de

dicho radar no necesita considerarse como un servicio de seguridad. En consecuencia, se podría tolerar un aumento del ruido del sistema de hasta el 40% durante cortos periodos de tiempo, lo que se traduce en un límite de dfp de $-127 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ en 1 MHz.

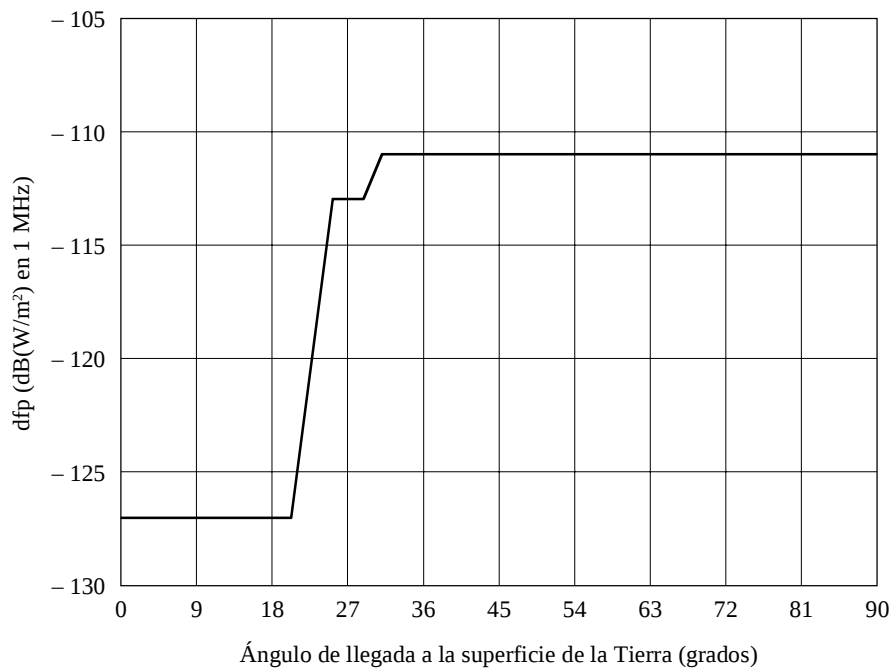
2.2 Límites de dfp en función del ángulo de llegada

Según lo indicado en el § 2.1, los ALS y los MPR funcionarían en la banda 15,4-15,7 GHz, incluida la banda 15,43-15,63 GHz compartida con los enlaces de conexión.

Combinando los valores de dfp indicados en el § 2.1 con las funciones de ganancia de antena señaladas en los § 2 y 3 del Anexo 1 se obtienen los límites de dfp indicados a continuación y representados en la Fig. 1, expresándose φ , en grados:

$$dfp \begin{cases} \leq -127 & \text{dB(W/m}^2\text{) en 1 MHz} & \text{para } 0 \leq \varphi < 20 \\ \leq -127 + 0,56(\varphi - 20)^2 & \text{dB(W/m}^2\text{) en 1 MHz} & \text{para } 20 \leq \varphi < 25 \\ \leq -113 & \text{dB(W/m}^2\text{) en 1 MHz} & \text{para } 25 \leq \varphi < 29 \\ \leq -136,9 + 25 \log(\varphi - 20) & \text{dB(W/m}^2\text{) en 1 MHz} & \text{para } 29 \leq \varphi < 31 \\ \leq -111 & \text{dB(W/m}^2\text{) en 1 MHz} & \text{para } 31 \leq \varphi \leq 90 \end{cases}$$

FIGURA 1
Límites máximos de dfp del satélite (ALS, MPR y RSMS)



2.3 Influencia sobre los parámetros del enlace de conexión

Las emisiones por satélite siempre se recibirán con ángulos de llegada bajos en la superficie de la Tierra. Para ángulos bajos, el límite de dfp es $-127 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ en 1 MHz. El diámetro de una antena de estación terrena D para un valor de dfp determinado puede calcularse mediante la expresión:

$$D = \left[(C/N)_t (k T B / dfp) (4M / \pi \eta) \right]^{0,5} \quad \text{m} \quad (2)$$

siendo:

$(C/N)_t$: relación portadora/ruido umbral

k : constante de Boltzmann

T : temperatura de ruido del sistema de recepción (K)

B : anchura de banda (Hz) como se utiliza en la dfp

M : margen

η : eficacia de la abertura de antena.

Las estaciones terrenas de enlaces de conexión del SMS están diseñadas normalmente para ofrecer una disponibilidad del enlace de aproximadamente el 99,99%. Para el funcionamiento con ángulos de elevación inferiores a 20° (dependiendo de la zona hidrometeorológica de funcionamiento) el requisito de margen de desvanecimiento debido a la lluvia en combinación con la necesidad de satisfacer el límite de dfp de $-127 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ en 1 MHz puede obstaculizar la implantación de estaciones terrenas de enlaces de conexión del SMS en la banda de frecuencias 15,43-15,63 GHz.

Suponiendo un valor de $(C/N)_t$ de 12 dB, un valor de T de 24 dB(K), un valor de η de 0,6 y valores de dfp de $-127 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ en 1 MHz, $-133 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ en 1 MHz y $-146 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ en 1 MHz en la ecuación (2), se obtienen los siguientes valores de D , que figuran en el Cuadro 1:

CUADRO 1

M (dB)	dfp		
	$-127 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ en 1 MHz	$-133 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ en 1 MHz	$-146 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ en 1 MHz
	D (m)	D (m)	D (m)
7	1,7	3,4	15
10	2,4	4,8	22
13	3,4	6,8	30,4
16	4,8	9,6	43
19	6,8	13,6	61
22	9,6	19,2	86
25	13,6	27,1	121
28	19,2	38,3	171

2.4 Interferencia causada por los satélites no OSG a los receptores del servicio de radioastronomía en la banda 15,35-15,4 GHz

En la Recomendación UIT-R RA.769 aparecen los niveles umbrales de interferencia perjudicial para servicio de radioastronomía primario en la banda 15,35-15,4 GHz. Estos niveles son de $-156 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ en 1 MHz y $-233 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ en 1 MHz en la superficie de la Tierra. Suponiendo que el valor por Hz puede extrapolarse a 1 MHz, resultaría un valor de $-173 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ en 1 MHz. Para ángulos de llegada de hasta unos 20° se aplica un valor de $-127 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ en 1 MHz y para ángulos por encima de unos 30° el valor es de $-111 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ en 1 MHz en la banda 15,43-15,63 GHz. Ello exige una discriminación de aproximadamente 46 dB a 15,4 GHz y de 62 dB por encima de 30° . El valor de 62 dB puede lograrse con un filtro de 6 polos (rizado de 0,1 dB) a 30 MHz con una banda de paso de

50 MHz. El funcionamiento de los enlaces espacio-Tierra en las proximidades de 15,4 GHz no parece posible. No obstante, si la banda 15,4-15,43 GHz no es utilizada por los enlaces de conexión se dispondría de 30 MHz de banda de guarda a la que podrían aplicarse filtros paso banda u otros medios para proteger el servicio de radioastronomía en la banda 15,35-15,4 GHz.

Los niveles de emisión fuera de banda de los enlaces de conexión deben tener en cuenta las necesidades del servicio de radioastronomía en la banda 15,35-15,4 GHz.

3 Resumen

Los límites de dfp indicados en el § 2.2 son necesarios para proteger el servicio de radionavegación aeronáutica contra la interferencia procedente de los enlaces de conexión en sentido espacio-Tierra que funcionan en 15,4-15,7 GHz.

ANEXO 3

Distancias de coordinación entre estaciones terrenas de enlaces de conexión del SMS que funcionan en el sentido espacio-Tierra y estaciones del servicio de radionavegación aeronáutica en la banda 15,4-15,7 GHz

1 Características del sistema de radionavegación aeronáutica

Se han identificado varios sistemas que funcionan en esta banda, incluyendo los ALS y los MPR. En los siguientes puntos se indican las características y los análisis que deben realizarse para determinar las distancias de coordinación.

2 Distancias de coordinación

2.1 Análisis

La distancia de coordinación, D_c , necesaria para asegurar que las estaciones de radionavegación aeronáutica no producen interferencia potencialmente inaceptable a las estaciones terrenas de enlaces de conexión del SMS, puede determinarse de la forma siguiente:

$$D_c = D_{fsl} + D_{oth} + D_{as} \quad \text{km} \quad (3)$$

siendo:

- D_{fsl} : distancia de visibilidad radioeléctrica total (km)
- D_{oth} : distancia sobre el horizonte correspondiente a las pérdidas sobre el horizonte necesarias (km)
- D_{as} : distancia desde la superficie de aterrizaje (km) (se aplica a los ALS y a los RSMS)

$$D_{fsl} = (2r h_1)^{0,5} + (2r h_2)^{0,5} \quad \text{km} \quad (4)$$

siendo:

- r : radio de la Tierra considerado como 4/3 del radio geométrico para tener en cuenta la refracción atmosférica (8500 km)
- h_1 : altura de la estación del servicio de radionavegación aeronáutica (km)
- h_2 : altura de la estación terrena de enlace de conexión (km)

$$L_{oth} = E_{ef}/\text{MHz} + 168,6 - L_{fsl} + G(\varphi) - 10 \log T - I/N \quad \text{dB} \quad (5)$$

siendo:

- L_{oth} : la pérdida sobre el horizonte añadida a L_{fsl} (dB). (Esta función se muestra a continuación y en la Fig. 2 obtenida de las funciones del 5% para 15 GHz de la Recomendación UIT-R P.528; es decir, pérdidas rebasadas durante el 95% del tiempo.)
- E_{ef}/MHz : máxima densidad de p.i.r.e. efectiva de la estación del servicio de radionavegación aeronáutica hacia el horizonte (véase el Anexo 2 de la Recomendación UIT-R S.1340)
- L_{fsl} : pérdidas en el espacio libre calculadas para D_{fsl} (dB)
- $G(\varphi)$: ganancia de la antena del enlace de conexión en función del ángulo, φ , por encima del horizonte (dBi)
- T : temperatura de ruido de la estación terrena (K)
- I/N : relación interferencia/ruido aceptable de la estación terrena de enlace de conexión (dB).

El valor de D_{oth} para un valor determinado de L_{oth} se determina mediante el Cuadro 2:

CUADRO 2

D_{oth} (km)	L_{oth} (dB)	D_{oth} (km)	L_{oth} (dB)	D_{oth} (km)	L_{oth} (dB)
0	0	175	78	350	104
25	24	200	82	375	107
50	45	225	86	400	110
75	57	250	90	425	113
100	64	275	94	450	116
125	69	300	98	475	118
150	74	325	101	500	120

Los valores de D_{oth} para otros valores de L_{oth} que no aparezcan en el Cuadro 2 se determinan mediante la siguiente interpolación:

$$D_{oth} = D_{ith} + 25 \left[(L_{oth} - L_{ith}) / (L_{jth} - L_{ith}) \right] \quad \text{km} \quad (6)$$

siendo:

L_{ith} : siguiente valor más bajo de L_{oth} en el Cuadro 2, determinado mediante la ecuación (5)

L_{jth} : siguiente valor más alto de L_{oth} en el Cuadro 2, determinado mediante la ecuación (5).

2.2 Cálculo de las distancias de coordinación

Los siguientes parámetros del Cuadro 3 se utilizan para determinar las distancias de coordinación.

Si el plano horizontal se encuentra en los lóbulos laterales de la antena de la estación terrena, entonces:

$$L_{oth} \text{ (dB)} = 87,2 - 25 \log (\varphi) \quad \text{para los ALS} \quad (7)$$

$$L_{oth} \text{ (dB)} = 75,0 - 25 \log (\varphi) \quad \text{para los MBR}$$

La ganancia en la envoltura de lóbulo lateral toma la expresión $29 - 25 \log \varphi$ (dBi), estando, φ , en grados.

Utilizando la ecuación (7) para L_{oth} y determinando las distancias correspondientes mediante las ecuaciones (6) y (3) se obtienen los valores para el ALS y el MPR, que figuran en el Cuadro 4. Las distancias del RSMS corresponden a la visibilidad directa.

CUADRO 3

Parámetro	ALS	MBR	RSMS
h_1 (km)	0,01	15	1,5
h_2 (km)	0,01	0,01	0,01
D_{fsl} (km)	26	518	25 ⁽¹⁾
D_{as} (km)	0	0	40
L_{fsl} (dB)	145	171	No se aplica
$10 \log T$ (dB(K))	24	24	24
I/N (dB)	-10	-10	-10
E_{ef}/MHz (dBW)	48,2	62	-13,1
L_{oth} (dB)	69,7	57,4	0
D_{oth} (km)	129	77	0
D_c (km)	155	595	65

(1) Esto se basa en la propagación en el espacio libre para un ángulo de llegada en la estación terrena de 3,2 °.

CUADRO 4

Ángulo de elevación, ϕ (grados)	Distancias de coordinación (km)		
	ALS	MPR	RSMS
5	155	595	65
10	120	578	54
15	104	569	47
20	96	565	
25	91	562	
30	87	560	

El modo de funcionamiento predominante de los MPR es sobre zonas oceánicas por lo cual, en la mayoría de los casos, el radar se encontrará a más de 600 km de las estaciones terrenas de enlaces de conexión, lo que hará innecesaria la coordinación. Si las estaciones terrenas de enlaces de conexión están situadas tierra adentro, las zonas de funcionamiento sobre los océanos se amplían.

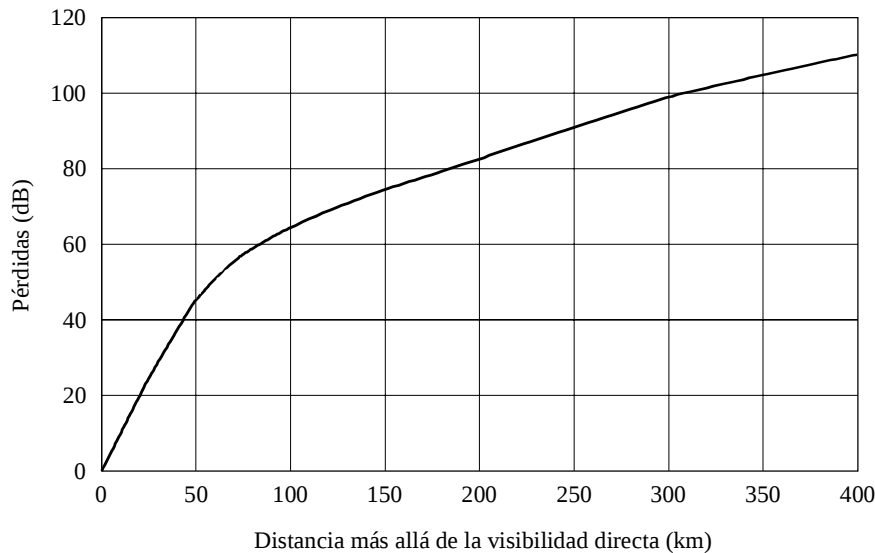
3 Factores de reducción para disminuir la distancia de separación dentro de la distancia de coordinación

Deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones cuando es necesario situar una estación terrena de enlace de conexión que funcione en sentido espacio-Tierra dentro de la distancia de coordinación.

- Normalmente las estaciones terrenas de enlaces de conexión tendrán anchuras de haz de antena inferiores a un grado y funcionarán con ángulos de elevación superiores a 5°. De esa forma puede obtenerse una notable discriminación de antena de estación terrena con respecto a las emisiones interferentes en la superficie.
- Las estaciones de radionavegación aeronáutica en la superficie pueden proporcionar también discriminación de antena adicional dependiendo de su funcionamiento. Ése es el caso especialmente de los sistemas ALS donde los límites de exploración horizontal no incluyen el acimut hacia la estación terrena (véase el Anexo 1).

- Se utiliza un cerco específicamente construido alrededor de la antena o antenas de la estación terrena de enlace de conexión para proporcionar discriminación de recepción adicional a dicha estación terrena.
- Puede considerarse que el emplazamiento geográfico de la estación terrena del enlace de conexión aprovecha el bloqueo natural que ofrece el terreno, lo cual aumentará las pérdidas de propagación en el trayecto.

FIGURA 2
Pérdidas añadidas a las pérdidas en el espacio libre
con visibilidad directa



1341-02

4 Resumen

- En el Anexo 3 figura un método de determinación de las distancias de coordinación necesarias para proteger las estaciones terrenas de enlaces de conexión contra la interferencia producida por estaciones de radionavegación aeronáutica en la banda 15,4-15,7 GHz.
- Este método también puede utilizarse junto con técnicas de reducción de la interferencia para minimizar las distancias de separación durante la coordinación.
- Con el ángulo de elevación limitado a 5° de manera que únicamente los lóbulos laterales de la antena de la estación terrena de enlace de conexión se dirigen hacia el horizonte, es razonable suponer para los ALS una distancia del orden de 150 km, y de 60 km para los RSMS, medidas desde la superficie de aterrizaje.
- Los MPR pueden funcionar sin coordinación a distancias superiores a 600 km de la estación terrena del enlace de conexión (por ejemplo, sobre zonas oceánicas).