

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R SA.1626-1 (12/2013)

Viabilidad de la compartición entre el servicio de investigación espacial (espacio-Tierra) y los servicios fijo y móvil en la banda 14,8-15,35 GHz

Serie SA
Aplicaciones espaciales y meteorología

Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión (sonora)
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radioastronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro
SNG	Periodismo electrónico por satélite
TF	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
V	Vocabulario y cuestiones afines

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2015

© UIT 2015

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R SA.1626-1*

Viabilidad de la compartición entre el servicio de investigación espacial (espacio-Tierra) y los servicios fijo y móvil en la banda 14,8-15,35 GHz

(2003-2013)

Cometido

La presente Recomendación describe las características de los sistemas de investigación espacial y los resultados de los análisis sobre viabilidad de la compartición entre el servicio de investigación espacial (espacio-Tierra) y los servicios fijo y móvil en la banda 14,8-15,35 GHz.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que en la banda 14,8-15,35 GHz, los servicios fijo y móvil están atribuidos a título primario, estando atribuido a título secundario el servicio de investigación espacial (SIE);
- b) que el SIE (pasivo) y el servicio de exploración de la Tierra por satélite (SETS) (pasivo) están atribuidos a título secundario por el número 5.339 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), edición de 2012, en la banda 15,20-15,35 GHz;
- c) que los enlaces descendentes de banda ancha del SIE están sometidos al requisito de transmitir en el futuro datos científicos a alta velocidad;
- d) que en condiciones favorables las distancias de separación necesarias entre las estaciones terrenas receptoras del SIE y las estaciones transmisoras del servicio fijo son relativamente pequeñas (inferiores a 30 km), pudiendo ser relativamente grandes (hasta 200 km) en condiciones menos favorables;
- e) que las distancias de separación pueden disminuir significativamente debido a la canalización de frecuencias, el efecto de apantallamiento natural del terreno, el eco del terreno y otras características de éste,

observando

- a) que debido al escaso número de estaciones terrenas del SIE que se prevé instalar en todo el mundo (entre 10 y 40 estaciones), la coordinación entre los sistemas del servicio fijo y del servicio móvil terrestre y las estaciones del SIE no impondría restricciones excesivas a ninguno de estos servicios,

recomienda

- 1 que la compartición entre un satélite OSG del SIE transmitiendo en el sentido espacio-Tierra y un satélite de retransmisión de datos (SRD) OSG funcionando en la proximidad de 15 GHz sea viable cuando los satélites estén separados por 12 km (equivalentes a una separación orbital de 0,02°) como mínimo;
- 2 que al diseñar sistemas del SIE se tenga en cuenta la probabilidad de recibir interferencia procedente de satélites SRD de usuario durante breves periodos de tiempo. Dicha interferencia debería estar presente menos del 0,1% del tiempo;
- 3 que los sistemas OSG del SIE funcionen dentro de los siguientes límites de dfp en la superficie terrestre en condiciones de propagación en el espacio libre, en la banda 14,8-15,35 GHz:

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 5 de Radiocomunicaciones.

Límite (dB(W/m²)) en una anchura de banda de 1 MHz para un ángulo de llegada, δ, por encima del plano horizontal		
0°-5°	5°-25°	25°-90°
-126	$-126 + 0,5(\delta - 5)$	-116

4 que los sistemas del SIE no OSG funcionen dentro de los siguientes límites de dfp en la superficie terrestre en condiciones de propagación en el espacio libre, en la banda 14,8-15,35 GHz:

Límite (dB(W/m²)) en una anchura de banda de 1 MHz para un ángulo de llegada, δ, por encima del plano horizontal		
0°-5°	5°-25°	25°-90°
-124	$-124 + 0,5(\delta - 5)$	-114

5 que las distancias de separación necesarias para la protección de las estaciones terrenas receptoras del SIE frente a los servicios fijo y móvil se calculen mediante la metodología descrita brevemente en el Anexo 1 y aplicando los criterios de protección de los enlaces del SIE espacio-Tierra indicados en la Recomendación UIT-R SA.609;

6 que se determinen las medidas oportunas relativas al despliegue de estaciones terrenas del SIE a fin de no restringir la utilización de la banda 14,8-15,35 GHz por parte del servicio fijo.

Anexo 1

Viabilidad de la compartición entre el SIE (espacio-Tierra) y los servicios fijo y móvil en la banda 14,8-15,35 GHz

1 Introducción

Las agencias espaciales internacionales están planificando actualmente la puesta en marcha de misiones de investigación espacial de altas velocidades de datos con requisitos de anchura de banda de hasta 400 MHz. Los satélites de dichas misiones transportarán telescopios y/u otros instrumentos pasivos destinados a medir fenómenos tales como la magnetosfera terrestre y de las erupciones solares cromosféricas. En la edición de 2012 del Reglamento de Radiocomunicaciones, la banda 8 450-8 500 MHz es la única por debajo de la banda 37-38 GHz disponible a título primario en el SIE para transmitir datos a velocidades que pueden ir de moderadas a altas, desde los satélites en órbita terrestre a las estaciones terrenas. Al no satisfacer esta banda los requisitos de las futuras misiones de investigación espacial de alta velocidad, se necesita una nueva atribución a título primario.

Las actuales atribuciones en la banda 14,8-15,35 GHz (edición de 2012 del Reglamento de Radiocomunicaciones) se muestran en el Cuadro 1. Entre éstas se encuentran atribuciones primarias a los servicios fijo y móvil y una atribución secundaria al SIE. Además, el número **5.339** del RR atribuye el segmento 15,20-15,35 GHz de la banda al SIE (pasivo) y al SETS (pasivo) a título secundario.

CUADRO 1

**Atribuciones en la banda 14,8-15,35 GHz (desde la edición de 2012
del Reglamento de Radiocomunicaciones)**

Atribución a los servicios		
Región 1	Región 2	Región 3
14,8-15,35	FIJO MÓVIL Investigación espacial 5.339	

5.339 Las bandas 1 370-1 400 MHz, 2 640-2 655 MHz, 4 950-4 990 MHz y 15,20-15,35 GHz están también atribuidas, a título secundario, a los servicios de investigación espacial (pasivo) y de exploración de la Tierra por satélite (pasivo).

Con arreglo a estas atribuciones, la creación de una atribución primaria al SIE en esta banda requiere la consideración de una casuística de interferencia, que se detalla en el Cuadro 2. Se ha efectuado un análisis de estos entornos para facilitar la identificación de las condiciones de compartición adecuadas, recogiendo la misma en la presente Recomendación. El § 2 contiene información sobre las características del sistema SIE utilizadas en este análisis. El § 3 presenta un ejemplo de las características del sistema del servicio fijo ejemplo para la banda 14,8-15,35 GHz. El § 4 presenta las características clave del SRD que funcionan en esta banda. Los criterios de protección de las estaciones del servicio fijo/o del servicio móvil frente a las emisiones del SIE se calculan en el § 5. El § 6 contempla las interferencias sobre las estaciones terrenas receptoras del SIE procedentes de las transmisiones del servicio fijo/o del servicio móvil. El § 7 calcula las condiciones de compartición del SIE (espacio-Tierra) y las operaciones de los SRD receptores. La protección de los enlaces del SIE (pasivo) y del SETS (pasivo) no se contempla en este momento ya que no se conoce ninguno de estos sistemas en dicha banda.

CUADRO 2

Casuística de interferencia aplicable

Interferente	Afectado	Observaciones
SIE (espacio-Tierra) Satélite de órbita baja Satélite OSG	Estación receptora del servicio fijo/servicio móvil	Se supone la propagación con visibilidad directa
Estación transmisora del servicio fijo/servicio móvil	Estación terrena receptora del SIE	Distancias de separación determinada por medio de los métodos de la Recomendación UIT-R SM.1448 suponiendo el modo de propagación (1) sobre el trayecto continental de un círculo máximo (zona A2)
SIE (espacio-Tierra) Satélite de órbita baja Satélite OSG	SRD receptor Adyacente cuasiantipodal	Se supone la propagación con visibilidad directa
SIE (espacio-Tierra) Satélite de órbita baja Satélite OSG	SIE/SETS (pasivo)	No se conoce la utilización de la banda 15,20-15,35 GHz conforme a las disposiciones del número 5.339 del RR

2 Características de las futuras misiones SIE de alta velocidad

El número de estas misiones será limitado, previéndose entre tres y cinco satélites anuales en todo el mundo, que se situarán normalmente en una órbita polar baja o en una órbita ecuatorial, estando algunos en altitudes geoestacionarias y otros en los puntos de liberación L1 y L2. Las características de los satélites OSG y de órbita baja del SIE transmitiendo en el sentido espacio-Tierra se reflejan en los balances de enlace que recoge el Cuadro 3. Se supone que los enlaces soportan una velocidad de datos de 400 Mbit/s en el enlace espacio-Tierra. Se ha ajustado la densidad espectral de la p.i.r.e. para satisfacer los límites de la d_{fp} de la Recomendación UIT-R SA.510 para ángulos de elevación pequeños. Se supone que el ángulo de radiación de la antena receptora de la estación terrena SIE se ajusta a la Recomendación UIT-R SA.509. Se ha evaluado la viabilidad de la compartición con arreglo a los criterios de la Recomendación UIT-R SA.609.

CUADRO 3

Ejemplos de balances de enlace de misiones SIE de alta velocidad

Frecuencia (GHz)	15		15
Altitud del satélite (km)	800	35 785	300 000 ⁽¹⁾
Velocidad de datos (Mbit/s)	400		
Método de modulación	MDP-4		
Potencia transmitida (W)	5,0	20,0	
(dBW)	7,0	13,0	
Atenuación del filtro y del cable (dB)	-0,5		
Diámetro de la antena transmisora (m)	0,38	0,86	1,5
Ganancia de la antena transmisora (dBi)	33,0	40,0	45,2
Anchura de banda a 3 dB de la antena (grados)	3,68	1,64	1,06
p.i.r.e. (dBW)	39,5	52,5	57,7
Tolerancia en el borde del haz (dB)	-3,0		-4,0 ⁽³⁾
Pérdida debida a la atmósfera y la lluvia (dB)	-		
Atenuación del trayecto (dB)	-183,4	-208,1	-225,65
Densidad espectral de flujo de potencia (d_{fp}) (dB(W/(m ² · 4 kHz)))	-146,0	-157,6	<-146,0 ⁽²⁾
Ganancia de la antena receptora (dBi)	45,0	55,0	67,0
Temperatura de ruido del receptor (K)	100,0		
Ángulo de elevación (grados)	10,0		
Temperatura de ruido de la antena (K)	50,0		
Temperatura del sistema receptor (K)	150,0		
Atenuación del filtro de modulación (dB)	-0,5		
Atenuación del demodulador (dB)	-0,5		
E_b/N_0 recibida media (dB)	18,9	17,2	14,8
E_b/N_0 teórica (BER = 1×10^{-6}) (dB)	10,5		
E_b/N_0 requerida (BER = 1×10^{-6}) (dB)	11,5		

CUADRO 3 (*fin*)

Margen (dB)	7,4	5,7	3,3
-------------	-----	-----	-----

- (1) HEO con apogeo: 300 000 km, perigeo: 500 km, distancia mínima de la transmisión de datos: 15 000 km.
 (2) Para la distancia mínima de la transmisión de datos.
 (3) Suma de la tolerancia en el borde del haz (dB) y pérdida debida a la atmósfera y la lluvia (dB).

3 Características de los sistemas del servicio fijo en la banda 14,8-15,35 GHz

El Cuadro 4 contiene ejemplos de características de sistemas típicos del servicio fijo en la banda de 14,8-15,35 GHz. Los valores de los parámetros de los Sistemas A y B se han obtenido de la Recomendación UIT-R F.758. Los Sistemas C y D son representativos de muchos otros sistemas del servicio fijo actualmente desplegados.

CUADRO 4

Ejemplo de características del servicio fijo para la banda 14,8-15,35 GHz

Modulación	Banda de frecuencias 14,8-15,35 GHz			
	MAQ-64- (A)	MDP-4 (B)	MDF-4 (C)	MDF-4 (D)
Capacidad (Mbit/s)	140	4	6,3	12,6
Separación de canales (MHz)	28	10,5	5	10
Diámetro de la antena (m)	2,4	1,8	0,6	1,2
Ganancia de la antena (máx) (dBi)	49,0	45,0	36,5	42,5
Atenuación del alimentador/multiplexor (mín) (dB)	2	0	2	2
Anchura de banda de FI del receptor (MHz)	40	3,5	5	10
Factor de ruido del receptor (dB)	4	4	5	7
Ruido térmico del receptor (dBW)	-124	-136	-132	-129
Interferencia nominal a largo plazo (dBW)	-134	-146	-142	-139
Densidad espectral (dB(W/MHz))	-150,0	-149,8	-149,0	-149,0
$dfp^{(1)}$ máxima para entrada única con ángulo de llegada pequeño (dB(W/(m ² /MHz)))	-149,0	-147,0	-136,0	-142,0

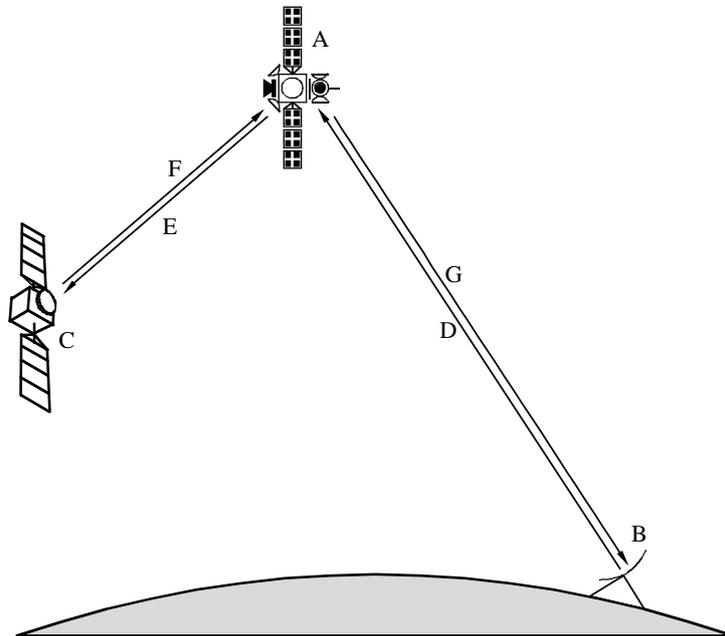
- (1) dfp = densidad espectral de la interferencia + atenuación del alimentador – ganancia de la antena – ganancia (1 m²) + 3 dB de discriminación de la polarización lineal a circular.

4 Características del sistema SRD que funciona en la banda 14,8-15,35 GHz

La red SRD consta de varios satélites OSG que retransmiten señales entre las estaciones terrenas situadas en un emplazamiento central y los satélites de órbita baja de usuario. La red SRD utiliza frecuencias atribuidas al SIE en las bandas de 2 GHz y 13-15 GHz, y las bandas atribuidas al servicio entre satélites en las bandas 23/26 GHz. La Fig. 2 muestra el plan de frecuencias correspondiente al segmento de banda 14,8-15,35 GHz. Puede verse que ésta es la banda de recepción del SRD. Las transmisiones Tierra-espacio incluyen una frecuencia piloto, una señal de acceso múltiple para su retransmisión en la banda 2 025-2 110 MHz y una señal de acceso único (KSA2) para retransmitirse

en una banda centrada en 13,775 GHz. Estas transmisiones Tierra-espacio tienen su origen en estaciones terrenas situadas en los Estados Unidos de América y en la Isla de Guam. La Fig. 2 muestra asimismo que el SRD recibe transmisiones espacio-espacio procedentes de satélites de órbita baja. Estas transmisiones están centradas en la proximidad de 15 GHz y ocupan una anchura de banda de hasta 225 MHz.

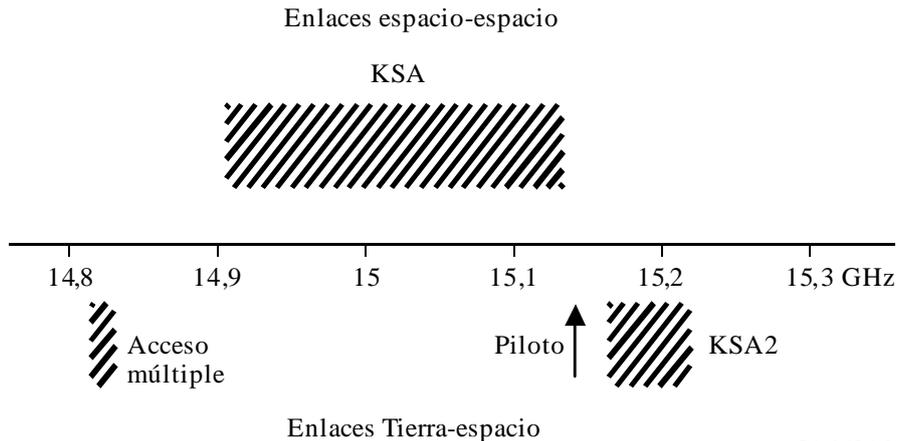
FIGURA 1
Arquitectura de una red SRD (Recomendación UIT-R SA.1018)



- A: SRD
- B: Estación terrena SRD
- C: Vehículo espacial de usuario SRD
- D: Enlace de conexión en sentido directo
- E: Enlace interorbital en sentido directo
- F: Enlace interorbital de retorno
- G: Enlace de conexión de retorno

SA 1626-0

FIGURA 2
Utilización de las frecuencias de una red SRD en la banda 14,8-15,3 GHz



SA.1626-0

5 Protección de las estaciones de los servicios fijo y móvil frente a la interferencia de las estaciones espaciales del SIE

El criterio de interferencia para la protección del servicio fijo contra la interferencia agregada variable en el tiempo, como la que presentarían los satélites del SIE no OSG, se obtiene de la Recomendación UIT-R F.1494. Esta Recomendación es aplicable a la banda 10,7-12,7 GHz; no obstante, las aplicaciones del servicio fijo en la banda 14,8-15,35 GHz tienen características muy similares. Por consiguiente, esta Recomendación debería aplicarse asimismo a dicho caso. Así pues, los criterios de protección contra la interferencia causada por los satélites no OSG son los siguientes:

- a corto plazo: la I/N no debe sobrepasar +20 dB (límite estricto);
- a largo plazo: la degradación fraccionaria de la calidad de funcionamiento (FDP) no debe sobrepasar el 10%.

En los satélites OSG se aplican los siguientes criterios de interferencia:

- la FDP de ruta no debe superar el 10% en más del 10% de las rutas del servicio fijo; y
- la I/N de la estación no debe sobrepasar –10 dB en más del 10% de las estaciones receptoras del servicio fijo.

Los resultados de las simulaciones llevadas a cabo sobre la interferencia probabilística procedente del SIE, basada en la hipótesis del despliegue de 24 satélites en órbita OSG, sobre los sistemas del servicio fijo digitales punto a punto, muestran que los límites de la dfp en la banda 10,7-11,7 GHz son necesarios para proteger el servicio fijo en la banda 14,8-15,35 GHz. Estos límites se indican a continuación:

$-126 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	para	$0^\circ < \delta \leq 5^\circ$
$-126 + 0,5(\delta - 5) \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	para	$5^\circ < \delta \leq 25^\circ$
$-116 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	para	$25^\circ < \delta \leq 90^\circ$

siendo δ el ángulo de llegada por encima del plano horizontal (grados).

Estos límites de dfp deben permitir el funcionamiento requerido de los enlaces espacio-Tierra del SIE a 400 Mbit/s. No obstante, un número limitado de los enlaces del servicio fijo existentes podrían verse afectados adversamente si las antenas de estas estaciones se alinean con posiciones orbitales de satélites OSG del SIE con emisiones dentro del mismo canal.

Los resultados de los estudios de simulación de la interferencia procedente de los sistemas de satélite no OSG del SIE sobre los sistemas punto a punto del servicio fijo muestran la viabilidad de la compartición entre dichos servicios en la banda 14,8-15,35 GHz utilizando límites de dfp de 2 dB superiores a los aplicables en la banda 10,7-11,7 GHz. Estos límites son:

$-124 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	para	$0^\circ \leq \delta \leq 5^\circ$
$-124 + 0,5(\delta - 5) \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	para	$5^\circ < \delta \leq 25^\circ$
$-114 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	para	$25^\circ < \delta \leq 90^\circ$

siendo δ el ángulo de llegada por encima del plano horizontal (grados).

6 Protección de las estaciones terrenas receptoras del SIE frente a las emisiones de las estaciones de los servicios fijo y móvil

Para evaluar las distancias de separación adecuadas que permitan satisfacer los criterios de protección de las estaciones terrenas del SIE con arreglo a la Recomendación UIT-R SA.609, es decir, que la

interferencia no debería sobrepasar -216 dB(W/Hz) durante más del 0,1% del tiempo para las misiones no tripuladas, se utilizan características adicionales de los sistemas del servicio fijo en dicha banda, que se indican en el Cuadro 5. Debido a la velocidad de datos, relativamente alta de los enlaces espacio-Tierra se utilizará una anchura de banda de referencia de 4 kHz. El criterio de nivel de potencia de la interferencia resultante es -180 dB(W/4 kHz).

Para evaluar el rango de distancias de separación necesarias para proteger una estación terrena receptora del SIE se ha utilizado la siguiente metodología:

- se determina la densidad espectral de p.i.r.e. en la banda de 4 kHz más desfavorable de las estaciones transmisoras del servicio fijo relacionadas en el Cuadro 4;
- se determina la ganancia máxima de la antena receptora de la estación terrena del SIE en la dirección de la estación transmisora del servicio fijo con arreglo a la Recomendación UIT-R SA.509;
- se calcula la mínima atenuación de transmisión básica admisible para las emisiones máximas y para las emisiones isotrópicas de las estaciones del servicio fijo en dirección a la estación terrena del SIE; y,
- utilizando los procedimientos de la Recomendación UIT-R SM.1448, se calcula la distancia de separación necesaria para obtener la mínima atenuación de transmisión básica admisible suponiendo la propagación en modo (1) sobre un trayecto continental (definido como zona A2 en esta Recomendación).

6.1 Densidad espectral de p.i.r.e. de las estaciones transmisoras del servicio fijo

La densidad espectral de potencia (*dep*) de una portadora MDP-M y MAQ-M modulada por un tren de datos aleatorio es máxima en torno a la frecuencia de la portadora y, si la velocidad de símbolos es grande respecto a la anchura de banda de referencia, viene dada por:

$$dep = P_{med} T_S b_{ref} \quad (1a)$$

$$T_S = \frac{\log_2 M}{R_b} \quad (1b)$$

siendo:

- dep* : anchura de banda de referencia, b_{ref} , a la entrada de la antena transmisora (W/ b_{ref})
- P_{med} : potencia media a la salida del transmisor (W)
- T_S : duración de un símbolo (s)
- M : número de estados discretos del espacio de señal, de la señal transmitida (numérico)
- R_b : información y velocidad binaria de codificación combinadas de la señal transmitida (bit/s).

6.2 Distancias de separación típicas

La mínima atenuación de transmisión básica admisible es dada por:

$$L_B = dep + G_T(\theta_{SF}) + G_R(\theta_{Rmín}) - I_{CP} \quad (2)$$

siendo:

- L_B : mínima atenuación de transmisión básica admisible (dB)

- I_{CP} : criterio de protección (dBW/ b_{ref})
- dep : dep del transmisor a la entrada de la antena transmisora (dBW/ b_{ref})
- b_{ref} : anchura de banda de referencia (4 kHz)
- $G_T(\theta_{SF})$: ganancia de la antena transmisora del servicio fijo en dirección de la estación receptora del SIE (dB)
- $G_R(\theta_{Rmin})$: máxima ganancia de la antena receptora del SIE en la dirección de la estación del servicio fijo (dB).

La antena receptora del SIE que se ajusta al diagrama de radiación de referencia de la Recomendación UIT-R SA.509 tiene una ganancia máxima de +7 dBi hacia el horizonte cuando se apunta con un ángulo de elevación mínimo de 10°.

La mínima atenuación de transmisión básica admisible se determina mediante los procedimientos consignados en la Recomendación UIT-R SM.1448 para:

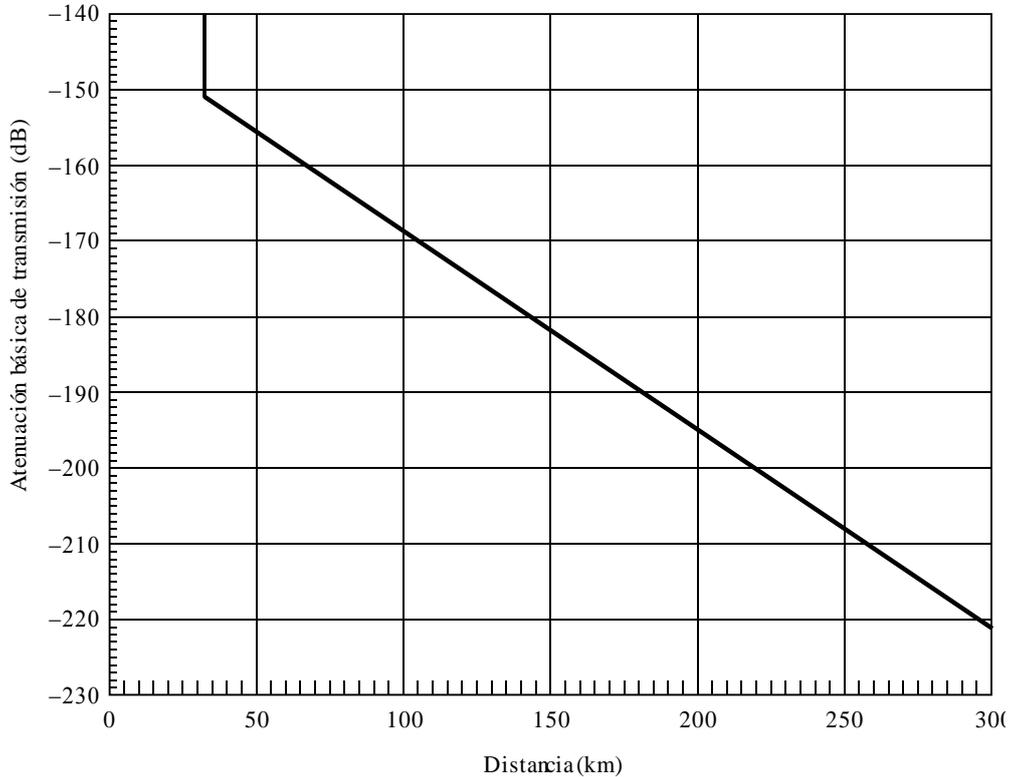
- frecuencia de funcionamiento de 15 GHz;
- propagación sobre tierra lisa en un trayecto continental (zona A2);
- modo de propagación (1), mínima atenuación de transmisión admisible sobrepasada durante más del 0,1% del tiempo;
- la antena receptora de la estación terrena del SIE está 10 m por encima de la superficie terrestre;
- la antena transmisora de la estación del servicio fijo está 30 m por encima de la superficie terrestre.

La Fig. 3 muestra la atenuación de transmisión básica resultante en modo (1) en función de la distancia de separación, utilizando las hipótesis citadas anteriormente y los procedimientos de la Recomendación UIT-R SM.1448.

El Cuadro 5 contiene un resumen de los cálculos que determinan las distancias de separación. La protección de las estaciones terrenas receptoras del SIE frente a las emisiones de los sistemas fijos con las características indicadas en la Recomendación UIT-R F.758 pueden conseguirse con distancias de separación de tan sólo 18 km a 30 km en condiciones favorables y con distancias de hasta 200 km en condiciones menos favorables. Estas distancias se determinaron en el modo de propagación (1), para un trayecto continental de círculo máximo sobre tierra lisa (zona A2) utilizando la metodología de la Recomendación UIT-R SM.1448. Se prevé que estas distancias de separación puedan reducirse con factores tales como los planes de canalización de frecuencias, el apantallamiento natural del emplazamiento, el eco del terreno y otras características dignas de consideración.

FIGURA 3

Atenuación de transmisión básica no superada durante más del 0,1% del tiempo para propagación en modo (1) para un trayecto continental sobre tierra lisa:
 $f = 15 \text{ GHz}$; $h_1 = 10 \text{ m}$; $h_2 = 30 \text{ m}$



$f = 15 \text{ GHz}$
 Altura de la antena transmisora = 10 m
 Altura de la antena receptora = 30 m
 Atenuación de la transmisión no superada durante más del 0,1% del tiempo
 Zona climática A2

SA 1626 03

CUADRO 5

Distancias de separación típicas entre una estación terrena receptora del SIE y las estaciones transmisoras del servicio fijo, necesarias para satisfacer los criterios de protección de la Recomendación UIT-R SA.609: siendo la altura de la antena receptora del SIE 10 m sobre tierra lisa y la de la antena transmisora del servicio fijo 30 m sobre tierra lisa

Modulación	MAQ-64	MDP-8
Capacidad (Mbit/s)	140	156
Máxima potencia de salida del transmisor (dBW)	5	0
Relación potencia de cresta a potencia media (dB)	-3,7	0
Reducción de potencia de salida (dB)	-1,3	0

CUADRO 5 (fin)

Modulación	MAQ-64	MDP-8
Pérdidas en el alimentador/multiplexor (dB)	-2	-5
dep (dB(W/4 kHz))	-39,7	-46
Ganancia de la antena en dirección de la estación terrena del SIE (dB)	0	49
Densidad espectral de la p.i.r.e. en dirección de la estación terrena del SIE (dB(W/4 kHz))	-39,7	+9,3
Ganancia máxima de la antena de la estación terrena del SIE hacia la estación del servicio fijo (dBi)	+7	+7
Interferencia máxima (dB(W/4 kHz))	-180	
Mínima atenuación de transmisión básica permisible (dB)	-147,3	-196,3
Distancia de separación (km)	30 ⁽¹⁾	200
⁽¹⁾ Esta distancia está dentro del alcance de visibilidad directa.		

7 Protección de un sistema SRD frente a las emisiones de una estación espacial del SIE

Hay tres casos principales en los que un SRD OSG recibirá interferencia de las emisiones de un satélite del SIE:

Caso 1: Cuando el satélite OSG transmisor del SIE se encuentra al lado del SRD OSG.

Caso 2: Cuando el satélite OSG transmisor del SIE se encuentra en una posición cuasiantipodal respecto al SRD OSG receptor.

Caso 3: Cuando el satélite transmisor de órbita baja del SIE vuela dentro de la visual del SRD OSG.

Se evaluarán las condiciones necesarias para satisfacer los criterios de protección de la Recomendación UIT-R SA.1155 para estos tres casos. En los Casos 1 y 2, la dep a la entrada de la antena transmisora del satélite OSG del SIE es -40,5 dB(W/kHz) con arreglo a las características del ejemplo indicado en el Cuadro 1. En el Caso 3, la dep a la entrada de la antena transmisora del satélite del SIE a una altitud orbital de 800 km es -46,5 dB(W/kHz), con arreglo asimismo a las características del ejemplo del Cuadro 1. En los tres casos se supone la propagación en el espacio libre.

La dep de la interferencia recibida y el margen asociado por encima del criterio de protección vienen dados por:

$$I_R = dep + G_T(\theta_T) + G_R(\theta_R) - L_{bf} \quad (3a)$$

$$M = I_{CP} - I_R \quad (3b)$$

siendo:

- I_R : dep de la interferencia recibida (dB(W/kHz))
- I_{CP} : criterio de protección del SRD consignado en la Recomendación UIT-R SA.1155 (dB(W/kHz))
- M : margen por encima del criterio de interferencia (dB)
- L_{bf} : atenuación de transmisión básica del espacio libre (dB)
- dep : dep a la entrada de la antena transmisora (dB(W/kHz))

- $G_T(\theta_T)$: ganancia de la antena transmisora del satélite del SIE en dirección al SRD (dBi)
 $G_R(\theta_R)$: ganancia de la antena receptora del SRD en dirección del satélite del SIE (dBi)
 θ_T : ángulo entre el eje de puntería de la antena transmisora y el SRD (grados)
 θ_R : ángulo entre el eje de puntería de la antena receptora del SRD y el satélite del SIE (grados).

El Cuadro 6 resume los principales resultados de la evaluación de la ecuación (3) para los tres casos.

CUADRO 6

Nivel de interferencia y margen de funcionamientos sobre el criterio de protección de la Recomendación UIT-R SA.1155 para un SRD OSG que recibe interferencia procedente de emisiones espacio-Tierra de satélites del SIE

	Caso 1	Caso 2		Caso 3
dep (dB(W/kHz))	-40,5	-40,5		-46,5
$G_T(\theta_T)$	0	0		0
$G_R(\theta_R)$	0	0	53,3 ⁽¹⁾	53,3 ⁽¹⁾
Distancia (km)	11,9	83 360		34 985 ⁽²⁾
Atenuación básica de transmisión (dB)	137,5	214,4		206,8
I_R (dB(W/kHz))	-178	-254,9	-201,6	-200
I_{PC} (dB(W/kHz))	-178 ⁽³⁾	-178 ⁽³⁾		-178 ⁽³⁾
Margen (dB)	0	+76,9	+23,6	+22,0

⁽¹⁾ Véase la Recomendación UIT-R SA.1414.

⁽²⁾ Satélite a una altitud de 800 km situado sobre el plano ecuatorial directamente debajo del SRD.

⁽³⁾ Criterio de protección de la Recomendación UIT-R SA.1155.

Este ejemplo muestra que una red SRD existente quedaría protegida frente a las emisiones de los satélites de órbita baja y de los satélites OSG del ejemplo. Se halló que la distancia de separación entre un SRD OSG receptor y un satélite OSG transmisor del SIE podía reducirse a 12 km (equivalente a una separación orbital inferior a 0,02°). Se halló asimismo la existencia de un margen de protección de +23 dB para el caso cuasiantipodal de las emisiones de un satélite OSG del SIE en dirección a un SRD receptor. Se obtuvieron similares resultados en el caso de un satélite de órbita baja del SIE transmitiendo en dirección espacio-Tierra que se encontrase dentro del haz principal de la antena receptora del SRD. En este caso, el margen de interferencia respecto al criterio de protección de la Recomendación UIT-R SA.1155 fue +22 dB.

8 Conclusiones

Los resultados de las simulaciones de la interferencia probabilística del SIE, basada en el despliegue hipotético de 24 satélites OSG, sobre sistemas digitales del servicio fijo punto a punto muestran que se necesitan límites de dfp en la banda 10,7-11,7 GHz para proteger el servicio fijo en la banda 14,8-15,35 GHz.

Estos límites son los siguientes:

$-126 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	para	$0^\circ < \delta \leq 5^\circ$
$-126 + 0,5(\delta - 5) \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	para	$5^\circ < \delta \leq 25^\circ$
$-116 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	para	$25^\circ < \delta \leq 90^\circ$

siendo δ el ángulo de llegada por encima del plano horizontal (grados).

Estos límites de dfp deberían permitir el funcionamiento necesario de los enlaces espacio-Tierra del SIE a 400 Mbit/s. No obstante, algunos de los enlaces del servicio fijo existentes podrían verse afectados adversamente si las antenas de estas estaciones se alinean con posiciones orbitales OSG del SIE con emisiones dentro del mismo canal.

Los resultados de los estudios de simulación de la interferencia procedente de sistemas de satélites no OSG del SIE sobre sistemas punto a punto del servicio fijo muestran que la compartición entre dichos servicios es viable en la banda 14,8-15,35 GHz utilizando límites de dfp de 2 dB mayores que los aplicables a la banda 10,7-11,7 GHz, o sea:

$-12 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	para	$0^\circ < \delta \leq 5^\circ$
$-12 + 0,5(\delta - 5) \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	para	$5^\circ < \delta \leq 25^\circ$
$-114 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	para	$25^\circ < \delta \leq 90^\circ$

siendo δ el ángulo de llegada por encima del plano horizontal (grados).

La protección de las estaciones terrenas receptoras del SIE frente a las emisiones de los sistemas fijos de las características que figuran en la Recomendación UIT-R F.758 puede conseguirse con distancias de separación de tan sólo 18 km a 30 km en condiciones favorables y a distancias de hasta 200 km en condiciones menos favorables. Estas distancias se determinaron en el modo de propagación (1) para un trayecto continental de círculo máximo sobre tierra lisa (zona A2) utilizando la metodología de la Recomendación UIT-R SM.1448. Se prevé que estas distancias de separación puedan disminuir con factores tales como los planes de canalización de frecuencias, el apantallamiento natural del emplazamiento, el eco del terreno y otras características del terreno dignas de consideración.

El estudio puso de manifiesto que una red SRD existente quedaría protegida frente a las emisiones de los satélites de órbita baja y de los satélites OSG del ejemplo. Se halló que la distancia de separación entre un SRD OSG receptor y un satélite OSG del SIE transmisor podría ser de tan sólo 12 km (equivalente a una separación orbital inferior a $0,02^\circ$). Se halló asimismo que existía un margen de protección mínimo de +23 dB para el caso cuasiantipodal de las emisiones de satélite OSG del SIE en dirección a un SRD receptor. Se obtuvieron resultados similares en el caso de un satélite de órbita baja del SIE transmitiendo en dirección espacio-Tierra que se encontrase dentro del haz principal de la antena receptora del SRD. En tal caso, el margen de interferencia respecto al criterio de protección indicado en la Recomendación UIT-R SA.1155 fue de +22 dB.