

RECOMENDACIÓN UIT-R SA.1625*

Viabilidad de la compartición de la banda 25,5-27 GHz entre el servicio de investigación espacial (espacio-Tierra) y los servicios fijo, entre satélites y móvil

(2003)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que el servicio fijo, el servicio entre satélites (SES) (limitado a las aplicaciones de investigación espacial y de exploración de la Tierra por satélite), y los servicios de exploración de la Tierra y móvil, entre otros, tienen atribuciones a título primario en la banda 25,5-27 GHz;
- b) que el punto 1.12 del orden del día de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (Ginebra, 2003) (CMR-03) considera una atribución al servicio de investigación espacial (SIE) en las proximidades de 26 GHz;
- c) que los enlaces descendentes de banda ancha del SIE por encima de 25 GHz están sometidos al requisito de transmitir en el futuro datos científicos a alta velocidad;
- d) que las distancias de separación necesarias entre las estaciones terrenas receptoras del SIE y las estaciones transmisoras del servicio fijo son relativamente pequeñas (normalmente de 10-20 km) porque los efectos atmosféricos, las pérdidas por la vegetación y las pérdidas en el espacio aumentan significativamente en comparación con frecuencias inferiores;
- e) que actualmente no se conoce ningún plan para la utilización de esta banda por el servicio móvil;
- f) que algunos países utilizan esta banda para aplicaciones del servicio fijo de alta densidad,

reconociendo

- a) que en el Cuadro 21-4 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), ya existen límites de dfp que se aplican al servicio de exploración de la Tierra por satélite (SETS) con atribuciones en la misma banda,

observando

- a) que debido al escaso número de estaciones terrenas del SIE que van a instalarse en todo el mundo (entre 10-40 estaciones) y a las características de propagación en esta banda, la coordinación entre los sistemas de los servicios fijo y móvil terrestre y las estaciones del SIE no impondría restricciones excesivas a ninguno de los servicios,

recomienda

1 que para la compartición entre los satélites transmisores del SIE y los satélites de retransmisión de datos (SRD) receptores que funcionan en el SES en las proximidades de 26 GHz se establezcan las siguientes limitaciones:

- los satélites del SIE en una órbita próxima a las órbitas de los SRD de usuario no deben producir una dfp superior a $-155 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ en 1 MHz en cualquier punto de la OSG durante más del 0,1% del tiempo;

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 4, 8 y 9 de Radiocomunicaciones.

- los satélites del SIE en órbitas distintas a la mencionada anteriormente no deben producir una dfp superior a $-155 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ en 1 MHz en cualquier punto de la OSG durante más del 1% del tiempo;
- 2 que al diseñar los sistemas del SIE se tenga en cuenta la probabilidad de recibir, durante breves periodos de tiempo, interferencia procedente de SRD de usuario del SES. Esta interferencia debe aparecer a menos del 0,1% del tiempo;
- 3 que los sistemas del SIE funcionen dentro de los límites siguientes de dfp en la superficie de la Tierra en condiciones de espacio libre, en la banda 25,5-27 GHz:

Límite ($\text{dB(W/m}^2\text{)})$ en una anchura de banda de 1 MHz para un ángulo de llegada, δ , por encima del plano horizontal		
$0^\circ\text{-}5^\circ$	$5^\circ\text{-}25^\circ$	$25^\circ\text{-}90^\circ$
-115	$-115 + 0,5(\delta - 5)$	-105

- 4 que las distancias de separación necesarias para la protección de las estaciones terrenas receptoras del SIE contra las estaciones transmisoras de los servicios fijo y móvil se calculan mediante la metodología indicada en el Anexo 1 y aplicando los criterios de protección de los enlaces del SIE espacio-Tierra contenidos en la Recomendación UIT-R SA.609;
- 5 que se determinen las medidas adecuadas relativas a la instalación de estaciones terrenas del SIE para no restringir la utilización de la banda 25,5-27 GHz por el servicio fijo.

Anexo 1

Viabilidad de la compartición de la banda 25,5-27 GHz entre el SIE (espacio-Tierra) y los servicios fijo, móvil, SES y SETS

1 Resumen de los estudios técnicos y de explotación y Recomendaciones UIT-R pertinentes

Las agencias espaciales internacionales están planificando actualmente misiones de investigación espacial con transmisiones de datos a alta velocidad que exigen unos requisitos de anchura de banda de hasta 400 MHz. Los satélites para estas misiones incorporarán telescopios y otros instrumentos pasivos para medir fenómenos tales como la magnetosfera terrestre y las erupciones solares. Actualmente, 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, directamente desde los satélites en órbita terrestre a las estaciones terrenas. Como esta banda no satisfará los requisitos de las futuras misiones de investigación espacial que exigen velocidades de transmisión de datos muy elevadas, es necesaria una nueva atribución.

Se ha planteado la posibilidad de atribuir la banda 25,5-27 GHz a título primario al SIE con objeto de satisfacer estos requisitos. Las actuales atribuciones en la banda 25,5-27 GHz aparecen en el Cuadro 1. Entre éstas se encuentran la atribución a título primario a los servicios fijo, móvil, SETS (espacio-Tierra) y SES. También hay una atribución secundaria al servicio de frecuencias patrón y señales horarias por satélite (Tierra-espacio). La utilización de las atribuciones viene además limitada por las siguientes disposiciones: número 5.536 del RR, que establece las condiciones de utilización de la banda por estaciones del SES; número 5.536A del RR, que limita la protección concedida a las estaciones terrenas del SETS contra las emisiones procedentes de estaciones de los servicios fijo y móvil y número 5.536B del RR, que limita aún más la protección y la categoría de las estaciones terrenas del SETS en un cierto número de países.

CUADRO 1

Atribuciones en la banda 25,5-27 GHz

Atribución a los servicios		
Región 1	Región 2	Región 3
25,5-27	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) 5.536A 5.536B FIJO ENTRE SATÉLITES 5.536 MÓVIL Frecuencias patrón y señales horarias por satélite (Tierra-espacio)	

5.536 La utilización de la banda 25,25-27,5 GHz por el servicio entre satélites está limitada a aplicaciones de investigación espacial y de exploración de la Tierra por satélite, y también a transmisiones de datos procedentes de actividades industriales y médicas en el espacio.

5.536A Las administraciones que instalen estaciones terrenas del servicio de exploración de la Tierra por satélite no podrán reclamar protección contra las estaciones de los servicios fijo y móvil que explotan administraciones vecinas. Además, las estaciones terrenas que funcionan en el servicio de exploración de la Tierra por satélite tendrán en cuenta la Recomendación UIT-R SA.1278. (CMR-2000)

5.536B Las estaciones terrenas de Alemania, Arabia Saudita, Austria, Bélgica, Brasil, Bulgaria, China, Corea (Rep. de), Dinamarca, Egipto, Emiratos Árabes Unidos, España, Estonia, Finlandia, Francia, Hungría, India, Irán (República Islámica del), Irlanda, Israel, Italia, Jordania, Kenya, Kuwait, Líbano, Libia, Liechtenstein, Lituania, Moldova, Noruega, Omán, Uganda, Pakistán, Filipinas, Polonia, Portugal, Siria, Eslovaquia, Rep. Checa, Rumania, Reino Unido, Singapur, Suecia, Suiza, Tanzania, Turquía, Viet Nam y Zimbabwe que funcionan en el servicio de exploración de la Tierra por satélite, en la banda 25,5-27 GHz, no reclamarán protección contra estaciones de los servicios fijo y móvil, ni obstaculizarán su utilización y desarrollo. (CMR-97)

Con arreglo a estas atribuciones, el establecimiento de una atribución primaria al SIE en esta banda requiere considerar varias hipótesis de interferencia, como 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 los resultados en esta Recomendación. El § 2 proporciona información sobre las características del sistema del SIE utilizadas en este análisis. El § 3 indica las características fundamentales de los ejemplos de sistemas del servicio fijo punto a punto (P-P) y punto a multipunto (P-MP) en la banda 25,5-27 GHz. Los criterios de protección de las estaciones del servicio fijo frente

a las emisiones del SIE aparecen en el § 4. El § 5 contempla la interferencia causada a las estaciones terrenas receptoras del SIE por las transmisiones de las estaciones del servicio fijo. El § 6 presenta las condiciones de compartición entre el SIE (espacio-Tierra) y el funcionamiento de los SRD receptores. La protección de los enlaces del SETS aparece en el § 7. El § 8 presenta las conclusiones de este estudio. Como no se conocen las características de los sistemas del servicio móvil que funcionan en la banda de 26 GHz no se han llevado a cabo estudios para determinar si se necesitan condiciones adicionales para la compartición.

CUADRO 2

Hipótesis de interferencia consideradas

Interferente	Afectado	Observaciones
SIE (espacio-Tierra) Satélite de órbita baja Satélite OSG	Estación receptora del servicio fijo	Límites de dfp del Cuadro 21-4 del RR suponiendo que protegen adecuadamente las estaciones del servicio fijo
Estación transmisora del servicio fijo	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	Estación terrena receptora del SETS	Son necesarios más estudios

2 Características de las futuras misiones del 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 ecuatorial, algunos en altitudes geoestacionarias y otros en puntos de liberación L1 y L2. Las características de los satélites OSG y en órbita baja del SIE que transmiten en sentido espacio-Tierra se reflejan en los balances del enlace que recoge el Cuadro 3.

Se supone que los sistemas del SIE soportan una velocidad de transmisión de datos de 400 Mbit/s en el enlace espacio-Tierra. La densidad espectral de p.i.r.e. se ha ajustado de forma que se satisfagan los límites de dfp que figuran en el Cuadro 21-4 del RR para ángulos de elevación bajos. Se supone que el diagrama de radiación de la antena receptora de la estación terrena del SIE está conforme a la Recomendación UIT-R SA.509. Se ha evaluado la viabilidad de la compartición basándose en los criterios de protección que aparecen en la Recomendación UIT-R SA.609.

CUADRO 3

Ejemplos de balances del enlace del sistema del SIE de alta velocidad

Frecuencia (GHz)	26	
Altitud del satélite (km)	800	35 785
Velocidad de transmisión 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)	0,35	0,88
Ganancia de la antena transmisora (dBi)	37,0	45,0
Anchura de haz a 3 dB de la antena (grados)	2,32	0,92
p.i.r.e. (dBW)	43,5	57,5
Tolerancia en el borde del haz (dB)	-3,0	
Atenuación del trayecto (dB)	-188,2	-212,9
dfp espectral (dB(W/(m ² · MHz)))	-118,0	-128,6
Ganancia de la antena receptora (dBi)	45,0	55,0
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)	18,1	17,4
E_b/N_0 teórica (BER = 1×10^{-6}) (dB)	10,5	
E_b/N_0 requerida (BER = 1×10^{-6}) (dB)	11,5	
Margen (dB)	6,6	5,9

3 Características fundamentales de los sistemas del servicio fijo P-P y P-MP

En la Recomendación UIT-R F.758 aparecen las características de los típicos sistemas inalámbricos del servicio fijo que van a utilizarse en los estudios de compartición. Las características fundamentales de los sistemas P-P figuran en el Cuadro 4a y el Cuadro 4b proporciona información similar para ejemplos de sistemas P-MP.

CUADRO 4a

**Características de los sistemas inalámbricos del servicio fijo P-P
utilizados en los estudios de compartición
(Recomendación UIT-R F.758)**

Banda de frecuencias (GHz)	25,25-27		
Modulación	MDP-4	MAQ-16	MAQ-16
Capacidad (Mbit/s)	6	52	156
Separación de canales (MHz)	10	20	60
Ganancia de antena (máxima) (dBi)	46		
Pérdidas en el alimentador/multiplexor (mínimas) (dB)	0		
Tipo de antena	Parabólica		
Máxima potencia de salida del transmisor (dBW)	-3		
p.i.r.e. (máxima) (dBW)	43		
Anchura de banda en FI del receptor (MHz)	5,3	18,6	55,6
Factor de ruido del receptor (dB)	8		
Ruido térmico del receptor (dBW)	-128,9	-123,5	-118,7
Nivel nominal de entrada del receptor (dBW)	-112,2 + M	-100,0 + M	-95,2 + M
Nivel de entrada del receptor para una BER de 1×10^{-3} (dBW)	-116,2	-103,3	-98,5

CUADRO 4b

**Características de los sistemas inalámbricos del servicio fijo P-MP
utilizados en los estudios de compartición
(Recomendación UIT-R F.758)**

Banda de frecuencias (GHz)	25,25-27,5		
Modulación	MDP-4 MDF/MDT	MDP-4 MDF/MDT	MDP-4 MDF/MDT
Capacidad	1 canal/50 MHz de anchura de banda	20 canales/50 MHz de anchura de banda	20 canales/50 MHz de anchura de banda
Separación de canales (MHz)	50	2,5	2,5
Condición	Cielo despejado	Cielo despejado	Desvanecimiento por lluvia
Ganancia de antena (máxima) (dBi)	15	36	36
Pérdidas en el alimentador/multiplexor (mínimas) (dB)	0		
Tipo de antena	Bocina	Parabólica	Parabólica
Máxima potencia de salida del transmisor (dBW)	+10,0	-32,7	+4,0
Máxima densidad espectral de potencia (dep) del transmisor (dB(W/MHz))	-7,0	-36,7	0
Máxima densidad espectral de p.i.r.e. (dB(W/MHz))	+8,0 ⁽¹⁾	-0,7	+36
p.i.r.e. (máxima) (dBW)	25,0	3,3	40,0

⁽¹⁾ La máxima densidad espectral de p.i.r.e. está de conformidad con lo dispuesto en el *recomienda* 1.1 de la Recomendación UIT-R F.1509.

4 Protección de las estaciones del servicio fijo contra las emisiones de las estaciones del SIE

Los límites de dfp para proteger las estaciones receptoras de los servicios fijo y móvil contra las emisiones de los servicios espaciales aparecen actualmente en el Cuadro 21-4 del RR. Para una anchura de banda de referencia de 1 MHz los límites de dfp son:

$$\begin{array}{ll} -115 \text{ dB(W/m}^2\text{)} & \text{para } 0^\circ < \delta \leq 5^\circ \\ -115 + 0,5(\delta - 5) \text{ dB(W/m}^2\text{)} & \text{para } 5^\circ < \delta \leq 25^\circ \\ -105 \text{ dB(W/m}^2\text{)} & \text{para } 25^\circ < \delta \leq 90^\circ \end{array}$$

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

Consultando el Cuadro 3, puede observarse que los enlaces espacio-Tierra que soportan una velocidad de transmisión de datos de 400 Mbit/s son viables dentro de los límites de dfp indicados anteriormente.

5 Protección de las estaciones terrenas del SIE contra las emisiones del servicio fijo

Los ejemplos de características de los sistemas del servicio fijo P-P y P-MP que aparecen en los Cuadros 4a y 4b se han utilizado para determinar las distancias de separación adecuadas a fin de satisfacer los criterios de protección de las estaciones terrenas del SIE basándose en la Recomendación UIT-R SA.609. Esta Recomendación especifica que la interferencia no debe rebasar el valor de -216 dB(W/Hz) durante más del 0,1% del tiempo en misiones no tripuladas. Debido a la velocidad de transmisión de datos relativamente elevada en los enlaces espacio-Tierra, se utilizará una anchura de banda de referencia de 1 MHz. El criterio de nivel de potencia interferente resultante es -156 dB(W/MHz) .

Para evaluar la gama 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 1 MHz más desfavorable de las estaciones transmisoras del servicio fijo relacionadas en los Cuadros 4a y 4b;
- se determina la máxima ganancia de la antena receptora de la estación terrena del SIE en 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 de 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).

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

La 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 referencias, viene dada por:

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

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

siendo:

- dep : dep en la 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).

5.2 Distancias de separación típicas

La mínima atenuación de transmisión básica admisible viene dada por:

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

siendo:

- L_B : mínima atenuación de transmisión básica admisible (dB)
- I_{PC} : 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 (1 MHz)
- $G_T(\theta_{SF})$: 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 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:

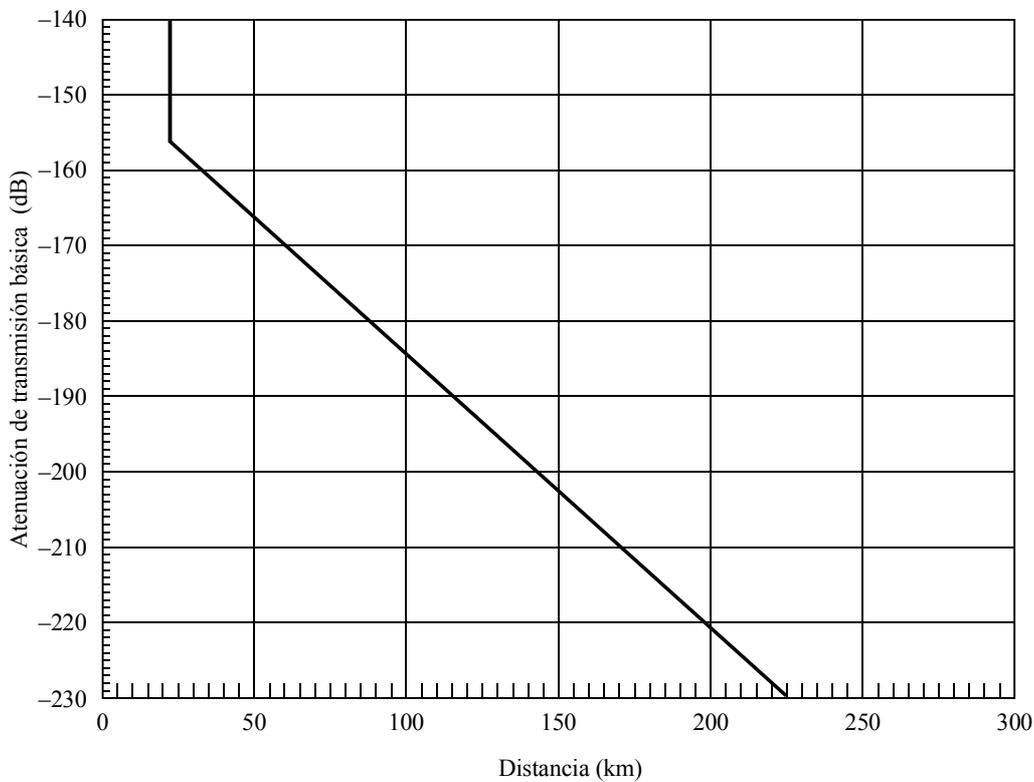
- frecuencia de funcionamiento de 26 GHz;
- propagación sobre tierra lisa en un trayecto continental (zona A2);
- modo de propagación (1), mínima atenuación de transmisión admisible rebasada durante más del 0,1% del tiempo;

- 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 10 m por encima de la superficie terrestre.

La Fig. 1 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.

FIGURA 1

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: $f = 26$ GHz; $h_1 = 10$ m; $h_2 = 10$ m



$f = 26$ GHz
 Altura de la antena transmisora = 10 m
 Altura de la antena receptora = 10 m
 Atenuación de la transmisión no rebasada durante más del 0,1% del tiempo
 Zona climática A2

1625-01

Los cálculos para determinar las distancias de separación desde las estaciones P-P y P-MP se resumen en los Cuadros 5a y 5b. En el Cuadro 5a puede observarse que en las condiciones más favorables, es decir la ganancia de la antena transmisora del servicio fijo es isotrópica en dirección de la estación terrena del SIE, son posibles unas distancias de separación inferiores a 24 km para las estaciones terrenas del SIE. Las distancias de separación aumentan hasta 150 km o menos para las estaciones terrenas del SIE cuando la máxima ganancia de la antena transmisora del servicio fijo se produce en dirección de la estación terrena del SIE.

CUADRO 5a

Distancias de separación típicas entre una estación terrena receptora del SIE y las estaciones transmisoras del servicio fijo P-P, necesarias para satisfacer los criterios de protección de la Recomendación UIT-R SA.609: $f = 26$ GHz; altura de la antena receptora del SIE: 10 m sobre tierra lisa; altura de la antena transmisora del servicio fijo: 10 m sobre tierra lisa

Modulación	MDP-4		MAQ-16		MAQ-16	
Capacidad (Mbit/s)	6		52		156	
Máxima potencia de salida del transmisor (dBW)	-3		-3			
Relación potencia de cresta a potencia media (dB)	0		-3,5			
Reducción de potencia de salida (dB)			-1			
Pérdidas en el alimentador/multiplexor (dB)	0		0			
dep (dB(W/MHz))	-7,8		-18,6		-23,4	
Ganancia de la antena en dirección de la estación terrena del SIE (dB)	0	46	0	46	0	46
Densidad espectral de la p.i.r.e. en dirección de la estación terrena del SIE (dB(W/4 kHz))	-7,8	+38,2	-18,6	+27,4	-23,4	+22,6
Ganancia máxima de la antena de la estación terrena del SIE hacia la estación del servicio fijo (dBi)	+7		+7			
Criterio de protección (dB(W/MHz))	-156					
Mínima atenuación de transmisión básica permisible (dB)	-155,2	-201,2	-144,4	-190,4	-139,6	-185,6
Distancia de separación (km)	24 ⁽¹⁾	150	< 20 ⁽²⁾	120	< 20 ⁽²⁾	100

⁽¹⁾ Esta distancia está ligeramente más allá del alcance de visibilidad directa.

⁽²⁾ Esta distancia está dentro del alcance de visibilidad directa.

En el Cuadro 5b aparecen las distancias de separación asociadas con sistemas del servicio fijo P-MP que en todos los casos son inferiores a 64 km. Puede preverse que las distancias de separación para los sistemas P-P y P-MP disminuirán cuando se tengan en cuenta factores tales como planes de canalización de frecuencias, apantallamiento natural del emplazamiento, eco del terreno y otras características del terreno.

CUADRO 5b

Distancias de separación típicas entre una estación terrena receptora del SIE y las estaciones transmisoras del servicio fijo P-MP, necesarias para satisfacer los criterios de protección de la Recomendación UIT-R SA.609: $f = 26$ GHz; altura de la antena receptora del SIE: 10 m sobre tierra lisa; altura de la antena transmisora del servicio fijo: 10 m sobre tierra lisa

Modulación	MDP-4 Central	MDP-4 Abonado	
Capacidad	1 canal/50 MHz de anchura de banda	20 canales/50 MHz de anchura de banda	
Máxima potencia de salida del transmisor (dBW)	+10	-32,7	
Pérdidas en el alimentador/multiplexor (dB)	0		
dep (dB(W/MHz))	-7,0	-36,7	
Ganancia de antena en dirección de la estación terrena del SIE (dB)	15	0	36
Densidad espectral de p.i.r.e. en dirección de la estación terrena del SIE (dB(W/MHz))	+8,0	-36,7	-0,7
Máxima ganancia de antena de la estación terrena del SIE hacia la estación del servicio fijo (dBi)	+7		
Criterio de protección (dB(W/MHz))	-156		
Mínima atenuación de transmisión básica admisible (dB)	-171	-130,3	-166,3
Distancia de separación (km)	64	< 20 ⁽¹⁾	50

⁽¹⁾ Esta distancia está dentro del alcance de visibilidad directa.

6 Protección del funcionamiento de un SRD frente a las emisiones 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 satélite SRD OSG receptor.

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

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

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 -10,5 dB(W/MHz) 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 -16,5 dB(W/MHz), con arreglo asimismo a las características del ejemplo del Cuadro 3. 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/MHz))
- I_{CP} : criterio de protección del SRD consignado a la Recomendación UIT-R SA.1155 (dB(W/MHz))
- 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/MHz))
- $G_T(\theta_T)$: 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. Los resultados del Cuadro muestran que las emisiones de los satélites OSG y no OSG del SIE apenas tendrán repercusión en los sistemas del SES.

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: $f = 26$ GHz

	Caso 1	Caso 2		Caso 3
dep (dB(W/MHz))	-10,5	-10,5		-16,5
$G_T(\theta_T)$	0	0		0
$G_R(\theta_R)$	0	0	58 ⁽¹⁾	58 ⁽¹⁾
Distancia (km)	6,9	83 360		34,985 ⁽²⁾
Atenuación básica de transmisión (dB)	-137,5	-219,2		-211,6
I_R (dB(W/MHz))	-148	-229,7	-171,7	-170,1
I_{CP} (dB(W/MHz))	-148 ⁽³⁾	-148 ⁽³⁾		-148 ⁽³⁾
Margen (dB)	0	+81,7	+23,7	+22,1

⁽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 extrapolado para una anchura de banda de referencia de 1 MHz.

7 Protección de las estaciones terrenas receptoras del SETS contra las emisiones (espacio-Tierra) de los satélites OSG y no OSG del SIE

Se necesitan más estudios, preferentemente utilizando las técnicas de Monte Carlo, para determinar las características estadísticas de la interferencia causada a las estaciones terrenas receptoras del SETS por las emisiones de los satélites OSG y no OSG del SIE. Cabe prever que la probabilidad de interferencia provocada a una estación terrena del SETS por las emisiones de un satélite no OSG del SIE o un satélite OSG del SIE será muy pequeña por la siguiente razón. Ambos sistemas de satélites del SETS y del SIE utilizarán unas antenas de transmisión de alta ganancia en los satélites y en las estaciones terrenas receptoras para compensar las pérdidas de transmisión básicas que se producen a 26 GHz. En consecuencia, aparecerá interferencia únicamente cuando la discriminación de antena sea pequeña en la antena transmisora del satélite o en la antena receptora de la estación terrena. Se necesita realizar simulaciones de Monte Carlo para determinar las características estadísticas de la interferencia provocada a una estación terrena receptora del SETS.

8 Resumen y conclusiones

Los actuales límites de d_{fp} que aparecen en el Cuadro 21-4 del RR para la banda 25,5-27 GHz deben proteger a los sistemas del servicio fijo P-P y P-MP contra las emisiones en sentido espacio-Tierra de los satélites en órbita baja y OSG dirigidas a las estaciones terrenas receptoras del SIE. En cualquier banda de 1 MHz estos límites son los siguientes:

-115 dB(W/m ²)	para	0° < δ ≤ 5°
-115 + 0,5(δ - 5) dB(W/m ²)	para	5° < δ ≤ 25°
-105 dB(W/m ²)	para	25° < δ ≤ 90°

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 P-P y P-MP con las características que figuran en la Recomendación UIT-R F.758 puede conseguirse con distancias de separación inferiores a 20 km en condiciones favorables. Si las condiciones son menos favorables la protección se logra con distancias de separación de 150 km o menos en el caso de sistemas P-P y de 65 km o menos para sistemas P-MP. Estas distancias se determinaron para el modo (1) de propagación para un trayecto continental de círculo máximo sobre tierra lisa (zona A2). Se prevé que estas distancias de separación puedan disminuir cuando se tengan en cuenta factores tales como los planes de canalización de frecuencias, el apantallamiento natural del emplazamiento, el eco del terreno y otras características del mismo. Sin embargo, cabe señalar que la adición de una atribución al SIE introduciría más limitaciones a la hora de coordinar con sistemas del servicio fijo.

Se ha demostrado que las redes SRD que funcionan en el SES quedarían protegidas contra las emisiones de los satélites de órbita baja y OSG del SIE del ejemplo. Se ha demostrado igualmente que las distancias de separación entre un SRD OSG receptor y un satélite OSG transmisor del SIE podría ser tan sólo de 7 km (equivalente a una separación orbital inferior a 0,01°). Se constató asimismo que existía un margen de protección mínimo de +23,7 dB para el caso cuasiantipodal de las emisiones de satélites OSG del SIE en dirección a un SRD receptor. Se obtuvieron resultados similares para el caso de un satélite en órbita baja del SIE transmitiendo en sentido espacio-Tierra que se encontrase dentro del haz principal de la antena receptora del SRD. En ese caso, el margen de interferencia con respecto al criterio de protección indicado en la Recomendación UIT-R SA.1155 era de +22 dB.

Se necesitan más estudios, preferentemente utilizando técnicas de Monte Carlo, para determinar las características estadísticas de la interferencia causada a las estaciones terrenas receptoras del SETS por las emisiones de los satélites OSG y no OSG del SIE.
