

INFORME UIT-R SM.2091<sup>\*, \*\*</sup>

**Estudios sobre las repercusiones en el servicio de radioastronomía  
de los servicios activos con atribuciones en bandas adyacentes  
o próximas a las del servicio de radioastronomía**

(2007)

## ÍNDICE

	<i>Página</i>
1	Introducción..... 5
2	Metodología..... 5
2.1	Generalidades ..... 5
2.2	Descripción detallada del diagrama de flujo..... 8
3	Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA que funcionan en la banda 150,05-153,0 MHz y sistemas del servicio móvil por satélite (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 137-138 MHz..... 18
3.1	SRA..... 18
3.2	SMS ..... 19
3.3	Umbral de compatibilidad ..... 20
3.4	Evaluación de la interferencia ..... 20
3.5	Técnicas de reducción de la interferencia..... 27
4	Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA que funcionan en la banda 322-328,6 MHz y sistemas del servicio móvil por satélite (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 387-390 MHz ..... 28
4.1	SRA..... 28
4.2	SMS ..... 30
4.3	Umbral de compatibilidad ..... 32
4.4	Evaluación de la interferencia ..... 32
4.5	Técnicas de reducción de la interferencia..... 36

---

\* Siria se reserva el derecho a no aceptar cualesquiera criterios de protección propuestos en este Informe, como resultado de la utilización de bandas de frecuencias atribuidas al SFS, SRNS, SMS y SRS en bandas adyacentes a las del servicio de radioastronomía.

\*\* Las Administraciones Árabes representadas en la AR-03 indicaron que no aceptaban el contenido de la Recomendación UIT-R RA.769, a la que se hace referencia en el presente Informe.

5	Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA que funcionan en la banda 406,1-410 MHz y sistemas del servicio móvil por satélite (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 400,15-401 MHz .....	37
5.1	SRA.....	37
5.2	SMS .....	38
5.3	Umbral de compatibilidad .....	38
5.4	Evaluación de la interferencia .....	39
5.5	Técnicas de reducción de la interferencia.....	46
6	Análisis de compatibilidad entre sistemas SRA que funcionan en la banda 608-614 MHz y sistemas del servicio de radiodifusión por satélite (espacio-Tierra) y que pueden funcionar en la banda 620-790 MHz.....	47
6.1	SRA.....	47
6.2	SRS .....	48
6.3	Umbral de compatibilidad .....	51
6.4	Evaluación de la interferencia .....	51
6.5	Técnicas de reducción de la interferencia.....	54
7	Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA que funcionan en las bandas 1 400-1 427 MHz y 1 610,6-1 613,8 MHz y sistemas del servicio móvil por satélite no OSG (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 1 525-1 559 MHz.....	55
7.1	SRA.....	55
7.2	SMS .....	59
7.3	Umbral de compatibilidad .....	65
7.4	Evaluación de la interferencia .....	65
7.5	Técnicas de reducción de la interferencia para el SRA .....	71
7.6	Resultados de los estudios .....	72
8	Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA que funcionan en la banda 1 400-1 427 MHz y sistemas del SRS (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 1 452-1 492 MHz.....	73
8.1	SRA.....	73
8.2	SRS .....	75
8.3	Umbral de compatibilidad .....	76
8.4	Evaluación de la interferencia .....	76
8.5	Técnicas de reducción de la interferencia.....	79
8.6	Resultados de los estudios .....	80

9	Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA que funcionan en la banda 1 400-1 427 MHz y sistemas móviles por satélite OSG (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 1 525-1 559 MHz .....	80
9.1	SRA.....	80
9.2	Sistemas móviles por satélite.....	83
9.3	Umbral de compatibilidad .....	83
9.4	Evaluación de la interferencia .....	84
9.5	Técnicas de mitigación de la interferencia .....	85
9.6	Resultados de los estudios .....	85
10	Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA que funcionan en la banda 1 610,6-1 613,8 MHz y sistemas del SRNS que funcionan en la banda 1 559-1 610 MHz.....	86
10.1	SRA.....	86
10.2	SRNS .....	88
10.3	Umbral de compatibilidad .....	100
10.4	Evaluación de la interferencia .....	100
10.5	Técnicas de reducción de la interferencia.....	108
10.6	Resultados de los estudios .....	110
11	Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA que funcionan en la banda 1 610,6-1 613,8 MHz y sistemas del SMS (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 1 613,8-1 626,5 MHz .....	110
11.1	SRA.....	110
11.2	SMS .....	112
11.3	Umbral de compatibilidad .....	113
11.4	Evaluación de la interferencia .....	113
11.5	Técnicas de mitigación de la interferencia .....	114
11.6	Resultados de los estudios .....	115
12	Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA que funcionan en la banda 1 610,6-1 613,8 MHz y sistemas OSG del SMS (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 1 525-1 559 MHz .....	115
12.1	SRA.....	115
12.2	SMS .....	118
12.3	Umbral de compatibilidad .....	118
12.4	Evaluación de la interferencia .....	119
12.5	Técnicas de reducción de la interferencia.....	120
12.6	Resultados de los estudios .....	120

13	Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 2 690-2 700 MHz y sistemas de los SRS, y fijo por satélite (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 2 655-2 690 MHz.....	121
13.1	SRA.....	121
13.2	Banda activa.....	123
13.3	Umbral de compatibilidad .....	124
13.4	Evaluación de la interferencia .....	124
13.5	Técnicas de reducción de la interferencia.....	126
13.6	Resultados de los estudios .....	128
14	Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA que funcionan en la banda 10,6-10,7 GHz y sistemas del SFS (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 10,7-10,95 GHz.....	128
14.1	SRA.....	128
14.2	SFS.....	130
14.3	Umbral de compatibilidad .....	131
14.4	Evaluación de la interferencia .....	131
14.5	Técnicas de reducción de la interferencia.....	138
14.6	Resultados de los estudios .....	141
15	Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA que funcionan en la banda 22,21-22,5 GHz y sistemas del SRS (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 21,4-22 GHz.....	142
15.1	Radioastronomía.....	142
15.2	SRS .....	144
15.3	Umbral de compatibilidad .....	145
15.4	Evaluación de la interferencia .....	145
15.5	Métodos de reducción de la interferencia.....	146
15.6	Resultados de los estudios .....	147
16	Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA que funcionan en la banda 42,5-43,5 GHz y sistemas del SFS y del SRS (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 41,5-42,5 GHz .....	147
16.1	SRA.....	147
16.2	SFS y SRS.....	151
16.3	Umbral de compatibilidad .....	153
16.4	Evaluación de la interferencia .....	153
16.5	Técnicas de reducción de la interferencia.....	154
16.6	Resultados de los estudios .....	157

## 1 Introducción

El servicio de radioastronomía (SRA) pasivo está estudiando fenómenos naturales que producen emisiones radioeléctricas a frecuencias determinadas por las leyes de la naturaleza.

Se han efectuado atribuciones a título primario a diversos servicios espaciales en el sentido Tierra-espacio, tales como el servicio fijo por satélite (SFS), el servicio de radionavegación por satélite (SRNS), el servicio móvil por satélite (SMS) y el servicio de radiodifusión por satélite (SRS) en bandas adyacentes o próximas a bandas atribuidas al SRA.

Los estudios contenidos en este Informe técnico proporcionan una metodología y un marco para documentar los resultados de la evaluación de la interferencia entre los servicios activos y el SRA que funcionan en bandas adyacentes y próximas. Dicha metodología está basada en el concepto de densidad de flujo de potencia equivalente (dfpe) para el cálculo de la interferencia resultante de las emisiones no deseadas procedentes de sistemas de satélite no OSG.

El Cuadro 1 que figura a continuación contiene una lista de las bandas que se consideraron en estos estudios, cuyos resultados se exponen en los siguientes puntos del presente Informe.

CUADRO 1

### Lista de las bandas consideradas en los estudios de compatibilidad con el SRA (pasivo)

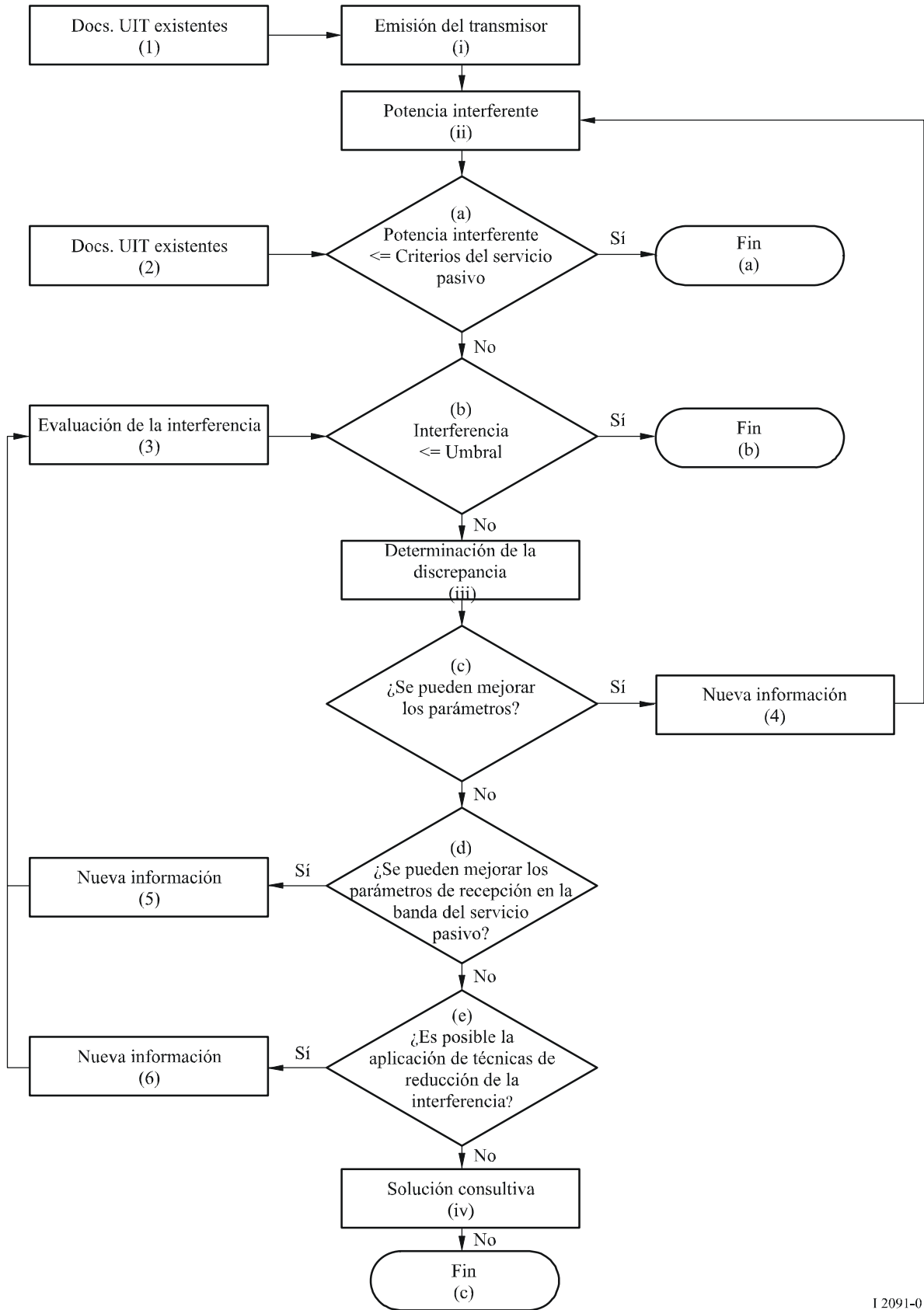
Bandas del SRA	Bandas del servicio activo
150,05-153,0 MHz	137-138 MHz (SMS no OSG) <sub>↓</sub>
322-328,6 MHz	387-390 MHz (SMS) <sub>↓</sub>
406,1-410 MHz	400,15-401 MHz (SMS no OSG) <sub>↓</sub>
608-614 MHz	620-790 MHz (SRS)
1 400-1 427 MHz	1 452-1 492 (SRS)
1 400-1 427 MHz	1 525-1 559 MHz (SMS) <sub>↓</sub>
1 610,6-1 613,8 MHz	1 559-1 610 MHz (SRNS) <sub>↓</sub>
1 610,6-1 613,8 MHz	1 613,8-1 626,5 MHz (SMS) <sub>↓</sub>
1 610,6-1 613,8 MHz	1 525-1 559 MHz (SMS no OSG) <sub>↓</sub>
2 690-2 700 MHz	2 655-2 690 MHz (SRS, SFS) <sub>↓</sub>
10,6-10,7 GHz	10,7-10,95 GHz (SFS) <sub>↓</sub>
22,21-22,5 GHz	21,4-22 GHz (SRS)
42,5-43,5 GHz	41,5-42,5 GHz (SRS, SFS) <sub>↓</sub>

## 2 Metodología

### 2.1 Generalidades

En la siguiente metodología general se define un método sistemático para establecer criterios de compatibilidad mutuamente aceptables entre los operadores de los servicios activos y pasivos que funcionan en las bandas que les han sido atribuidas. En el diagrama de flujo (Fig. 1) se resume la metodología, cuyo detalle particular se describe en el § 2.2. Dado que el procedimiento es iterativo, se podrían necesitar varias etapas para encontrar una solución.

FIGURA 1  
**Proceso para la evaluación de servicios activos y pasivos en bandas adyacentes y cercanas**



El primer paso consiste en determinar los parámetros de transmisión del servicio activo (recuadro (i)). El punto de partida es la hipótesis del caso más desfavorable que se utiliza para determinar si hay posibilidades de interferencia perjudicial a los servicios pasivos por alguno o todos los servicios activos que funcionan en una banda adyacente o próxima. A menudo se puede determinar ese nivel de potencia correspondiente al caso más desfavorable a partir de los límites reglamentarios existentes (recuadro (1)), tales como las  $d_{fp}$  que figuran en el Artículo 21 del Reglamento de Radiocomunicaciones. Así pues, deben imponerse ese tipo de límites reglamentarios a la potencia transmitida por los servicios activos para determinar el nivel de emisiones no deseadas correspondiente al caso más desfavorable en bandas del servicio pasivo (recuadro (ii)).

El paso siguiente consiste en determinar si el nivel de interferencia correspondiente al caso más desfavorable es superior al umbral de interferencia del servicio pasivo para la banda que se considera (rombo (a)). Esos niveles de umbral están consignados en diversas Recomendaciones del UIT-R (recuadro (2)), como por ejemplo las Recomendaciones UIT-R RA.769 o UIT-R RS.1029. Si ese umbral de interferencia es superior al nivel de emisiones no deseadas correspondiente al caso más desfavorable en la banda, entonces no hay efecto adverso en las operaciones del servicio pasivo. En tal caso la metodología sigue la línea «Sí» y el proceso termina. En este punto, como en todos los otros puntos de la metodología, las suposiciones de las que se parte para alcanzar el punto final forman la base técnica para un acuerdo de trabajo compatible entre los servicios activos y pasivos de que se trata. El modo según el cual se utilizan esas suposiciones técnicas y las conclusiones resultantes es un ejercicio reglamentario que está más allá del alcance técnico de la presente Recomendación. No obstante, en el caso del rombo (a), si se determina que la interferencia es superior a los criterios del servicio pasivo, entonces es necesario seguir la rama «No» hacia el rombo (b). En la primera iteración no se dispone de nueva información, de modo que el trayecto continúa hasta el recuadro (iii). En las iteraciones posteriores, el umbral del rombo (b) puede ser diferente de los criterios del servicio pasivo utilizados en el rombo (a), como consecuencia de la modificación o incorporación de parámetros y la compartición de cargas. Esos parámetros modificados o adicionales pueden tener su origen en los rombos (c), (d) o (e). El rombo (b) permite seguir evaluando si se ha logrado la compatibilidad.

En caso afirmativo, el proceso continúa a lo largo de la rama «Sí» y el procedimiento termina. En caso negativo, es necesario evaluar la discrepancia, y por lo tanto al llegar a los rombos (c), (d) o (e), se deben considerar las siguientes alternativas:

- mejorar los parámetros de emisión del servicio activo, tales como los parámetros reales del sistema, la potencia primaria disponible, etc. y/o;
- mejorar los parámetros de recepción en la banda del servicio pasivo, y/o;
- elaborar nuevas técnicas de reducción de la interferencia para los servicios activos y pasivos, que pueden incluir las alternativas (a) y (b).

Cuando durante la estimación de discrepancias, como se indica en el recuadro (iii), se determina que la divergencia entre los dos niveles es amplia, es evidente entonces que las hipótesis utilizadas en la primera iteración son insuficientes para resolver el problema y se deberán formular hipótesis más detalladas acerca de las características y operaciones de ambos servicios. Sin embargo, si la divergencia es pequeña, puede ser posible modificar ligeramente una de las hipótesis fundamentales de modo tal de convergir a una solución en la iteración siguiente. Un examen de los datos disponibles puede indicar qué hipótesis adicionales serían convenientes.

Con este criterio, se puede considerar la modificación, en iteraciones sucesivas, de uno o más parámetros del servicio activo, parámetros del servicio pasivo, los criterios de compatibilidad o los métodos de reducción de interferencia posibles, pues será necesario efectuar muchas iteraciones para lograr el objetivo o haber agotado todas las soluciones posibles. Si todas las soluciones han sido planteadas y ninguna operación compatible parece posible, el método finaliza entonces con una «solución consultiva». Esto implica que la única solución posible es que para un sistema activo

específico se debe consultar con un operador de sistema de servicio pasivo específico, a fin de obtener una solución particular, si esto fuera posible. Los detalles de esta solución consultiva están fuera del alcance de esta Recomendación.

Esta metodología sólo trata la posible interferencia producida por un servicio activo que funciona en su banda atribuida. Teniendo en cuenta que el servicio de exploración de la Tierra por satélite (pasivo) puede recibir interferencia simultánea de múltiples servicios, podría ser necesario efectuar otro estudio para determinar los efectos combinados de los múltiples servicios activos.

## **2.2 Descripción detallada del diagrama de flujo**

### **2.2.1 Recuadro (1): Documentos de la UIT existentes**

Este recuadro se refiere a los documentos que pueden ser pertinentes para determinar las señales emitidas. Los artículos del RR y las Recomendaciones e Informes del UIT-R siguientes son pertinentes para determinar la potencia del transmisor que puede interferir a bandas del servicio pasivo, y se proporcionan como referencia. Esta reglamentación y las Recomendaciones se deben utilizar como punto inicial en la evaluación de posibles emisiones no deseadas del servicio activo en bandas del servicio pasivo.

#### **Reglamento de Radiocomunicaciones**

Artículos 1, 5, 21, 22, Apéndice 3.

#### **Recomendaciones UIT-R**

- UIT-R F.758: Consideraciones relativas a la elaboración de criterios para la compartición entre el servicio fijo terrenal y otros servicios.
- UIT-R F.1191: Anchuras de banda y emisiones no deseadas de sistemas de relevadores radioeléctricos digitales.
- UIT-R SM.326: Determinación y medición de la potencia de modulación de amplitud de los transmisores radioeléctricos.
- UIT-R SM.328: Espectro y anchura de banda de las emisiones.
- UIT-R SM.329: Emisiones no esenciales.
- UIT-R SM.1446: Definición y medición de los productos de intermodulación en transmisores que utilizan técnicas de modulación de frecuencia, de fase o compleja.
- UIT-R SM.1539: Variación del límite entre el dominio fuera de banda y el dominio de emisiones no esenciales requeridas para la aplicación de las Recomendaciones del UIT-R SM.1541 y UIT-R SM.329.
- UIT-R SM.1540: Emisiones no deseadas en el dominio fuera de banda que caen en bandas adyacentes atribuidas.
- UIT-R SM.1541: Emisiones no deseadas en el dominio fuera de banda.

Además de estas Recomendaciones puede ser necesario obtener otros datos, como por ejemplo:

- el ciclo de trabajo de los sistemas;
- la distribución geográfica y densidades de los emisores que incluyen densidades de emplazamientos;
- la orientación o exploración de antena para la radiodeterminación de sistemas o de transmisiones en el sentido Tierra-espacio;
- la cobertura de haz para transmisiones en el sentido espacio-Tierra;



- las máscaras espectrales pertinentes; y
- los diagramas de antena.

Pueden no estar disponibles todos los datos enumerados anteriormente y para algunos parámetros puede ser necesario formular hipótesis. Otra información, tal como el emplazamiento de emisores puede requerir la formulación de modelos.

### 2.2.2 Recuadro (2): Documentos de la UIT existentes

Este recuadro se refiere a los documentos pertinentes para la selección de los criterios del servicio pasivo apropiados para la protección de la interferencia. Los diversos criterios del servicio pasivo, cada uno de ellos elaborado por el Grupo de Trabajo responsable de los respectivos servicios pasivos, sirven como entrada al rombo (a) del diagrama de flujo. Estas Recomendaciones han sido elaboradas con especial dedicación para asistir a otros Grupos de Trabajo que se ocupan de los servicios activos en evaluar la posibilidad de interferencia de sus respectivos servicios a los servicios pasivos. La lista de Recomendaciones que se ha de considerar es la siguiente:

#### Recomendaciones UIT-R

- UIT-R RA.769: Criterios de protección para las mediciones radioastronómicas.
- UIT-R RA.1513: Niveles de la pérdida de datos en las observaciones de la radioastronomía y criterios sobre el porcentaje de tiempo como resultado de la degradación causada por la interferencia en las bandas de frecuencias atribuidas a título primario al servicio de radioastronomía.
- UIT-R SA.1028: Criterios de calidad para la teledetección pasiva por satélite.
- UIT-R SA.1029: Criterios de interferencia para la teledetección pasiva por satélite.

### 2.2.3 Recuadro (3): Evaluación de la interferencia

La función de este recuadro es la de permitir que el servicio pasivo genere un nuevo criterio de compartición basado en la información proporcionada en los recuadros (5) y (6). Como ejemplo, se podrían suponer niveles de lóbulo lateral menores que el valor de ganancia de antena percibida de 0 dBi que generalmente se estima para el SRA. Si éste fuera el caso, se efectuaría el proceso de nuevo cálculo de los criterios de compartición en el recuadro (3).

Para evaluar la interferencia de sistemas del SFS no-OSG a estaciones del SRA, se debe utilizar la metodología que figura en la Recomendación UIT-R S.1586. Asimismo, para evaluar la interferencia de los sistemas del SMS y del RNSS a estaciones del SRA, se debe utilizar la metodología que figura en la Recomendación UIT-R M.1583.

### 2.2.4 Recuadros (4), (5) y (6): Nueva información

La función de estos recuadros es dar cabida a nueva información introducida en el estudio de compartición mientras sigue el curso de las múltiples iteraciones. Un ejemplo de esta situación sería la utilización de la información del Apéndice 4 del RR presentada a la Oficina de Radiocomunicaciones en el recuadro (4) para justificar el uso de una densidad de flujo de potencia en banda menor que el valor reglamentario. Otra información puede ser la referida a filtros o antenas en cualquiera de los recuadros (4), (5) y (6) que introduce el proceso a fin de lograr el objetivo. La nueva información puede consistir también en documentos adicionales no considerados previamente, tales como Recomendaciones del UIT-R específicas, Recomendaciones regionales o Normas regionales. Los ejemplos para los recuadros correspondientes son los siguientes:

#### Recuadro (4)

En frecuencias elevadas, los diagramas de antena transmisora pueden tener una anchura de banda considerablemente más estrecha a fin de maximizar la potencia en una zona de servicio limitada de

modo de incrementar el caudal y superar los efectos atmosféricos. Como resultado, la mayor parte de la superficie de la Tierra puede recibir un nivel de densidad de flujo de potencia (dfp) de la emisión no deseada que está muy por debajo del nivel perjudicial del servicio pasivo. En lugar de tener el nivel aplicable en toda la superficie de la Tierra, puede ser posible reducir el nivel en una fracción de la misma. Como resultado, la probabilidad que una estación del SRA reciba interferencia perniciosa de una dirección específica se hace muy pequeña.

En la banda 40,0-42,5 GHz, la Recomendación UIT-R S.1557 «Características operacionales y características de operación mínimas de los sistemas del SFS que funcionan en las bandas 50/40 GHz para utilización en los estudios de compartición entre el servicio fijo por satélite y servicios terrenales» contiene parámetros que pueden ser utilizados para estudios pertinentes a esta banda.

### Recuadro (5)

Se podrían utilizar características tales como diagramas de antena receptora en una determinada banda para reducir la diferencia entre el nivel de interferencia perjudicial del servicio pasivo y el nivel de la emisión no deseada recibido.

### Recuadro (6)

Muchos métodos para reducir la interferencia que pueden minimizar la repercusión del servicio activo sobre el servicio pasivo se enumeran en la Recomendación UIT-R SM.1542. En cualquier caso específico, sólo los métodos de reducción de interferencia enumerados en estudio. En la aplicación de algunos métodos de reducción de interferencia, puede ser necesario determinar cómo se puede dividir la carga resultante de su aplicación.

## 2.2.5 Recuadro (i): Emisión del transmisor

El propósito de este recuadro es establecer la densidad de potencia en banda del transmisor en la conexión de antena.

### 2.2.5.1 Caso general

Por lo general, el valor se puede hallar mediante la siguiente expresión:

$$P_{densidad} = p.i.r.e.densidad - G_t \quad (1)$$

donde:

- $P_{densidad}$ : densidad de potencia transmitida en la antena de transmisión (dBW/Hz)
- $p.i.r.e.densidad$ : densidad de la p.i.r.e. transmitida (dBW/Hz)
- $G_t$ : ganancia de la antena transmisora (dBi).

La densidad de la potencia transmitida se puede calcular también con la siguiente expresión:

$$P_{densidad} = 10\log(p_t) - OBO - 10\log(BW_{nb}) - L_c \quad (2)$$

donde:

- $p_t$ : máxima potencia nominal del amplificador de transmisión (W)
- $OBO$ : reducción de la potencia de salida (dB)
- $BW_{nb}$ : anchura de banda necesaria (Hz)
- $L_c$ : pérdida del circuito entre el amplificador de transmisión y la antena transmisora (dB).

En la ecuación (2) se supone que la densidad de potencia transmisora está distribuida uniformemente sobre la anchura de banda necesaria. Si esta hipótesis es errónea, se puede introducir una corrección para modificar apropiadamente la anchura de banda.

### 2.2.5.2 Nivel de potencia transmitido del satélite dentro de la banda conforme al Cuadro 21-4 del RR

Para calcular la densidad de potencia transmitida conforme a los límites de densidad de flujo de potencia, se tiene:

$$P_{densidad} = dfp + 10 \log(4\pi d^2) - G_t + L_c \quad (3)$$

donde:

- $dfp$ : densidad de flujo de potencia del enlace descendente (dB(W/(m<sup>2</sup>/MHz)))
- $d$ : trayecto oblicuo, del satélite a la estación terrena (km)
- $G_t$ : ganancia de la antena transmisora (dBi)
- $L_c$ : pérdida del circuito entre el amplificador de transmisión y la antena transmisora (dB)

Si se utilizan estos valores, se tendrá como resultado el nivel de emisión más elevado posible que, en muchos casos, es irreal. Esto se debe a que no se tienen en cuenta factores tales como el régimen de caída real de la antena transmisora y las formas de onda espectrales. Al efectuar estos cálculos se debe considerar que la ganancia de la antena transmisora depende de cada sistema y de sus aplicaciones. Generalmente, la ganancia de la antena transmisora del satélite varía de la siguiente manera:

- para sistemas del SMS no-OSG la ganancia varía en una gama de 17 dBi a 31 dBi en función de la altitud del satélite y de los ángulos de elevación;
- para sistemas del SMS OSG la ganancia varía en la gama de 41 dBi a 45 dBi;
- para la ganancia de antena del satélite del SFS de los enlaces 4/6 GHz y 12/14 GHz existentes, la ganancia varía en la gama de 20 dBi a 42 dBi. No obstante, la ganancia de antena de los sistemas de satélite futuros de 4/6 GHz y 12/14 GHz pueden ser considerablemente más elevados que los de los sistemas existentes; y
- para sistemas de satélite del SFS en las bandas 20/30 GHz y 40/50 GHz, la ganancia de la antena transmisora de satélite está comprendida en una gama de 44 dBi a 60 dBi.

### 2.2.5.3 Densidad de potencia basada en la potencia de RF total de la estación espacial

El cálculo de la densidad de la p.i.r.e. de transmisión depende de la potencia de RF de transmisión total del satélite, de las pérdidas de los circuitos entre un amplificador de potencia de transmisión y una antena transmisora, de la ganancia de la antena transmisora, del diagrama de reutilización de frecuencias, la anchura de banda asignada, la cantidad de haces, etc. La densidad media de la p.i.r.e. transmitida se puede calcular con la siguiente expresión:

$$P_{densidad} = 10 \log(P_{total}) - 10 \log(N_{haz}) - 10 \log\left(\frac{BW_{as}}{N_{frec}}\right) - OBO \quad (4)$$

donde:

- $P_{total}$ : potencia de transmisión de RF total (W)
- $N_{haz}$ : cantidad de haces

- $BW_{as}$ : anchura de banda asignada (Hz)  
 Por ejemplo: 500 MHz para la banda 4/6 GHz; 1 000 MHz para la banda 12/14 GHz, etc.
- $N_{frec}$ : diagrama de reutilización de frecuencia
- $OBO$ : reducción de la potencia de salida (dB)

#### 2.2.5.4 Densidad de potencia basada en las notificaciones de redes de satélite de la UIT

La densidad de potencia transmitida de satélite se puede obtener directamente de las notificaciones que figuran en el Apéndice 4 del RR.

#### 2.2.6 Recuadro (ii): Potencia interferente

El objetivo de este paso es calcular el nivel de la emisión no deseada recibida por el servicio pasivo basada en la densidad de flujo de potencia dentro de la banda determinada en el recuadro (i). La forma de calcularla variará de acuerdo con las características del servicio de transmisión y las características del servicio pasivo que recibe la interferencia. La posible interferencia al servicio pasivo debido a las emisiones no deseadas de los sistemas de servicios activos se puede calcular de la siguiente manera:

$$dfp_{(emisiones\ no\ deseadas)} = dfp_{activo\ en\ banda} - OoB - L \quad (5)$$

donde:

$dfp_{(emisiones\ no\ deseadas)}$ : nivel de densidad de flujo de potencia en los puntos de recepción del SRA

$dfp_{activo\ en\ banda}$ : niveles de densidad de flujo de potencia dentro de la banda de los sistemas de servicio activo. Los límites de densidad de flujo de potencia máximos admisibles figuran en el Cuadro 21-4 del RR se pueden utilizar en este cálculo. En algunos casos, no hay límites de densidad de flujo de potencia del enlace descendente, y se pueden utilizar los límites de densidad de flujo de potencia del enlace descendente máximos del sistema activo

$OoB$ : máscara de rechazo fuera de banda (por ejemplo, basada en la Recomendación UIT-R SM.1541

$L$ : atenuación debida a gases atmosféricos y pérdidas de centelleo (Recomendación UIT-R P.676 «Atenuación por gases atmosféricos».

En el número 1.153 del RR y en la Recomendación UIT-R SM.1541 se indican métodos para determinar las emisiones de los servicios activos dentro del dominio fuera de banda. Cuando se aplica la Recomendación UIT-R SM.1541, el alcance del dominio fuera de banda se determina mediante la aplicación de la Recomendación UIT-R SM.1539. La Recomendación UIT-R SM.329 se utiliza para calcular niveles de emisiones no deseadas procedentes de servicios activos que se producen en el dominio de las emisiones no esenciales.

##### 2.2.6.1 Receptor del servicio de exploración de la Tierra por satélite

El SETS es vulnerable a las interferencias procedentes de transmisores terrenales, incluidos transmisores de alto nivel y emisiones combinadas de transmisores de bajo nivel de potencia densamente instalados. Los transmisores a bordo de un vehículo espacial pueden agregar la energía recibida por el sensor a través de reflexiones fuera de la Tierra en el haz principal de la antena, o directamente a través de la parte lateral o posterior de la antena.

Los elementos que son necesarios para evaluar la potencia resultante de sistemas activos en un receptor del SETS, incluyen:

- la ganancia del sistema del SETS;
- las características de puntería del sistema del SETS;
- la altitud del SETS; y
- la absorción atmosférica.

#### **2.2.6.1.1 Densidad geográfica del transmisor**

Los sistemas instalados en la superficie de la Tierra son esencialmente estacionarios durante el periodo de medición del sensor. La posible interferencia aumenta cuando en el haz principal de la antena del sensor aparecen diversos transmisores. La información requerida para la evaluación de la potencia recibida de sistemas activos emplazados dentro de la célula de medida (píxel) del SETS, es la siguiente:

- el tamaño del píxel del SETS;
- el número de terminales desplegados en la célula de medida que utilizan la misma frecuencia al mismo tiempo;
- la ganancia aproximada de los sistemas terrenales en la dirección del satélite del SETS. La Recomendación UIT-R F.1245 proporciona el diagrama de antena para sistemas punto a punto del servicio fijo y la Recomendación UIT-R F.1336 proporciona diagramas de radiación de referencia para sistemas punto a multipunto. Teniendo en cuenta que los terminales del SF están orientados en dirección cercana al horizonte, la probabilidad de tener un sistema del SF orientado directamente dentro del haz principal de una antena de satélite del SETS es muy baja. Como medida tentativa, la ganancia media de los sistemas del SF en la dirección del satélite del SETS que ha de ser utilizado en el cálculo de la potencia combinada recibida en dicho satélite se puede estimar fijando para cada uno de los terminales del SF una ganancia que es la calculada para un ángulo de 90° con respecto al eje.

En el caso de sistemas del SF, se deben considerar los siguientes parámetros:

- la disposición de los canales (si lo hubiera) como medida preliminar (examinar los canales «más cercanos» a la banda del SETS);
- la Recomendación UIT-R F.1191 establece que «para los sistemas digitales del SF, se debe considerar que la anchura de banda necesaria tiene el mismo valor que la anchura de banda ocupada» y que la potencia del SF fuera de la anchura de banda ocupada (inferior y superior) no debe superar el 0,5% de la potencia media total de la emisión dada (número 1.153 del RR). Los valores de potencia media total figuran en la Recomendación UIT-R F.758.

#### **2.2.6.1.2 Transmisor orientado hacia sensores**

En algunos casos, un transmisor podría interferir las mediciones cuando el sensor se encuentra dentro del lóbulo principal de la estación terrenal. La información requerida para la evaluación de la potencia recibida del sistema activo es la siguiente:

- la ganancia del transmisor en la dirección del SETS; y
- el trayecto del enlace.

### 2.2.6.1.3 Enlaces descendentes del satélite

En algunos casos, es posible tener interferencia de señales reflejadas fuera de la superficie de la Tierra que pudieran ingresar en el haz principal de la estación espacial. La información requerida para la evaluación de la potencia recibida del sistema activo es la siguiente:

- el coeficiente de reflexión del terreno o masa de agua;
- la ganancia del sistema espacial en dirección de la Tierra;
- la altitud del sistema espacial o la dfp en la Tierra.

### 2.2.6.2 Receptor del servicio de radioastronomía

#### 2.2.6.2.1 Emisiones no deseadas del servicio fijo

El servicio de radioastronomía puede tener interferencia procedente de estaciones en plataformas a gran altitud (HAPS, *high altitude platform station*). Ninguna otra cuestión relacionada con fuentes de interferencia terrenales en las bandas de radioastronomía ha sido identificada en la Recomendación UIT-R SM.1542.

#### 2.2.6.2.2 Emisiones no deseadas de los sistemas espaciales

La potencia interferente que incide en estaciones del SRA puede tener origen en enlaces descendentes de servicios OSG (órbita de los satélites geoestacionarios) o no OSG (órbita de los satélites no geoestacionarios). En el primer caso la interferencia no variará, por lo general, en ubicación o tiempo. En el segundo caso, la potencia interferente variará tanto en el tiempo como en su ubicación en el cielo. Por lo tanto, estas dos interferencias se han de tratar separadamente.

##### 2.2.6.2.2.1 Emisiones no deseadas de sistemas de satélite OSG (enlace descendente)

El nivel de las emisiones no deseadas se puede evaluar de la siguiente manera:

$$dfp_{emisión\ no\ deseada} = \int_{f_1}^{f_2} \frac{p(f) \cdot g(f)}{SL \cdot ATM(f)} df \quad (6)$$

donde:

- $dfp_{emisión\ no\ deseada}$ : dfp en la estación del SRA ( $W/m^2$ )
- $f_1, f_2$ : extremo inferior y superior, respectivamente, de la banda de recepción del SRA (Hz)
- $p(f)$ : potencia de emisión no deseada en el colector de la antena transmisora (W)
- $g(f)$ : ganancia de la antena transmisora en la dirección del sitio de radioastronomía
- $SL$ : pérdida geométrica (dB)
- $ATM(f)$ : absorción atmosférica en la banda  $f_1 - f_2$  en función de la frecuencia.

Se debe señalar que la potencia de la señal transmitida así como la ganancia del subsistema de antena varían con la frecuencia y, como tal, se representan en función de la frecuencia. La interferencia total en el emplazamiento de la estación del SRA es la integral de esas funciones como se indica en la expresión sobre la frecuencia de la banda de paso del receptor. En los casos donde el nivel de la emisión no deseada y la ganancia de antena son constantes en toda la anchura de banda del receptor del servicio pasivo, la función se puede simplificar de la siguiente manera:

$$dfp_{emisión\ no\ deseada} = \frac{P \cdot g}{SL \cdot ATM} (f_2 - f_1) \quad (7)$$

En los casos en que la banda activa es adyacente a la banda pasiva, se puede suponer que la ganancia de la antena transmisora permanece constante en la banda de transmisión y en la banda del servicio pasivo. Sin embargo, a menudo éste no es el caso, particularmente cuando la banda del servicio pasivo está por debajo de la frecuencia de corte de la red de alimentación del guía ondas en el subsistema de antena.

#### **2.2.6.2.2.2 Emisiones no deseadas de sistemas de satélite no OSG (enlace descendente)**

Para calcular la interferencia procedente de sistemas del SFS no OSG a estaciones en el SRA, se debe utilizar el método que figura en la Recomendación UIT-R S.1586. Asimismo, para evaluar la interferencia de sistemas de del SMS y del RNSS no OSG a estaciones del SRA, se debe utilizar el método indicado en la Recomendación UIT-R M.1583.

#### **2.2.7 Recuadro (iii): Determinación de la discrepancia**

El objetivo de este recuadro es proporcionar una revisión de los datos de entrada y la discrepancia antes de continuar con otra iteración de la metodología. Si se ha llegado a este recuadro, la interferencia recibida es mayor que el umbral, lo cual implica que se han de efectuar modificaciones en la siguiente iteración para compensar la diferencia entre los dos valores.

En las primeras iteraciones a través del bucle, se debe tratar de mejorar la exactitud de la determinación de la interferencia en el servicio pasivo. Como los estudios preliminares de compartición comprenden hipótesis aproximadas de ambos sistemas, es necesario que éstos sean perfeccionados de modo tal de evaluar adecuadamente la posible interferencia. Las metodologías de cálculo y las descripciones más detalladas del sistema pueden requerir un mayor grado de complejidad de cómputo, pero a su término puede revelar que la interferencia potencial sea significativamente menor que las hipótesis aproximadas habían indicado.

Una vez que se considera que el estudio es suficientemente preciso pero aun existen diferencias de valores, será necesario que una o ambas partes acepten restricciones a fin de solucionar el problema. Estas restricciones pueden tomar la forma de restricciones operacionales, modificaciones de las características del equipo o una modificación en los criterios de compartición.

Una vez que en este recuadro se hayan identificado los puntos de cambios posibles en el próximo paso, el recuadro de decisión apropiada efectuará el cambio y conducirá a una nueva evaluación de la interferencia.

#### **2.2.8 Recuadro (iv): Solución consultiva**

Después de varias iteraciones de la metodología, aun pueden existir diferencias entre el servicio activo y el servicio pasivo. Si no se pueden efectuar otras modificaciones en cualquiera de los parámetros del sistema, criterios o métodos de mitigación de la interferencia, no habrá entonces solución general que permita a todos los usuarios de la banda activa compartir con todos los usuarios del servicio pasivo. La única solución restante que puede ser explorada es que los usuarios de subconjuntos de bandas activa y pasiva puedan entablar tratativas y obtener un posible acuerdo entre ellos. Por ejemplo, entre dos bandas adyacentes puede no ser posible encontrar una solución entre el SFS y el SRA. No obstante, puede ser posible una solución entre el SFS no OSG y el SRA.

La metodología indicada en la Fig. 1 puede ser útil para llevar a cabo las tratativas entre subconjuntos de operadores que comparten la banda.

Sin embargo, si los grupos consultivos más pequeños no pueden obtener un acuerdo, la metodología llega a su fin sin haber obtenido la solución. El mejoramiento resultante de las iteraciones de la metodología puede ser útil para solucionar el problema y proponer futuras esferas de estudio. Puede servir también como base de múltiples soluciones entre las cuales los órganos de reglamentación pueden seleccionar.

### **2.2.9 Rombo (a): Potencia interferente $\leq$ criterios del servicio pasivo**

La potencia interferente determinada en el recuadro (ii) se compara con los criterios de protección del servicio pasivo apropiados del recuadro (2). Si la interferencia es mayor que el nivel perjudicial, la metodología continua hasta el rombo de decisión (b). Este método finaliza si la interferencia es menor o igual que el criterio.

### **2.2.10 Rombo (b): Potencia interferente $\leq$ umbral**

En las últimas iteraciones el umbral en el rombo (b) puede indicar que es posible la disposición de operación que proporciona protección adecuada para el servicio pasivo mientras que se minimizan las restricciones sobre el servicio activo. Los parámetros utilizados pueden surgir de los procedimientos en los rombos (c), (d) o (e). La carga que surge de este acuerdo podría ser distribuida equitativamente entre los dos servicios. En el caso de servicios activos de interferencias múltiples, el procedimiento de iteración debe continuar para cada uno de los servicios, produciendo diferentes acuerdos de operación posibles para cada uno. El principio rector es que la carga total sobre todas las partes que participan no debe hacer que ninguna de esas partes sea incapaz de operar eficazmente.

### **2.2.11 Rombo (c): ¿Se pueden mejorar los parámetros de emisión?**

Siguiendo el análisis indicado en el recuadro (iii), puede ser posible modificar los parámetros de emisión del servicio activo. Por ejemplo, los límites reglamentarios utilizados como límites inferiores que son más representativos que el actual pueden reemplazar las hipótesis del caso más desfavorable para futuros sistemas planificados. Estas hipótesis modificadas pueden entonces tenerse en cuenta en iteraciones subsiguientes.

### **2.2.12 Rombo (d): ¿Se pueden mejorar los parámetros de recepción en la banda del servicio pasivo?**

Siguiendo el análisis efectuado en el recuadro (iii), puede ser posible modificar los parámetros de recepción del servicio pasivo. Por ejemplo, se pueden utilizar diagramas de antenas reales en lugar de diagramas más conservadores. Estas hipótesis modificadas se pueden tomar en cuenta en iteraciones subsiguientes.

### **2.2.13 Rombo (e): ¿Es posible la aplicación de técnicas de reducción de la interferencia?**

Una vez que los parámetros de los servicios activos y pasivos ya no se pueden mejorar y existe aun una diferencia entre el valor umbral de la compartición y la magnitud de la interferencia, los métodos de mitigación se pueden considerar como un medio para reducir esa diferencia. En esta sección se incluyen tres métodos probables, si bien existen otros adicionales (por ejemplo la lista del Anexo 3 de la Recomendación UIT-R SM.1542).

#### **2.2.13.1 Sistema activo**

##### **2.2.13.1.1 Filtrado por el sistema activo**

Un método de protección adecuada de los servicios pasivos es la introducción de filtrado adicional en la cadena de RF del transmisor para reducir el nivel de emisiones no deseadas. En algunos casos esto puede representar una carga mínima pues la arquitectura del transmisor permite la inserción de un filtro o la mejora de un filtro existente. Sin embargo, en algunos casos, la aplicación de filtros puede estar afectada por consideraciones de costo, peso y/o reducción de la capacidad.

##### **2.2.13.1.2 Utilización de una banda de guarda**

Un método para reducir el nivel de la emisión no deseada de un servicio activo en una banda de un servicio pasivo es la introducción de una banda de guarda. La banda de guarda permite reducir la



potencia interferente recibida por el operador del servicio pasivo. Si bien esto puede ser efectivo cuando ambos sistemas comparten bandas adyacentes, puede tener poco valor cuando la separación entre las bandas es amplia, pues la anchura de banda adicional puede no proporcionar una mejora sustancial en la atenuación del filtro. Asimismo, la inserción de una banda de guarda reduce la anchura de banda disponible para uno o ambos servicios.

Para evaluar el efecto de una banda de guarda se deben realizar los siguientes cálculos. La potencia interferente (en vatios) recibida por el servicio pasivo es la siguiente:

$$I = \int_{f_1}^{f_2} \frac{p(f) \cdot g_1(f) \cdot g_2(f) \cdot |h(f)|^2}{FSL \cdot ATM(f)} df \quad (8)$$

donde:

- $I$ : potencia interferente recibida por el servicio pasivo dentro de su anchura de banda de recepción (W)
- $f_1, f_2$ : extremo inferior y superior, respectivamente, de la banda de recepción del servicio pasivo (Hz)
- $p(f)$ : densidad de potencia de la emisión no deseada en función de la frecuencia en el conector de la antena de transmisión (W/Hz)
- $g_1(f)$ : ganancia de la antena de transmisión en función de la frecuencia en la dirección de la antena del servicio pasivo
- $g_2(f)$ : ganancia de la antena del servicio pasivo en función de la frecuencia en la dirección de la antena de transmisión
- $FSL$ : pérdida en el espacio libre
- $ATM(f)$ : absorción atmosférica en la banda en función de la frecuencia
- $h(f)$ : funciones de transferencia de los filtros del receptor del servicio pasivo.

La utilización de una banda de guarda implica el desplazamiento de las curvas del receptor y del transmisor. Como resultado del desplazamiento de frecuencia algunas de las curvas pueden variar su configuración para dar cabida a la anchura de banda disponible.

### 2.2.13.1.3 Utilización de la separación geográfica

Otro método para evitar la interferencia perjudicial es asegurarse que la estación del servicio pasivo con base en Tierra está suficientemente alejada del eje de puntería del transmisor del servicio activo. Si las estaciones del servicio pasivo con base en Tierra están ubicadas en sitios alejados de la zona de servicio de la estación espacial la interferencia se reduce entonces al mínimo. Asimismo, si las estaciones del servicio pasivo con base en Tierra son escasas y se conocen los lugares de emplazamiento, será posible que el diseñador de la estación espacial fije la posición de los haces para evitar las estaciones del servicio pasivo con base en Tierra.

### 2.2.13.2 Sistema pasivo

Véase la Recomendación UIT-R SM.1542.

### 2.2.14 Casillas finales (a), (b), (c)

*Final (a)*: La metodología que finaliza en este punto ha determinado que se ha obtenido compatibilidad entre los parámetros iniciales de servicio pasivo y los parámetros iniciales o mejorados del servicio activo. Un resultado posible en este punto es que no sea necesario efectuar modificaciones y que los parámetros iniciales analizados representen los sistemas compatibles.

*Final (b):* La metodología que finaliza en este punto ha determinado que es posible la compatibilidad entre los parámetros iniciales o mejorados del servicio pasivo y los parámetros iniciales o mejorados del servicio activo o por la consideración de otras técnicas de reducción de la interferencia.

*Final (c):* La metodología que finaliza en este punto ha determinado que no es posible obtener compatibilidad con los parámetros iniciales o mejorados de cada servicio. Por consiguiente, es necesario que las administraciones que patrocinan sistemas específicos celebren negociaciones relativas a dichos sistemas.

### **3 Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA que funcionan en la banda 150,05-153,0 MHz y sistemas del servicio móvil por satélite (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 137-138 MHz**

#### **3.1 SRA**

##### **3.1.1 Banda atribuida**

La banda 150,05-153,0 MHz está atribuida a título primario al servicio fijo, al servicio móvil (salvo móvil aeronáutico) y al SRA en la Región 1. Esta banda también está atribuida al servicio de radioastronomía a título primario en Australia y en India, a tenor de lo dispuesto en el número 5.225 del RR.

En el número 5.149 del RR se insta a las administraciones a adoptar todas las medidas posibles para proteger al SRA contra la interferencia perjudicial.

##### **3.1.2 Tipo de observaciones**

Esta banda se utiliza para observaciones (de banda ancha) del continuum.

Se trata de una banda necesaria con el fin de garantizar la correspondiente cobertura de espectro para las observaciones del continuum de fuentes radiocósmicas. Habida cuenta de la separación de una octava necesaria para esta cobertura, ésta se halla exactamente entre las bandas 73-74,6 MHz y 322-328,6 MHz, las cuales también se utilizan con esa finalidad en el servicio de radioastronomía. Esta banda también se utiliza para observaciones solares y observaciones de las rápidas emisiones periódicas de los púlsares.

##### **3.1.3 Criterios de protección requeridos**

En la Recomendación UIT-R RA.769 están consignados los niveles umbral de interferencia causada a las observaciones de radioastronomía.

Se trata de los niveles de umbral por encima de los cuales los datos radioastronómicos se degradan y pueden llegar a destruirse. En principio, en circunstancias más bien ideales, si esos niveles se rebasan ligeramente se puede efectuar una compensación en el observatorio de radioastronomía mediante un aumento del tiempo de observación. Al hacerlo se reduce la capacidad de canal del telescopio, con una correspondiente reducción del caudal científico. Si conforme a las suposiciones de la Recomendación UIT-R RA.769 (por ejemplo, calidad de funcionamiento de la antena, etc.), el nivel de interferencia aumenta 10 dB o más por encima del nivel estipulado en dicha Recomendación, el aumento del tiempo de observación ya no bastará para garantizar que se proporcionan datos científicos válidos. En tal caso, la estación de radioastronomía no estará en condiciones de funcionar en la banda de frecuencia afectada y perderá su capacidad de proporcionar servicios a menos que se apliquen las técnicas adecuadas de reducción de la interferencia.

Para las observaciones del continuum, por lo general se utiliza la totalidad de los 2,95 MHz de ancho de la banda 150,05-153,0 MHz. El umbral de la d<sub>fp</sub> para la interferencia perjudicial a las observaciones de una sola antena es de  $-194 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ .

### 3.1.4 Características de funcionamiento

En general las observaciones se efectúan de diferente manera. En el caso de las observaciones del continuum, la zona del cielo que rodea a la fuente radiocósmica se puede cartografiar, y se pueden sustraer las emisiones de fondo, o bien se pueden realizar mediciones de la potencia procedente de la dirección de la fuente (dentro de la fuente) y en una o más ubicaciones cercanas en el cielo (fuera de la fuente). Al sustraer los valores fuera de la fuente de los valores dentro de la fuente, se separa la emisión originada en la fuente de las otras emisiones que contribuyen a la salida del receptor.

## 3.2 SMS

### 3.2.1 Banda de transmisión atribuida

Las bandas 137-137,025 MHz y 137,175-137,825 MHz están atribuidas al SMS (espacio-Tierra) a título primario en todas las regiones. Las bandas 137,025-137,175 MHz y 137,825-138 MHz están atribuidas al SMS a título secundario en todas las regiones.

Al SMS en esta banda se aplican las disposiciones de los números 5.208A y 5.209 del RR.

En el número 5.208A del RR se estipula que: «Al efectuar las asignaciones a las estaciones espaciales del servicio móvil por satélite en las bandas 137-138 MHz, 387-390 MHz y 400,15-401 MHz, las administraciones adoptarán todas las medidas posibles para proteger el servicio de radioastronomía en las bandas 150,05-153 MHz, 322-328,6 MHz, 406,1-410 MHz y 608-614 MHz de la interferencia perjudicial producida por las emisiones no deseadas. Los niveles umbral de interferencia perjudicial para el servicio de radioastronomía, se muestran, en el Cuadro 1 de la Recomendación UIT-R RA.769-1. (CMR-97)»

En el número 5.209 del RR se estipula que: «La utilización de las bandas 137-138 MHz, 148-150,05 MHz, 399,9-400,05 MHz, 400,15-401 MHz, 454-456 MHz y 459-460 MHz por el servicio móvil por satélite está limitada a los sistemas de satélites no geoestacionarios. (CMR-97)»

### 3.2.2 Aplicación

Los sistemas del SMS no OSG por debajo de 1 GHz son capaces de transmitir paquetes digitales de datos a velocidades de datos bajas (2,8 a 19,2 kbit/s). Estos sistemas proporcionan comunicaciones de datos inalámbricas de alta calidad. Las frecuencias bajas (por debajo de 1 GHz) y la órbita terrestre baja dan lugar a satélites y estaciones terrenas pequeños de baja potencia, que por consiguiente, tienen costes de implementación reducidos. Las redes están diseñadas para poder proporcionar cobertura a todo el mundo o la mayor parte del mismo (algunos sistemas no ofrecen cobertura total de las zonas polares). Por lo general, estos sistemas del SMS funcionan en modo de tiempo casi real cuando el mismo satélite cubre tanto la estación del usuario como la estación del enlace de conexión. No obstante, los sistemas también pueden funcionar en modo de almacenamiento y retransmisión cuando las estaciones del usuario y del enlace de conexión no se hallan dentro de la misma huella de satélite, por ejemplo cuando un usuario está ubicado en una zona oceánica abierta. En este modo, los sistemas funcionan con un retardo temporal que puede variar desde segundos hasta horas, dependiendo del paso del próximo satélite por una estación de enlace de conexión.

### 3.2.3 Niveles basados en las disposiciones reglamentarias

No se aplican al SMS límites estrictos en esta banda.

### 3.2.4 Características de funcionamiento

En la Recomendación UIT-R M.1184 se describen las características técnicas y operacionales de cuatro sistemas del SMS no OSG que se utilizan o se prevé utilizar en la banda para enlaces descendentes de pasarela o servicio. Se trata de los sistemas L, M, P y Q. Las características orbitales del sistema Q real son diferentes de las que se indican en dicha Recomendación. En el Cuadro 2 que figura a continuación se consignan sus características reales, junto con las de los sistemas L, M y P.

CUADRO 2

#### Parámetros orbitales de las redes del SMS no OSG por debajo de 1 GHz

Sistema	L	M			P	Q	
Número de satélites	48				6	26	
Altitud (km)	950	825		775	893	1 000	
Inclinación (grados)	50	45	0	70, 108	99	66	83
Planos orbitales	8	3	1	2	2	4	2
Satélite/plano	6	8			3	6	1
Ascensión recta del nodo ascendente (grados)	0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315	0, 120, 240	0	0, 180	9,8	0, 90, 180, 270	0, 90
Potencia de emisión del enlace descendente (W)	25	18,2			1	32	
p.i.r.e. del enlace descendente (dBW)	19,7	13,6			3,8	17,8	
Anchura de banda necesaria (kHz)	25	25			855	25	
dfp en la banda del SMS (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-111	-115			-126	-113	

### 3.3 Umbral de compatibilidad

En el caso de las constelaciones no OSG, podría obtenerse un nivel umbral de dfpe de -238 (dB(W/m<sup>2</sup>)) para la banda 150,05-153 MHz a partir del nivel umbral de dfp para la interferencia perjudicial a las observaciones de radioastronomía consignado en la Recomendación UIT-R RA.769 y la ganancia máxima de la antena de radioastronomía estipulada en la Recomendación UIT-R RA.1631, que es de 44 dB para esta banda de frecuencias.

### 3.4 Evaluación de la interferencia

#### 3.4.1 Metodología utilizada para evaluar el nivel de interferencia

En la Recomendación UIT-R M.1583 se describe una metodología para evaluar los niveles de emisiones no deseadas producidos por un sistema no OSG en emplazamientos de radioastronomía.

Dicho método está basado en una división del cielo en células de ángulo sólido casi igual y en un análisis estadístico donde la dirección de puntería de la antena del SRA y el instante de inicio de la constelación de satélites son las variables aleatorias. Al realizar cada prueba, el nivel de las emisiones no deseadas (expresado en términos de  $dfpe$ ) se promedia a lo largo de un periodo de 2 000 s.

Las características elegidas del SRA corresponden al radiotelescopio Effelsberg de Alemania, que puede efectuar observaciones en la banda considerada con un diámetro de antena de 100 m y una máxima ganancia de 44 dBi aproximadamente. La máxima ganancia y el diagrama de la antena son los que figuran en la Recomendación UIT-R RA.1631.

Las coordenadas geográficas de la estación Effelsberg son:

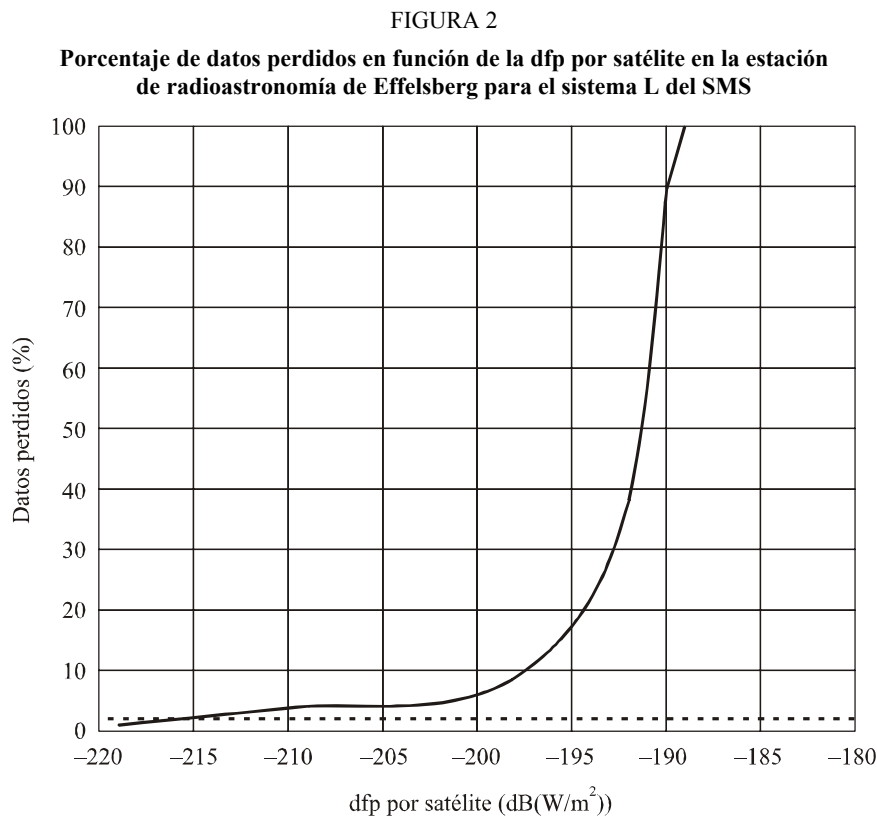
Latitud: 50,7° N    Longitud: 7,0° E

Con el fin de obtener resultados totalmente generales, las simulaciones se efectuaron considerando un ángulo de elevación de la antena del SRA de 0°.

### 3.4.2 Cálculo de nivel de interferencia

#### 3.4.2.1 Sistema L del SMS

En la Fig. 2 se ilustra el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el nivel umbral de  $dfpe$  en la estación de radioastronomía, para un valor determinado de  $dfp$  por satélite del SMS (según se explica en la Recomendación UIT-R RA.1513, rebasar este umbral equivale a una pérdida de datos).



Para respetar el nivel umbral de dfpe durante más del 98% del tiempo en promedio en todo el cielo, cada uno de los satélites del sistema L del SMS debe generar un valor de dfp inferior a  $-216 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en la banda de radioastronomía.

En la Fig. 3 se ilustra el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el umbral de dfpe para cada célula del cielo y para la dfp (por satélite) de  $-216 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ .

En las Figs. 3, 5, 7 y 9, el acimut de  $0^\circ$  es el Norte verdadero, y aumenta desde Oeste a Este.

### 3.4.2.2 Sistema M del SMS

En la Fig. 4 se ilustra el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el nivel umbral de dfpe en la estación de radioastronomía, para un valor de dfp determinado por satélite del SMS.

Para respetar el nivel umbral de dfpe durante más del 98% del tiempo en promedio a lo largo de todo el cielo, cada uno de los satélites del sistema M del SMS debe generar un valor de dfp inferior a  $-212 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en la banda de radioastronomía.

En la Fig. 5 se muestra el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el umbral de dfpe para cada una de las células del cielo y para la dfp (por satélite) de  $-212 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ .

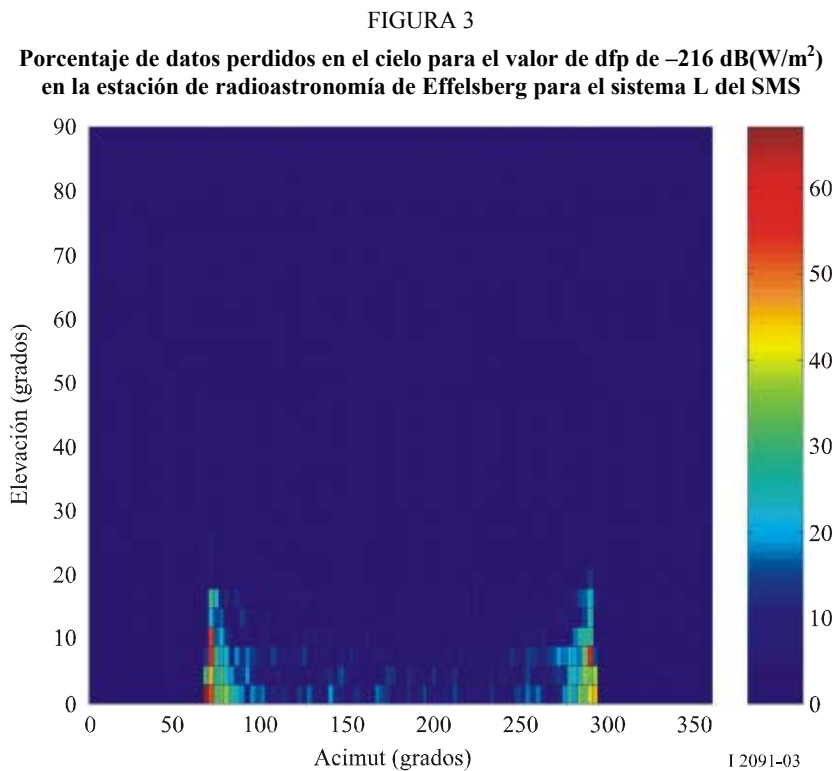
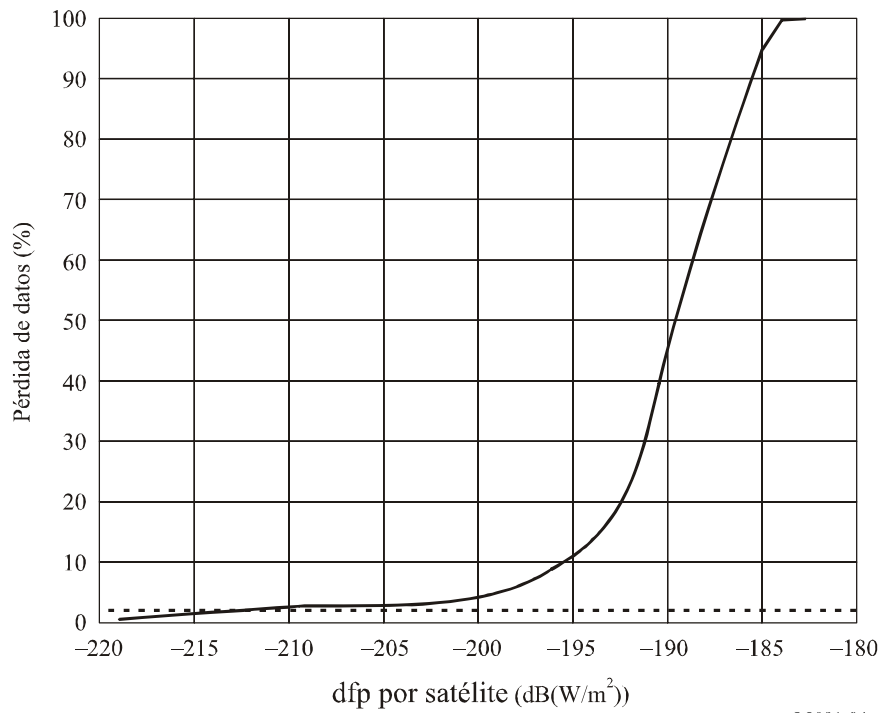


FIGURA 4

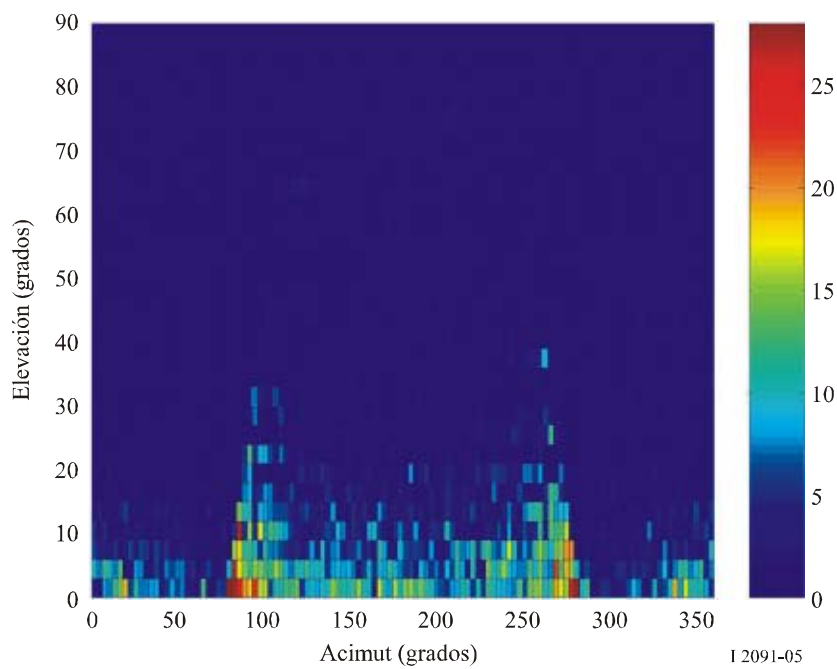
**Porcentaje de pérdida de datos frente a la dfp por satélite en una estación de radioastronomía Effelsberg para el sistema M del SMS**



I 2091-04

FIGURA 5

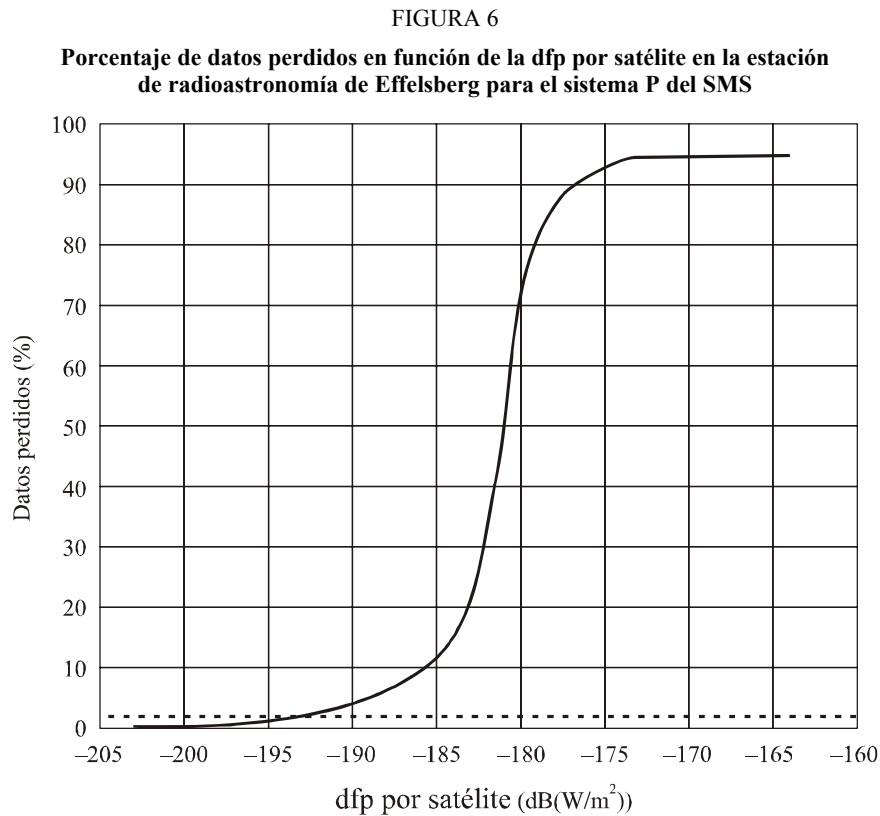
**Porcentaje de datos perdidos en el cielo para el valor de dfp de  $-212 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en la estación de radioastronomía de Effelsberg para el sistema M del SMS**



I 2091-05

### 3.4.2.3 Sistema P del SMS

En la Fig. 6 se ilustra el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el nivel umbral de dfpe en la estación de radioastronomía para un valor dado de dfp por satélite del SMS.



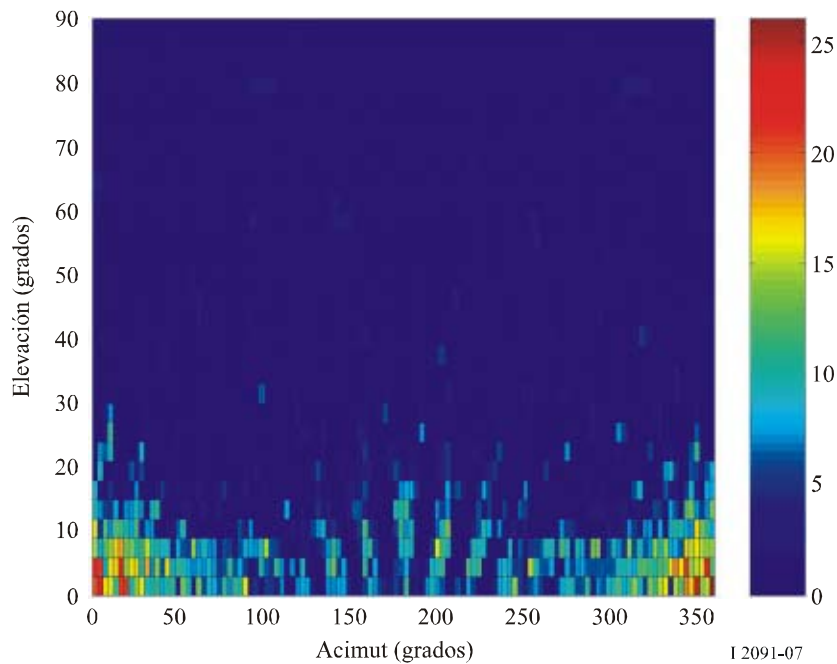
Con el fin de respetar el nivel de umbral de dfpe durante más del 98% del tiempo en promedio en todo el cielo, cada uno de los satélites del sistema P del SMS debe generar una dfp inferior a  $-193 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en la banda de radioastronomía.

En la Fig. 7 se ilustra el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el umbral de dfpe en cada una de las células del cielo y para la dfp (por satélite) de  $-193 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ .



FIGURA 7

Porcentaje de datos perdidos en el cielo para el valor de  $dfp$  de  $-193 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en la estación de radioastronomía de Effelsberg para el sistema P del SMS



#### 3.4.2.4 Sistema Q del SMS

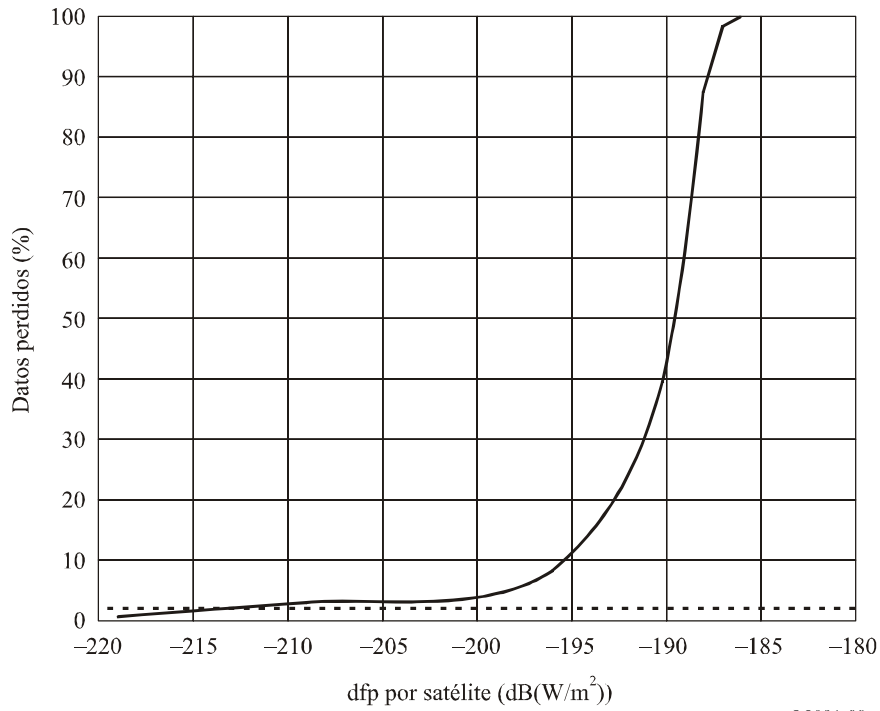
En la Fig. 8 se ilustra el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el nivel umbral de  $dfpe$  en la estación de radioastronomía para un valor dado de  $dfp$  por satélite del SMS.

Con el fin de respetar el nivel umbral de  $dfpe$  durante más del 98% del tiempo en promedio en el cielo, cada uno de los satélites del sistema Q del SMS debe generar un valor la  $dfp$  inferior a  $-212 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en la banda de radioastronomía.

En la Fig. 9 se ilustra el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el umbral de  $dfpe$  para cada célula del cielo y para la  $dfp$  (por satélite) de  $-212 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ .

FIGURA 8

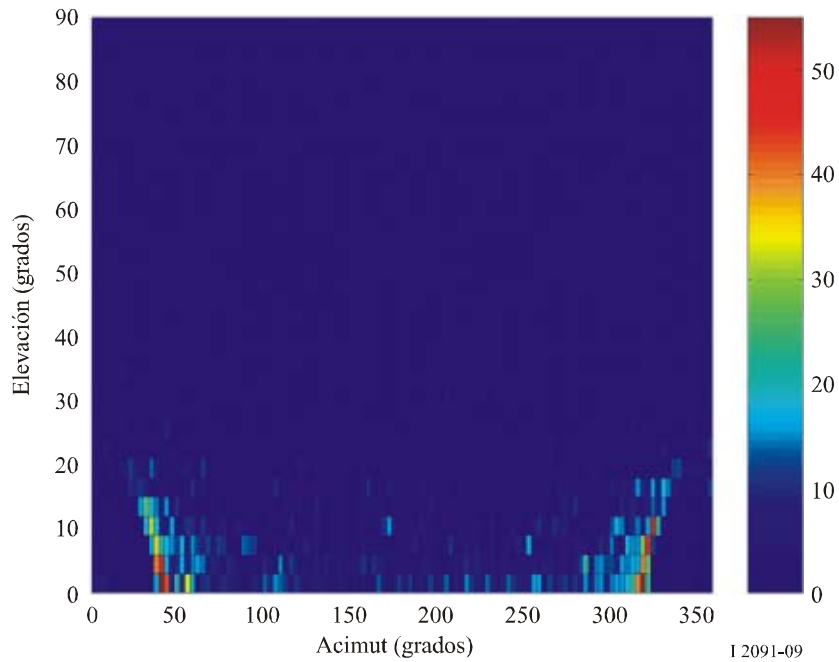
Porcentaje de datos perdidos en función de la dfp por satélite en la estación de radioastronomía de Effelsberg para el sistema Q del SMS



I 2091-08

FIGURA 9

Porcentaje de datos perdidos en el cielo para el valor de dfp de -212 dB(W/m<sup>2</sup>) en la estación de radioastronomía de Effelsberg para el sistema Q del SMS



I 2091-09

### 3.4.3 Valores obtenidos

Las emisiones no deseadas de los satélites del SMS no OSG que utilizan la banda 137-138 MHz, que está comprendida en la banda 150,05-153 MHz del SRA, caen en el dominio no esencial.

En el Cuadro 3 se ilustra la atenuación necesaria para que no se rebase el umbral de dfpe perjudicial para cada uno de los cuatro sistemas del SMS no OSG por debajo de 1 GHz.

CUADRO 3

**Atenuación necesaria en las redes del SMS no OSG por debajo de 1 GHz para alcanzar el nivel de dfpe perjudicial**

Sistema	L	M	P	Q
Potencia de la emisión en la banda del SMS (W)	25	18,2	1	32
dfp en la banda del SMS (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-111	-115	-126	-113
43 + 10 × log (P)	57	56	43	58
Atenuación no esencial del Apéndice 3 (dBc en 4 kHz)	57	56	43	58
Nivel no esencial del Apéndice 3 (dB(W en 4 kHz))	-43	-43	-43	-43
Nivel no esencial en la banda del SRA (dBW)	-14,3	-14,3	-14,3	-14,3
dfp no esencial en la banda del SRA (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-139	-142	-140,3	-143
dfp requerida en la banda pasiva (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-216	-212	-193	-213
Atenuación necesaria (dB)	77	70	52,7	70

Cabe señalar que para calcular el volumen total de las emisiones no esenciales en la banda del SRA se consideró que dichas emisiones no esenciales tenían un nivel constante a lo largo de toda la banda del SRA. Esta suposición es muy estricta y evidentemente no es realista, ya que por lo general las emisiones no esenciales surgen a algunas frecuencias discretas. Por lo tanto, es necesario proseguir los trabajos al respecto teniendo en cuenta la componente discreta de las emisiones no esenciales, con el fin de obtener unos niveles más realistas de emisiones no deseadas del SMS en la banda del SRA.

## 3.5 Técnicas de reducción de la interferencia

### 3.5.1 SRA

Existen varios métodos, incluidos los que se describen más abajo, que se podrían considerar para reducir las emisiones no deseadas provenientes de los transmisores de satélite en un radiotelescopio.

*Característica del lóbulo lateral de la antena:* La iluminación de la abertura de los radiotelescopios se optimiza generalmente para la relación  $G/T$ , es decir la ganancia del telescopio dividida por la temperatura de ruido del sistema. Esto se efectúa para maximizar la relación  $S/N$  para fuentes puntuales. Un factor fundamental de este método es reducir la radiación terrestre que se introduce en los lóbulos laterales lejanos. Inevitablemente esto supone un aumento correspondiente en los niveles de los lóbulos laterales cercanos. La experiencia ha demostrado que la máscara de la envolvente de los lóbulos laterales que figura en la Recomendación UIT-R SA.509 se cumple para la mayoría de los radiotelescopios en casi todas las direcciones.

*Supresión en tiempo y/o frecuencia:* Esta técnica se puede aplicar en algunos casos en que la interferencia a la banda de frecuencias de radioastronomía se puede identificar plenamente y sin equívocos en tiempo y/o frecuencia.

### 3.5.2 Posibles repercusiones en el SRA

*Característica del lóbulo lateral de la antena:* Los intentos para reducir la sensibilidad de la antena de radioastronomía a emisiones no deseadas que proceden de estaciones espaciales aumentará probablemente la sensibilidad del telescopio de radioastronomía a las radiaciones terrestres, y disminuirá posiblemente su ganancia de haz principal. Ambos efectos reducirán la capacidad de canal del telescopio y producirá así un aumento del tiempo de integración requerido total.

*Supresión en tiempo y/o frecuencia:* El bloqueo implica el riesgo de comprometer la integridad de los datos que puede conducir a errores en sus interpretaciones científicas. La supresión también produce un incremento concomitante en el tiempo de integración total requerido para efectuar la observación, esto es equivalente a una pérdida de la capacidad de canal del telescopio.

## 4 Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA que funcionan en la banda 322-328,6 MHz y sistemas del servicio móvil por satélite (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 387-390 MHz

### 4.1 SRA

#### 4.1.1 Banda atribuida

La banda 322-328,6 MHz está atribuida a título primario al servicio fijo, el servicio móvil (salvo móvil aeronáutico) y el servicio de radioastronomía.

En el número 5.149 del RR se insta a las administraciones a adoptar todas las medidas viables para proteger al servicio de radioastronomía contra la interferencia perjudicial.

#### 4.1.2 Tipo de observaciones

Esta banda se utiliza para observaciones (en banda ancha) del continuum y de la raya espectral (banda estrecha), tanto con antena de parábola única como en modo de interferometría con línea de base muy larga (VLBI).

Es necesario garantizar la cobertura de espectro necesaria para las observaciones del continuum de las fuentes radiocósmicas. Habida cuenta de la separación de una octava requerida para esta cobertura, ésta cae entre las bandas de 150,5-153 MHz y 608-614 MHz, las cuales también utiliza el SRA con esa finalidad.

La banda contiene una importante raya espectral atómica: la raya de estructura hiperfina de deuterio a 327,4 MHz, que ha sido detectada recientemente (mayo de 2005). La relativa abundancia de deuterio en comparación con hidrógeno guarda una relación directa con los problemas del origen del universo y la síntesis de los elementos. La determinación de su abundancia o del límite superior más bajo de ese valor contribuirá a definir la teoría cosmológica.

Esta banda también se utiliza para observaciones de emisiones muy desplazadas hacia el rojo de la raya espectral 1 420,4 MHz del hidrógeno neutro atómico (HI). Esta raya espectral es la más comúnmente observada en galaxias cercanas. Las observaciones efectuadas en la gama espectral 322-328,6 MHz permiten investigar la era de formación de las galaxias y las estructuras en gran escala del Universo, y por lo tanto contribuirán a definir la teoría cosmológica.

#### 4.1.3 Criterios de protección requeridos

Los niveles umbral para la interferencia perjudicial a las observaciones radioastronómicas están consignados en la Recomendación UIT-R RA.769. Se trata de niveles de umbral por encima de los cuales los datos radioastronómicos se degradan y, en algunos casos, se pueden destruir.

En principio, en circunstancias más bien ideales, si dichos niveles se rebasan muy ligeramente será posible compensarlos en el observatorio de radioastronomía aumentando el tiempo de observación. En tal caso la capacidad del canal del telescopio disminuye, con la correspondiente reducción del caudal científico. Pero si el nivel de interferencia, con arreglo a las suposiciones de la Recomendación UIT-R RA.769 (por ejemplo, característica de la antena, etc.) llega a ser 10 dB o más por encima del nivel de umbral perjudicial estipulado, el aumento del tiempo de observación ya no bastará para asegurar que se pueden obtener datos científicos válidos. Entonces la estación de radioastronomía no podrá funcionar en la banda de frecuencias afectada y si no se aplican técnicas adecuadas para reducir la interferencia, perderá su capacidad de proporcionar servicios.

La banda 322-328,6 MHz se utiliza tanto para observaciones del continuum como para observaciones de la raya espectral. Para las observaciones del continuum con antenas de parábola única se utiliza la totalidad de la anchura de la banda de 6,6 MHz, en cuyo caso el umbral de dfp umbral para la interferencia perjudicial es de  $-189 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ . Para las observaciones de la raya espectral con antenas de parábola única, el umbral de dfp para la interferencia perjudicial es de  $-204 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en una anchura de banda de 10 kHz. Las observaciones de VLBI, conforme a las cuales las señales procedentes de antenas muy distantes se registran y correlacionan después de efectuar las observaciones, son mucho menos susceptibles a la interferencia. Esto se refleja en el nivel de la dfp umbral, que para las observaciones VLBI en esta banda es de  $-147 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  para la totalidad de la anchura de banda de 6,6 MHz.

#### 4.1.4 Características de funcionamiento

En general las observaciones se efectúan de diferente manera.

En el caso de las observaciones del continuum, la zona del cielo que rodea a la fuente radiocósmica se puede cartografiar, y se pueden sustraer las emisiones de fondo, o bien se pueden realizar mediciones de la potencia procedente de la dirección de la fuente (dentro de la fuente) y en una o más ubicaciones cercanas en el cielo (fuera de la fuente). Al sustraer los valores fuera de la fuente de los valores dentro de la fuente, se separa la emisión originada en la fuente de las otras emisiones que contribuyen a la salida del receptor.

En el caso de las observaciones de la raya espectral, el espectro se registra en gamas de frecuencias que incluyen las emisiones de rayas espectrales de interés (el espectro de rayas) y después en una frecuencia que está desplazada con respecto a las emisiones de rayas o en la misma frecuencia pero en una ubicación próxima en el cielo (el espectro de referencia). Al sustraer el espectro de referencia del espectro de rayas, se pueden suprimir de los datos las contribuciones de ruidos no deseados y demás contaminantes.

Las observaciones de la raya espectral se efectúan utilizando espectrómetros de múltiples canales que pueden integrar simultáneamente la potencia en numerosos canales de frecuencias (por lo general hasta 8 192) distribuidos a lo largo de la banda. El número de canales y sus particulares anchuras de banda se eligen para dar una muestra adecuada del espectro de la emisión neta desde el o los objetos cósmicos en el haz de la antena.

Las observaciones VLBI se efectúan mediante una conversión con reducción de frecuencia de las señales a una banda base, digitalizándolas sin rectificación y registrándolas en cintas magnéticas o en otro medio de almacenamiento, junto con señales precisas de temporización. Posteriormente, los datos se transfieren a un centro de procesamiento de datos VLBI, en el cual las señales se sincronizan y correlacionan. Por consiguiente, puede que no se conozcan todas las repercusiones de la interferencia mientras no haya transcurrido el periodo de observación y se hayan procesado los datos.

## 4.2 SMS

### 4.2.1 Banda de transmisión atribuida

La banda 387-390 MHz está atribuida al servicio móvil por satélite (espacio-Tierra) a título secundario en todas las regiones.

En esta banda se aplica al SMS lo dispuesto en los números 5.208A y 5.255 del RR.

En el número 5.208A del RR se estipula que: «Al efectuar las asignaciones a las estaciones espaciales del servicio móvil por satélite en las bandas 137-138 MHz, 387-390 MHz y 400,15-401 MHz, las administraciones adoptarán todas las medidas posibles para proteger el servicio de radioastronomía en las bandas 150,05-153 MHz, 322-328,6 MHz, 406,1-410 MHz y 608-614 MHz de la interferencia perjudicial producida por las emisiones no deseadas. Los niveles umbral de interferencia perjudicial para el servicio de radioastronomía, se muestran, en el Cuadro 1 de la Recomendación UIT-R RA.769-1. (CMR-97)».

En el número 5.255 se estipula que: «Las bandas 312-315 MHz (Tierra-espacio) y 387-390 MHz (espacio-Tierra) del servicio móvil por satélite podrán también ser utilizadas por los sistemas de satélites no geoestacionarios. Esta utilización está sujeta a la coordinación a tenor del número 9.11A.»

### 4.2.2 Aplicación

Los sistemas del SMS no OSG que funcionan por debajo de 1 GHz están diseñados para facilitar las comunicaciones y transmisiones digitales.

### 4.2.3 Niveles basados en las disposiciones reglamentarias

En esta banda no se le aplican límites estrictos al SMS.

### 4.2.4 Características de funcionamiento

#### 4.2.4.1 Sistemas del SMS no OSG

Ninguna Recomendación del UIT-R, incluida la Recomendación UIT-R M.1184, contiene información alguna sobre los sistemas del SMS que utilizan la banda 387-390 MHz.

En el Registro Internacional de Frecuencias de la UIT (MIFR) se identifica al sistema ruso GONETS. En el Cuadro 4 se ilustran las características del sistema SMS utilizado en el análisis.

Para atenuar las emisiones no esenciales en la banda 322-328,6 MHz, se instalan en los satélites del sistema GONETS-M filtros especiales que proporcionan una atenuación de 50 dB.

**CUADRO 4**  
**Características de los satélites del sistema GONETS-M**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Tipo de órbita	Circular
Altitud (km)	1 500
Inclinación (grados)	82,5
Número de satélites en el plano	8
Número de planos orbitales	6
Separación entre satélites en el plano (grados)	22,5
Separación de los planos (grados)	60
Banda de frecuencias activa (MHz)	387-390
Máxima densidad de potencia espectral (dB(W/Hz))	-32,3
Potencia de las emisiones en la banda 322-328,6 MHz (dB(W/6,6 MHz))	-34,8
Densidad espectral de potencia en un segmento de 10 kHz de la banda 322-328,6 MHz (dB(W/10 kHz))	-63
Atenuación del filtro (dB)	50
Máxima ganancia de la antena del satélite de transmisión (dB)	3
Diagrama de la antena transmisora	ND

#### 4.2.4.2 Caso de los OSG

En el MIFR figuran algunos satélites del SMS OSG, que se enumeran en el Cuadro 5, cuyos parámetros técnicos se desconocen.

**CUADRO 5**  
**Satélites registrados en el MIFR en la banda activa 387-390 MHz**

<b>Administración</b>	<b>Nombre del satélite</b>
AUS	ADF/ADF West
F	SYRACUSE-4
G	SKYNET-5
RUS	VOLNA

Por consiguiente, para la evaluación de la interferencia se consideró un satélite OSG típico a una longitud de 0°.

### 4.3 Umbral de compatibilidad

#### 4.3.1 Sistemas no OSG

En el caso de las constelaciones no OSG, se puede calcular un nivel umbral de dfpe de  $-240$  (dB(W/m<sup>2</sup>)) para las observaciones del continuum en la banda 322-328,6 MHz a partir del nivel umbral de dfp para la interferencia perjudicial a las observaciones de radioastronomía consignado en la Recomendación UIT-R RA.769 y la máxima ganancia de la antena de radioastronomía estipulada en la Recomendación UIT-R RA.1631, que en esta banda de frecuencias es de 51 dBi. Para las observaciones de la raya espectral el correspondiente nivel umbral de dfpe es  $-255$  (dB(W/m<sup>2</sup>)) en una banda de 10 kHz.

#### 4.3.2 Sistemas OSG

En la Recomendación UIT-R RA.769 se indican los niveles umbral para la interferencia perjudicial a las observaciones radioastronómicas del continuum (banda ancha), los cuales se reproducen en el Cuadro 6.

CUADRO 6

#### Criterios de protección de la radioastronomía

Banda activa (MHz)	Servicio activo	Banda pasiva (MHz)	Máxima potencia (RA.769) (dBW)	dfp (RA.769) (dB(W/m <sup>2</sup> ))	dfp espectral (RA.769) (dB(W/(m <sup>2</sup> · Hz)))
387-390	SMS	322-328,6	-201	-189	-258

### 4.4 Evaluación de la interferencia

#### 4.4.1 Caso de los no OSG

##### 4.4.1.1 Método utilizado para evaluar el nivel de interferencia

En la Recomendación UIT-R M.1583 se describe un método para evaluar los niveles de emisiones no deseadas producidas por un sistema no OSG en emplazamientos de radioastronomía. Dicho método se basa en una división del cielo en células de dimensiones casi iguales y en un análisis estadístico en el que la dirección de puntería de la antena de SRA y el tiempo de iniciación de la constelación de satélites son las variables aleatorias. Para cada una de las pruebas se promedia el nivel de emisiones no deseadas (expresado en términos de dfpe) a lo largo de un periodo de 2 000 s.

La estación SRA elegida tiene un diámetro de antena de 100 m y una máxima ganancia de 51 dBi. El diagrama de antena y la máxima ganancia de la antena son las que figuran en la Recomendación UIT-R RA.1631, y ésta se encuentra ubicada en la zona media de Francia.

Para obtener resultados totalmente generales, las simulaciones se efectuaron considerando un mínimo ángulo de elevación de la antena del SRA de 0°.

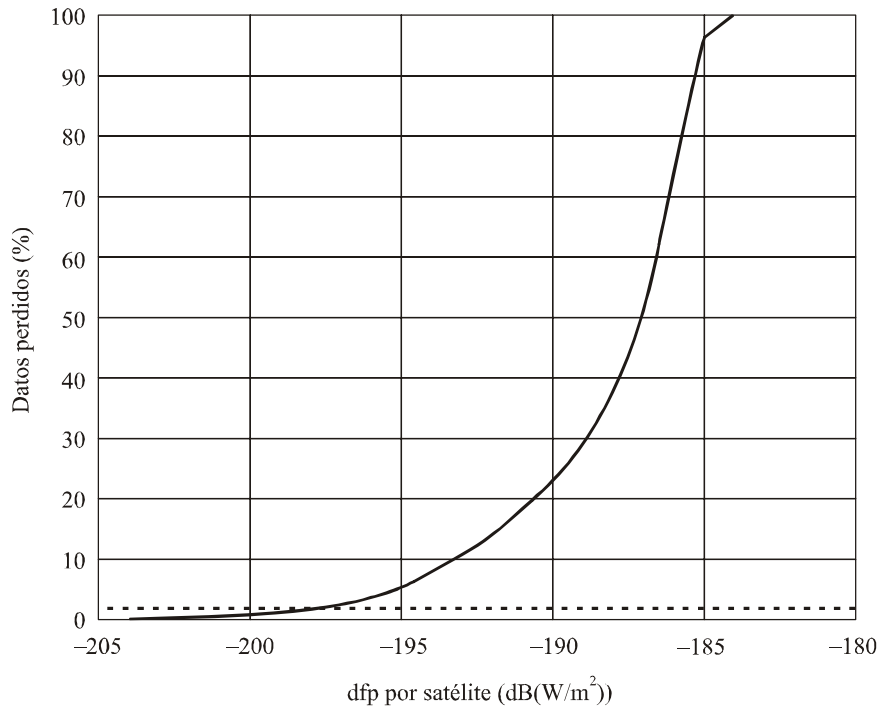
##### 4.4.1.2 Cálculo del nivel de interferencia

La Fig. 10 muestra el porcentaje de tiempo durante el cual el nivel umbral de dfpe de continuum se rebasa en la estación de radioastronomía, para un valor determinado de dfp por satélite del SMS (como se indica en la Recomendación UIT-R RA.1513, rebasar este umbral supone pérdida de datos).



FIGURA 10

Porcentaje de datos perdidos en función de la dfp por satélite en el emplazamiento del SRA para el sistema GONETS-M del SMS



1 2091-10

Para satisfacer el umbral de dfpe del continuum durante más del 98% del tiempo de media en todo el cielo, cada satélite del sistema GONETS-M del SMS debe generar una dfp inferior a  $-198 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en la banda de radioastronomía 322-328,6 MHz.

La Fig. 11 muestra para cada célula de cielo, y para la dfp (por satélite) de  $-198 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el umbral de dfpe.

En dicha Fig. 11 el acimut de  $0^\circ$  es el Norte verdadero y aumenta de Oeste a Este.

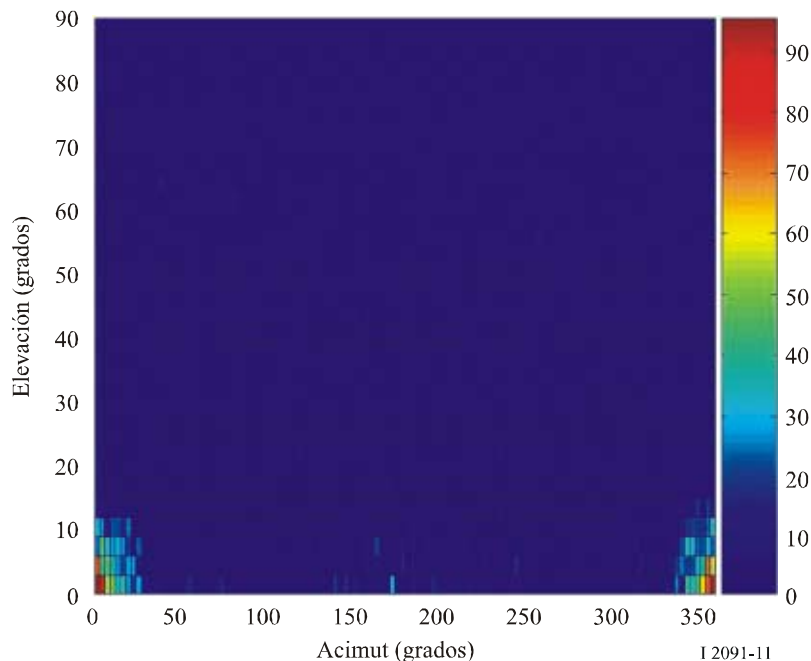
El valor de dfp requerido para las observaciones de rayas espectrales puede deducirse directamente sin realizar más simulaciones a partir del valor necesario para las observaciones del continuum utilizando la fórmula (9):

$$dfp_{espectral} = dfp_{continuum} + dfpe_{espectral} - dfpe_{continuum} \tag{9}$$

Para satisfacer el umbral de dfp de las rayas espectrales durante más del 98% del tiempo de media en todo el cielo, cada satélite del sistema GONETS-M del SMS debe generar una dfp inferior a  $-213 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en cualquier banda de 10 kHz dentro de la banda de radioastronomía 322-328,6 MHz.

FIGURA 11

Porcentaje de datos perdidos en el cielo para el valor de  $dfp$  de  $-198 \text{ dB(W/m}^2)$  en el emplazamiento del SRA para el sistema GONETS-M del SMS



Basándose en el comportamiento del sistema, la densidad espectral de potencia en la superficie de la Tierra producida por cualquier satélite GONETS-M en cualquier tramo de 10 kHz de la banda de frecuencias 322-328,6 MHz sería igual a  $-244,5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 10 \text{ kHz))}$  (véase el § 4.3.1), valor que no rebasa el citado criterio de  $-213,5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 10 \text{ kHz))}$ .

#### 4.4.2 Caso de la OSG

Se dispone de información para los cuatro satélites existentes que figuran en el Registro Internacional de Frecuencias. En este caso, un satélite típico en la OSG se considera que tiene una longitud de  $0^\circ$ .

Para los estudios contenidos en los siguientes puntos,

- todas las características de las estaciones del SRA se han extraído de la dirección web <http://www.astron.nl/craf/raobs.htm>. Dichas estaciones están ubicadas en países de la CEPT.

Teniendo en cuenta los diferentes emplazamientos de los satélites OSG y la estación pertinente de radioastronomía, se puede calcular la p.i.r.e. admisible en la banda del SRA a fin de que cumplan los criterios de protección para todas las estaciones de radioastronomía indicados en la Fig. 12.

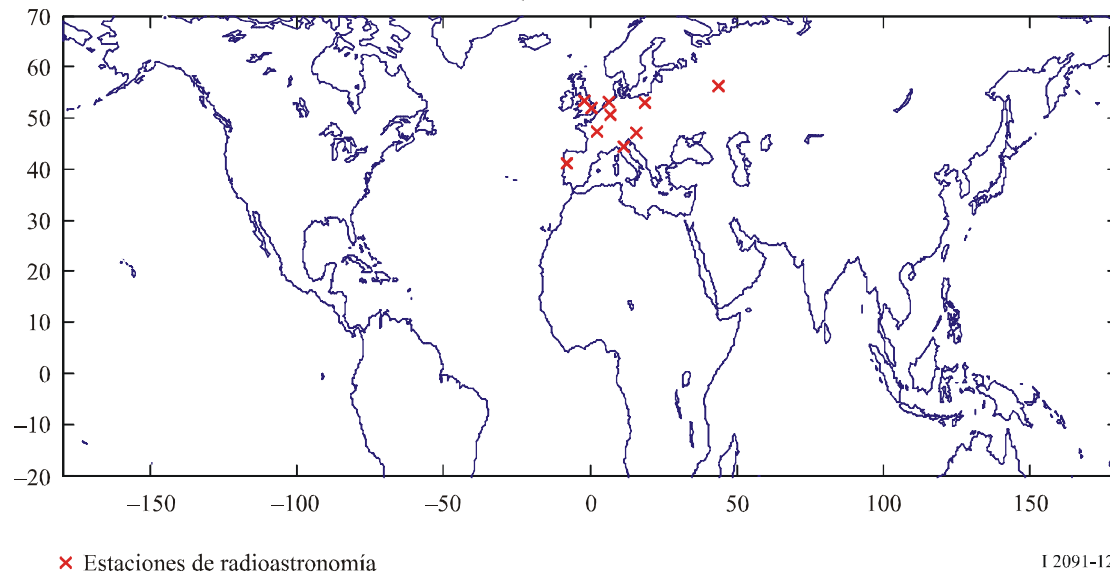
Como resultado, cuando se dispone de algunos parámetros típicos de una OSG, puede identificarse un factor de atenuación fuera de banda mediante la diferencia entre la p.i.r.e. del satélite OSG en servicio activo y la máxima p.i.r.e. admisible en la banda pasiva.

Si el factor de atenuación necesaria se ajusta a los datos pertinentes que figuran en las Recomendaciones UIT-R correspondientes (por ejemplo, véase el límite del Apéndice 3 del RR), puede en ese caso concluir la evaluación de la interferencia.

FIGURA 12

**Estaciones del SRA y satélites OSG en la banda 322-328,6 MHz**

Satélites de radioastronomía y satélites OSG en la banda 322-328,6 MHz

**4.4.3 Valores obtenidos****4.4.3.1 Caso no OSG**

A partir de los datos obtenidos en el § 4.2.4 es posible calcular la d<sub>fp</sub> radiada en la banda del SRA por cada satélite del SMS, como se indica en el Cuadro 7.

CUADRO 7

**Máxima d<sub>fp</sub> radiada por el satélite GONETS-M**

Parámetro	Continuum (banda 322-328,6 MHz)	Rayas espectrales (cualquier anchura de banda de 10 kHz en la banda 322-328,6 MHz)
Altitud (km)	1 500	
Potencia de las emisiones (dBW)	-34,8	-63
Atenuación del filtro adicional (dB)	50	
Máxima ganancia de la antena transmisora del satélite (dB)	3	
Máxima d <sub>fp</sub> radiada por el satélite (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-216,3	-244,5

El análisis de los resultados demuestra (véase el § 4.4.1.2) que hay más de 18 dB de margen de exceso para las observaciones del continuum y 31 dB para las observaciones de la raya espectral. Esa conclusión también es válida para las observaciones de interferometría con línea de base muy larga (VLBI) de radioastronomía en la banda de frecuencias 322-328,6 MHz.

Cabe señalar que esta metodología no tiene en cuenta la asignación dinámica de canales de las estaciones espaciales del sistema GONETS-M. Adicionalmente, dichas estaciones espaciales transmiten información en ráfagas de breve duración cada una de ellas emitida a distinta frecuencia. En el estudio, se ha supuesto que todos los satélites transmiten en el mismo canal de frecuencia en

todos los instantes, razón por la cual el resultado obtenido es la hipótesis de interferencia de caso más desfavorable.

#### 4.4.3.2 Caso OSG

Los valores de p.i.r.e. que figuran en el Cuadro 8 se han obtenido a partir de los niveles umbral de  $d_{fp}$  que aparecen en el Cuadro 8 (última columna) considerando pérdidas en el espacio libre. Se recuerda que se ha considerado un satélite situado a una longitud de  $0^\circ$  pues no se disponía de parámetros técnicos para satélites inscritos en el MIFR.

CUADRO 8

#### Máxima p.i.r.e. admisible en la banda del SRA en el satélite

Banda activa (MHz)	Banda pasiva (MHz)	Máxima p.i.r.e. en la banda del SRA (dB(W/Hz))	Máxima p.i.r.e. en la banda del SRA (dBW)
387-390	322-328,6	-94,5	-26,3

### 4.5 Técnicas de reducción de la interferencia

#### 4.5.1 SRA

Existen varios métodos, incluidos los que se describen a continuación, que pueden considerarse para disminuir las emisiones no deseadas procedentes de transmisores de satélites en un radiotelescopio.

*Característica del lóbulo lateral de la antena:* La iluminación de la apertura de los radiotelescopios normalmente se optimiza para la relación  $G/T$ ; es decir, la ganancia del telescopio dividida por la temperatura de ruido del sistema. El objetivo es maximizar el valor de la relación  $S/N$  para fuentes puntuales. Un factor fundamental de este método es reducir la radiación terrestre que se introduce en los lóbulos laterales lejanos. Inevitablemente, ello da lugar al correspondiente incremento en los niveles de los lóbulos laterales cercanos. La experiencia ha demostrado que la máscara de la envolvente de los lóbulos laterales que figura en la Recomendación UIT-R SA.509 se cumple para la mayoría de los radiotelescopios en casi todas las direcciones.

*Supresión en tiempo y/o frecuencia:* Esta técnica puede aplicarse en algunos casos en que la interferencia que aparece en la banda de frecuencias de radioastronomía se puede identificar plenamente y sin ambigüedades en tiempo y/o frecuencia.

#### 4.5.2 Posibles repercusiones para el SRA

*Característica del lóbulo lateral de la antena:* Los intentos para disminuir la sensibilidad de la antena de radioastronomía frente a emisiones no deseadas procedentes de estaciones espaciales probablemente aumentarán la sensibilidad del telescopio de radioastronomía a las radiaciones terrestres, y posiblemente disminuirá su ganancia de haz principal. Ambos efectos reducirán la capacidad de canal del telescopio y, por consiguiente, darán lugar a un incremento del tiempo de integración total requerido.

*Supresión en tiempo y/o frecuencia:* La supresión implica el riesgo de comprometer la integridad de los datos y puede conducir a errores en su interpretación científica. La supresión también provoca un aumento concomitante en el tiempo de integración total requerido para realizar la observación, lo que equivale a una pérdida en la capacidad de canal del telescopio.

## **5 Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA que funcionan en la banda 406,1-410 MHz y sistemas del servicio móvil por satélite (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 400,15-401 MHz**

### **5.1 SRA**

#### **5.1.1 Banda atribuida**

La banda 406,1-410 MHz está atribuida a título primario al servicio fijo, al servicio móvil (salvo móvil aeronáutico) y al SRA.

El número 5.149 del RR insta a las administraciones a que tomen todas las medidas posibles para proteger el servicio de radioastronomía contra la interferencia perjudicial.

#### **5.1.2 Tipo de observaciones**

Esta banda se utiliza únicamente para observaciones (de banda ancha) del continuum.

Es necesaria para garantizar la cobertura de espectro necesaria de las observaciones (de banda ancha) del continuum de las fuentes radiocósmicas y se encuentra exactamente entre las bandas 322,0-328,6 MHz y 608-614 MHz, que también se utilizan a tal efecto por el SRA.

#### **5.1.3 Criterios de protección requeridos**

En la Recomendación UIT-R RA.769 aparecen los niveles umbral de interferencia perjudicial causada a las observaciones de radioastronomía.

Estos niveles umbral son criterios de protección por encima de los cuales los datos de radioastronomía se degradan y, en algunos casos, se destruyen. En principio, en circunstancias más bien idealizadas, si estos niveles se rebasan muy ligeramente puede ser posible compensarlos en el observatorio de radioastronomía aumentando el tiempo de observación. De esta forma, la capacidad de canal del telescopio disminuye, con la correspondiente reducción del caudal científico. Si el nivel de interferencia, bajo las hipótesis de la Recomendación UIT-R RA.769 (por ejemplo, la característica de antena, etc.) aumenta 10 dB o más por encima del nivel indicado en dicha Recomendación, el aumento del tiempo de observación ya no será una medida eficaz para asegurar que se proporcionan al investigador datos científicos válidos. La estación de radioastronomía no podrá funcionar en la banda de frecuencias afectada, y su capacidad de proporcionar servicios se perderá si no pueden aplicarse las técnicas adecuadas de reducción de la interferencia.

La banda 406,1-410 MHz se utiliza únicamente para observaciones del continuum. Por regla general, en estas observaciones del continuum se emplea toda la anchura de 3,9 MHz de esta banda. Para observaciones con antenas de una sola parábola, el umbral de dfp para la interferencia perjudicial es  $-189 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ .

#### **5.1.4 Características de funcionamiento**

En general, las observaciones del continuum se realizan de forma diferencial: puede cartografiarse la zona del cielo que rodea a la fuente radiocósmica y detraer de la misma la emisión de fondo, o pueden efectuarse mediciones de la potencia procedente de la dirección de la fuente (en la fuente) y en una o más posiciones cercanas en el cielo (fuera de la fuente). Sustrayendo los valores fuera de la fuente de los valores en la fuente, la emisión originada en la fuente se separa de otras contribuciones a la salida del receptor.

## 5.2 SMS

### 5.2.1 Banda de transmisión atribuida

La banda 400,15-401 MHz está atribuida al SMS (espacio-Tierra) a título primario en todas las Regiones.

Los números 5.208A y 5.209 del RR se aplican al SMS en esta banda.

El número 5.208A del RR indica que «Al efectuar las asignaciones a las estaciones espaciales del servicio móvil por satélite en las bandas 137-138 MHz, 387-390 MHz y 400,15-401 MHz, las administraciones adoptarán todas las medidas posibles para proteger el servicio de radioastronomía en las bandas 150,05-153 MHz, 322-328,6 MHz, 406,1-410 MHz y 608-614 MHz de la interferencia perjudicial producida por las emisiones no deseadas. Los niveles umbral de interferencia perjudicial para el servicio de radioastronomía, se muestran, en el Cuadro 1 de la Recomendación UIT-R RA.769-1. (CMR-97)».

El número 5.209 del RR señala que «La utilización de las bandas 137-138 MHz, 148-150,05 MHz, 399,9-400,05 MHz, 400,15-401 MHz, 454-456 MHz y 459-460 MHz por el servicio móvil por satélite está limitada a los sistemas de satélites no geoestacionarios. (CMR-97)».

### 5.2.2 Aplicación

Los sistemas del SMS no OSG por debajo de 1 GHz pueden transmitir paquetes de datos digitales a bajas velocidades de transmisión de datos (2,8 a 19,2 kbit/s). Las frecuencias bajas (inferiores a 1 GHz) y la órbita terrestre baja dan lugar a estaciones terrenas y satélites de pequeño tamaño y baja potencia. Las redes se diseñan para poder proporcionar cobertura a todo el mundo o a la mayoría de las partes del mundo (algunos sistemas no incluyen cobertura total de las zonas polares). Generalmente, los sistemas del SMS por debajo de 1 GHz funcionan en modo cercano al tiempo real cuando el mismo satélite cubre tanto la estación de usuario como la estación de enlace de conexión. Sin embargo, los sistemas también pueden explotarse en modo de almacenamiento y retransmisión cuando las estaciones de usuario y del enlace de conexión no se encuentran en la huella del mismo satélite, tal como sucede en el caso de un usuario situado en una zona del océano abierta. En este modo, los sistemas funcionan con cierto retardo de tiempo que puede oscilar de varios segundos a varias horas, dependiendo del paso del siguiente satélite sobre la estación de enlace de conexión.

Este tipo de sistemas proporciona comunicaciones de datos inalámbricas de alta calidad para el comercio, la industria, las administraciones y los consumidores de todo el mundo.

### 5.2.3 Niveles basados en disposiciones reglamentarias

No existen límites estrictos aplicables al SMS en esta banda.

### 5.2.4 Características de funcionamiento.

En la Recomendación UIT-R M.1184 se describen las características técnicas y de funcionamiento de cuatro sistemas del SMS no OSG que utilizan o tienen previsto utilizar la banda para el servicio o para los enlaces descendentes de pasarela. Se trata de los sistemas L, N, Q y S. Las características orbitales del sistema real Q son distintas de las que figuran en la Recomendación. Las características reales aparecen en el Cuadro 9 junto con las de los sistemas L, N y S.

## 5.3 Umbral de compatibilidad

Para el caso de constelaciones no OSG, puede obtenerse un umbral de dfpe a partir del umbral de dfp que figura en la Recomendación UIT-R RA.769 y la máxima ganancia de antena indicada en la

Recomendación UIT-R RA.1631, que es de 53 dBi para esta banda de frecuencias. Por consiguiente, el umbral de dfpe para la banda 406,1-410 MHz es  $-242(\text{dB}(\text{W}/\text{m}^2))$ .

CUADRO 9

**Parámetros orbitales de varias redes del SMS no OSG por debajo de 1 GHz**

Sistema	L	N	Q		S
Número de satélites	48	3	26		6
Altitud (km)	950	800	1 000		692, 667
Inclinación (grados)	50	88	66	83	98,04
Planos orbitales	8	3	4	2	2
Satélites/plano	6	1	6	1	3
Ascensión recta del nodo ascendente (grados)	0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315	0, 15, 90	0, 90, 180, 270	0, 90	143,5, 53,5
Potencia de emisión en el enlace descendente (W)	25	6,3	32		10
p.i.r.e. del enlace descendente (dBW)	19,7	10	17,8		18
Anchura de banda necesaria (kHz)	35	85	45		300
dfp en la banda del SMS ( $\text{dB}(\text{W}/\text{m}^2)$ )	-111	-119	-113		-110

**5.4 Evaluación de la interferencia****5.4.1 Metodología utilizada para evaluar el nivel de interferencia**

En la Recomendación UIT-R M.1583 aparece un método para evaluar los niveles de las emisiones no deseadas producidas por un sistema no OSG en los emplazamientos de radioastronomía. Se basa en la división del cielo en células de tamaño casi igual y en la realización de un análisis estadístico donde la dirección de puntería de la antena del SRA y el instante de inicio de la constelación de satélites son las variables aleatorias. Para cada prueba, se promedia el nivel de la emisión no deseada (expresado en términos de dfpe) a lo largo de un periodo de 2 000 s.

El diámetro de la antena del SRA es 100 m, lo que corresponde a una máxima ganancia de antena de aproximadamente 53 dBi. El diagrama de antena y la máxima ganancia de antena se han extraído de la Recomendación UIT-R RA.1631.

Las coordenadas geográficas elegidas son las siguientes:

Latitud: 46,9° N    Longitud: 2,4° E

Las simulaciones se realizaron considerando un ángulo de elevación de 0° para obtener resultados completamente generales.

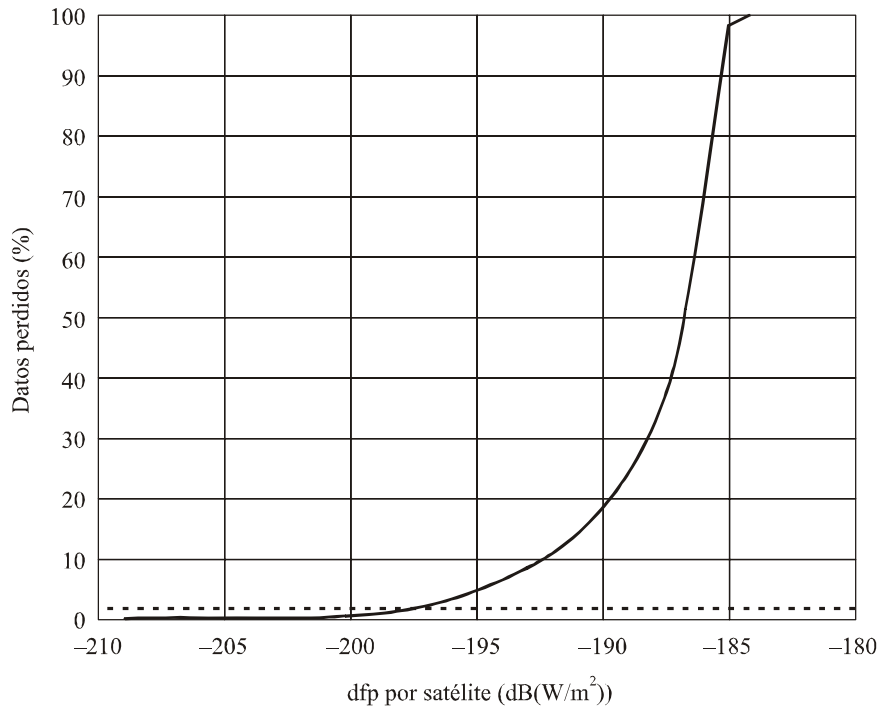
## 5.4.2 Cálculo del nivel de interferencia

### 5.4.2.1 Sistema L del SMS

La Fig. 13 muestra el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el umbral de dfpe en el emplazamiento de radioastronomía, para un valor determinado de dfp por satélite del SMS (como se indica en la Recomendación UIT-R RA.1513, rebasar este umbral supone pérdidas de datos).

FIGURA 13

Porcentaje de datos perdidos en función de la dfp por satélite en el emplazamiento del SRA



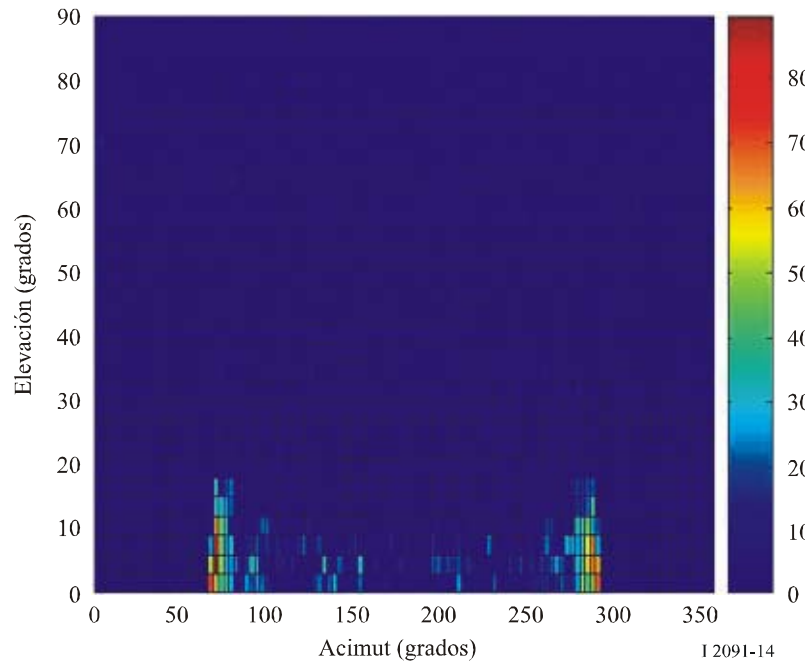
I 2091-13

Para satisfacer el nivel umbral de dfpe durante más del 98% del tiempo de media en todo el cielo, cada satélite del sistema L del SMS debe generar una dfp inferior a  $-197$  dB(W/m<sup>2</sup>) en la banda de radioastronomía.

La Fig. 14 muestra para cada célula del cielo, y para la dfp (por satélite) de  $-197$  dB(W/m<sup>2</sup>), el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el umbral de dfpe.



FIGURA 14  
Porcentaje de datos perdidos en el cielo para el valor de la dfp de  $-197 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$   
en el emplazamiento de SRA



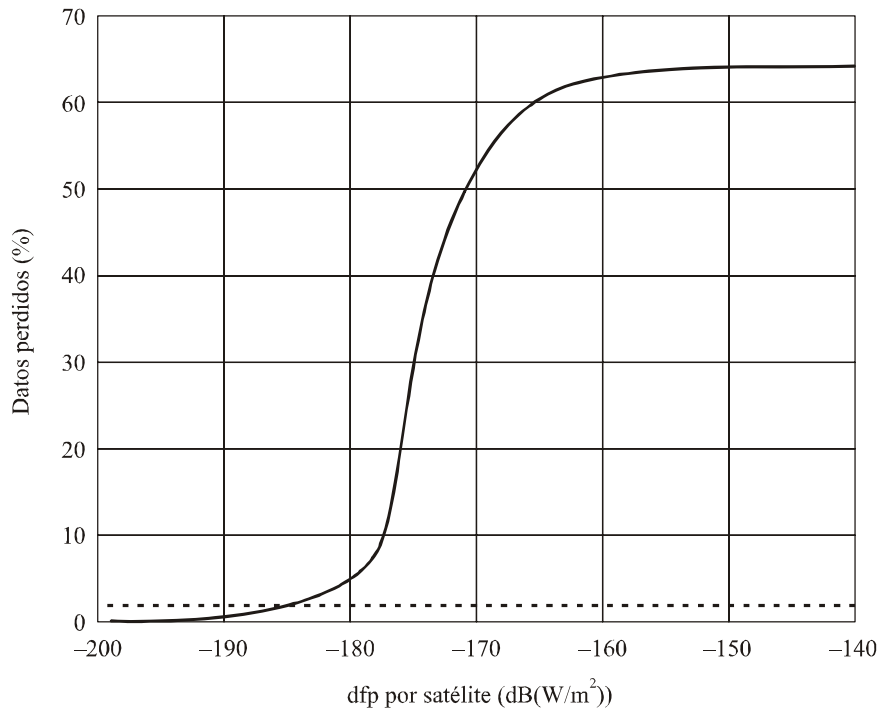
En las Figs. 14, 16, 18 y 20, el acimut de  $0^\circ$  es el Norte verdadero y aumenta de Oeste a Este.

#### 5.4.2.2 Sistema N del SMS

La Fig. 15 muestra el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el umbral de dfpe en el emplazamiento de radioastronomía, para un valor determinado de dfp por satélite del SMS.

FIGURA 15

Porcentaje de datos perdidos en función de la dfp por satélite en el emplazamiento del SRA



1 2091-15

Para satisfacer el nivel umbral de dfpe durante más del 98% del tiempo de media en todo el cielo, cada satélite del sistema N del SMS debe generar una dfp inferior a  $-185 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en la banda de radioastronomía.

La Fig. 16 muestra para cada célula del cielo, y para la dfp (por satélite) de  $-185 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el umbral de dfpe.

#### 5.4.2.3 Sistema Q del SMS

La Fig. 17 muestra el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el umbral de dfpe en el emplazamiento de radioastronomía, para un valor determinado de dfp por satélite del SMS.

Para satisfacer el nivel umbral de dfpe durante más del 98% del tiempo de media en todo el cielo, cada satélite del sistema Q del SMS debe generar una dfp inferior a  $-195 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en la banda de radioastronomía.

La Fig. 18 muestra para cada célula del cielo, y para la dfp (por satélite) de  $-195 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el umbral de dfpe.

FIGURA 16

Porcentaje de datos perdidos en el cielo para el valor de dfp de  $-185 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en el emplazamiento del SRA

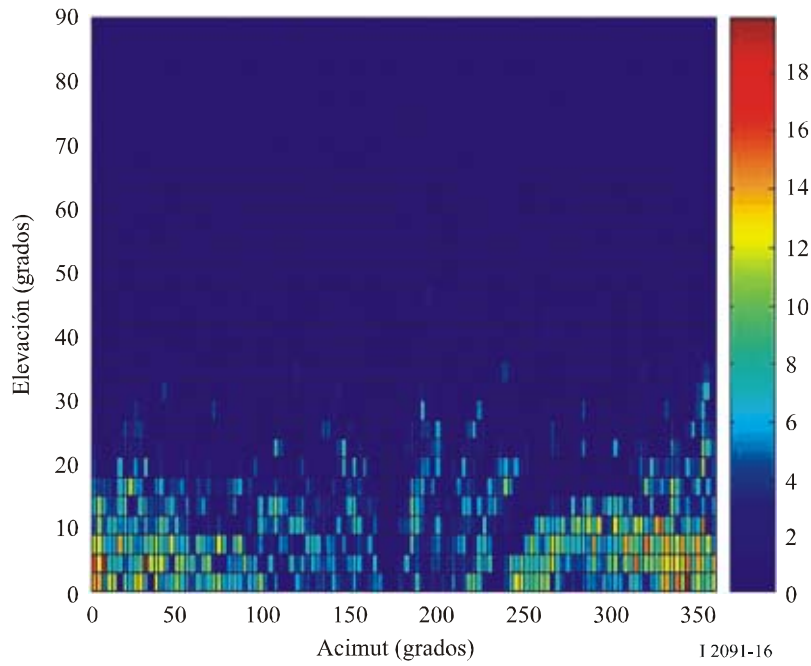


FIGURA 17

Porcentaje de datos perdidos en función de la dfp por satélite en el emplazamiento del SRA

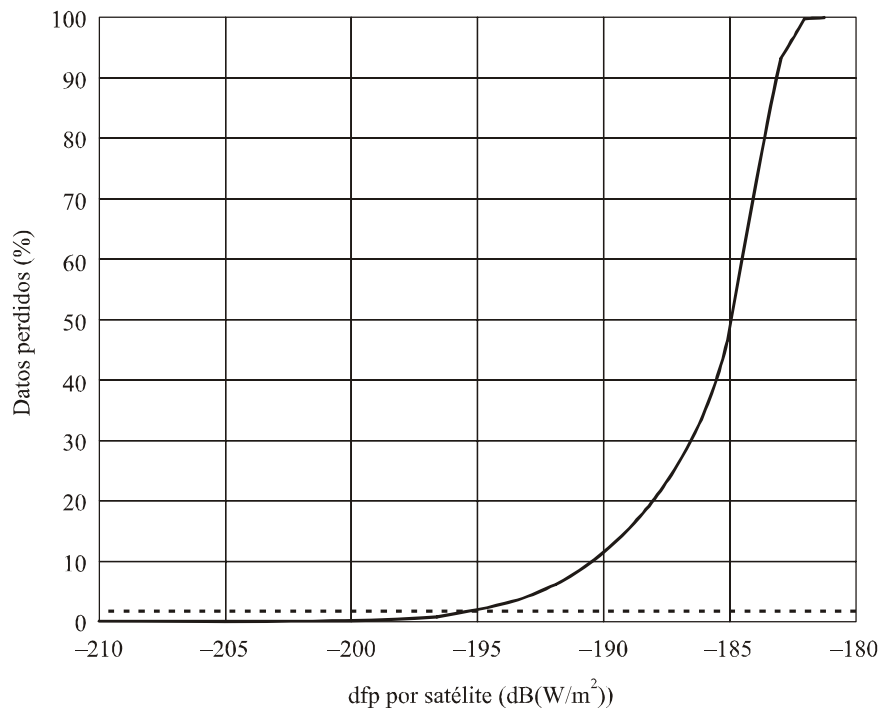
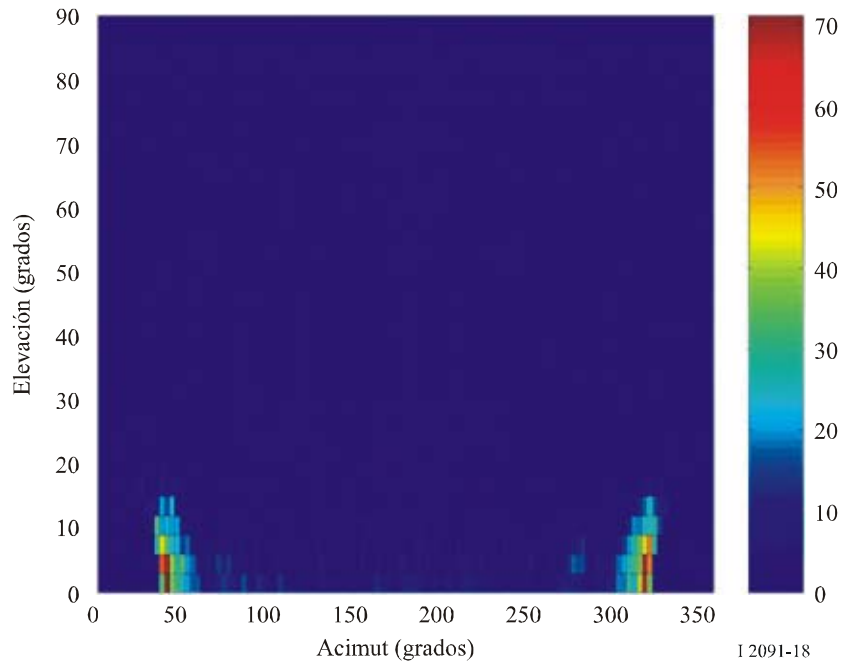


FIGURA 18

Porcentaje de datos perdidos en el cielo para el valor de dfp de  $-195 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en el emplazamiento del SRA

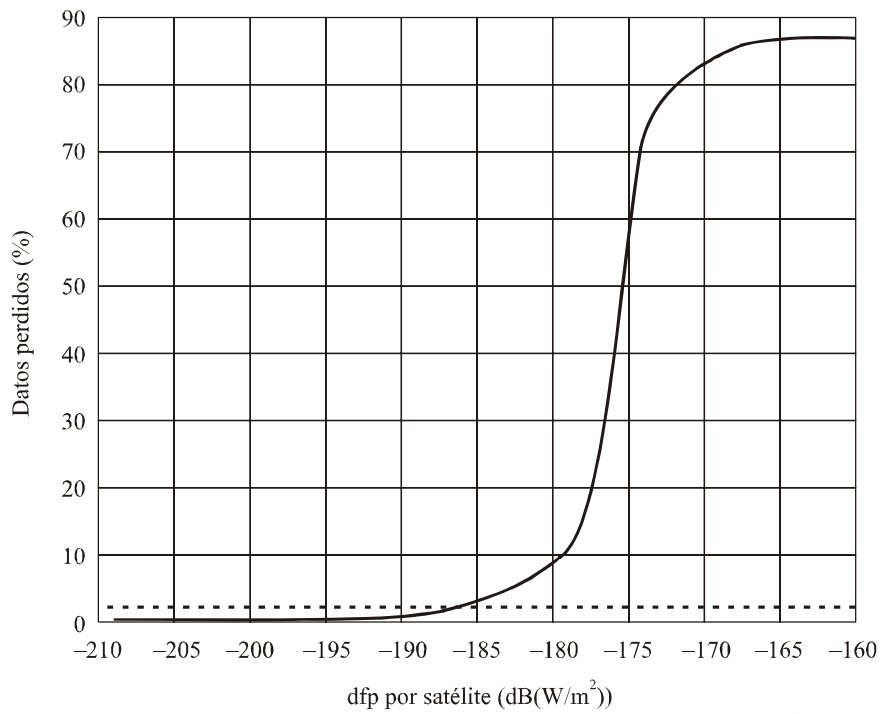


5.4.2.4 Sistema S del SMS

La Fig. 19 muestra el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el umbral de dfpe en el emplazamiento de radioastronomía, para un valor determinado de dfp por satélite del SMS.

FIGURA 19

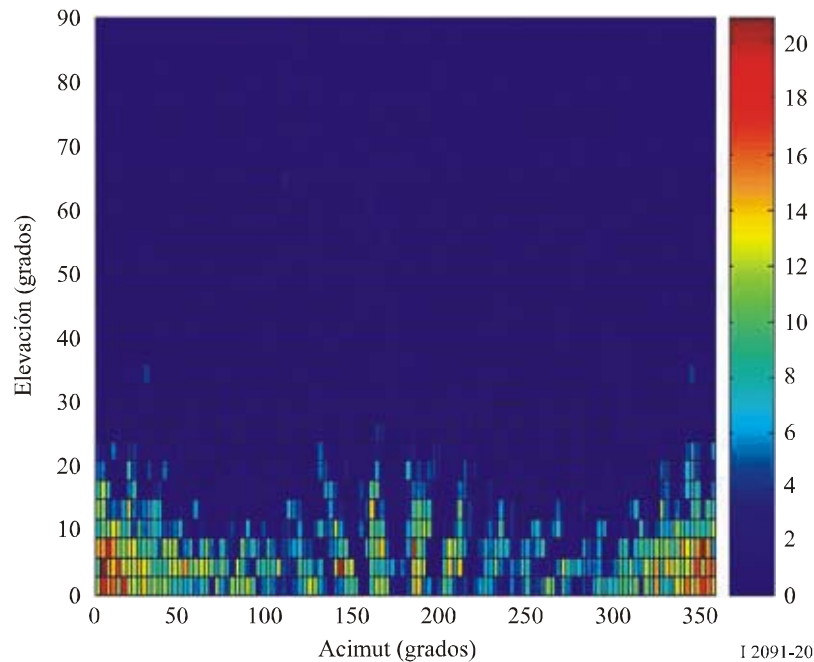
Porcentaje de datos perdidos en función de la dfp por satélite en el emplazamiento del SRA



Para satisfacer el nivel umbral de dfpe durante más del 98% del tiempo de media en todo el cielo, cada satélite del sistema S del SMS debe generar una dfp inferior a  $-187 \text{ dB(W/m}^2)$  en la banda de radioastronomía.

La Fig. 20 muestra para cada célula del cielo, y para la dfp (por satélite) de  $-187 \text{ dB(W/m}^2)$ , el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el umbral de dfpe.

FIGURA 20  
Porcentaje de datos perdidos en el cielo para el valor de dfp de  $-187 \text{ dB(W/m}^2)$   
en el emplazamiento del SRA



### 5.4.3 Valores obtenidos

Las emisiones no deseadas de los satélites del SMS no OSG que utilizan la banda 400,15-401 MHz cuyas frecuencias caen dentro de la banda del SRA 406,1-410 MHz, se encuentran en el dominio no esencial. El Cuadro 10 muestra, para cada uno de los cuatro sistemas del SMS no OSG por debajo de 1 GHz, la atenuación necesaria de manera que no se rebasa el umbral de dfpe perjudicial.

Cabe señalar que para calcular el volumen total de emisiones no esenciales en la banda del SRA se consideró que dichas emisiones no esenciales presentaban un nivel constante en toda la banda del SRA. Esta hipótesis es muy estricta y evidentemente no representa la realidad puesto que las emisiones no esenciales generalmente aparecen a algunas frecuencias discretas. Por lo tanto, se necesitan más estudios para tener en cuenta esta componente discreta de las emisiones no esenciales a fin de determinar unos valores más realistas de los niveles de emisiones no deseadas del SMS en la banda del SRA.

CUADRO 10

**Atenuación necesaria en las redes del SMS no OSG por debajo de 1 GHz  
para alcanzar el nivel de dfpe perjudicial**

Sistema	L	N	Q	S
Potencia de emisión en la banda del SMS (W)	25	6,3	32	10
$43 + 10 \log P$	57	51	58	53
Atenuación no esencial obtenida del Apéndice 3 (dBc en 4 kHz)	57	51	58	53
Nivel no esencial obtenido del Apéndice 3 (dBW en 4 kHz)	-43	-43	-43	-43
dfp en la banda del SMS (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-111	-110	-113	-110
Nivel no esencial en la banda del SRA (dBW)	-13,1	-13,1	-13,1	-13,1
dfp en la banda del SRA (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-138	-131	-141	-133
Máxima dfp en la banda del SRA (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-197	-185	-195	-187
Atenuación necesaria (dB)	59	54	54	54

## 5.5 Técnicas de reducción de la interferencia

### 5.5.1 SRA

Existen varios métodos, incluidos los que se describen a continuación, que pueden considerarse para disminuir las emisiones no deseadas procedentes de transmisores de satélites que recibe un radiotelescopio.

*Características del lóbulo lateral de la antena:* La iluminación de la apertura de los radiotelescopios se optimiza generalmente para la relación  $G/T$ ; es decir, la ganancia del telescopio dividida por la temperatura de ruido del sistema. El objetivo es maximizar el valor de la relación  $S/N$  para fuentes puntuales. Un factor fundamental de este método es reducir la radiación terrestre que se introduce en los lóbulos laterales lejanos. Inevitablemente, esto supone un aumento correspondiente en los niveles de los lóbulos laterales cercanos. La experiencia ha demostrado que la máscara de la envolvente de los lóbulos laterales que figura en la Recomendación UIT-R SA.509 se cumple para la mayoría de los radiotelescopios en casi todas las direcciones.

*Supresión en tiempo y/o frecuencia:* Esta técnica puede aplicarse en algunos casos en que la interferencia que aparece en la banda de frecuencias de radioastronomía se puede identificar plenamente y sin ambigüedades en tiempo y/o frecuencia.

### 5.5.2 Posibles repercusiones para el SRA

*Característica del lóbulo lateral de la antena:* Los intentos para reducir la sensibilidad de la antena de radioastronomía a emisiones no deseadas que proceden de estaciones espaciales aumentarán probablemente la sensibilidad del telescopio de radioastronomía a las radiaciones terrestres, y disminuirá posiblemente su ganancia de haz principal. Ambos efectos reducirán la capacidad de canal del telescopio y, por consiguiente, darán lugar a un incremento del tiempo de integración total requerido.

*Supresión en tiempo y/o frecuencia:* La supresión implica el riesgo de comprometer la integridad de los datos que puede conducir a errores en su interpretación científica. La supresión también produce un incremento concomitante en el tiempo de integración total requerido para efectuar la observación, lo que equivale a una pérdida de la capacidad de canal del telescopio.

## **6 Análisis de compatibilidad entre sistemas SRA que funcionan en la banda 608-614 MHz y sistemas del servicio de radiodifusión por satélite (espacio-Tierra) y que pueden funcionar en la banda 620-790 MHz**

### **6.1 SRA**

#### **6.1.1 Banda atribuida**

La banda 608-614 MHz está atribuida al servicio de radioastronomía a título primario en la Región 2, en India mediante el número 5.307 del RR y en China mediante el número 5.305 del RR.

Esta banda también está atribuida mediante el número 5.306 al servicio de radioastronomía a título secundario en la Región 1, salvo en la Zona Africana de Radiodifusión (véanse los números 5.10 a 5.13 del RR), y en la Región 3.

El número 5.149 del RR se aplica a esta banda en las Regiones 1 y 3. Insta a las administraciones a que tomen todas las medidas posibles para proteger el servicio de radioastronomía contra la interferencia perjudicial.

#### **6.1.2 Tipo de observaciones**

Esta banda se utiliza para observaciones (en banda ancha) del continuum, tanto con antena de parábola única como en modo VLBI.

Es necesario garantizar la cobertura de espectro necesaria de las observaciones (de banda ancha) del continuum de las fuentes radiocósmicas, que se encuentra entre las bandas 406,1-410 MHz y 1 400-1 427 MHz y que también se utilizan a estos efectos por el SRA.

#### **6.1.3 Criterios de protección requeridos**

En la Recomendación UIT-R RA.769 figuran los niveles umbral de interferencia perjudicial causada a las observaciones de radioastronomía.

Estos niveles umbral son criterios de protección por encima de los cuales los datos de radioastronomía se degradan y, en algunos casos, se destruyen. En principio, en circunstancias más bien idealizadas, si estos niveles se rebasan muy ligeramente puede ser posible compensarlos en el observatorio de radioastronomía aumentando el tiempo de observación. De esta forma, la capacidad de canal del telescopio disminuye, con la correspondiente reducción del caudal científico. Si el nivel de interferencia, bajo las hipótesis de la Recomendación UIT-R RA.769 (por ejemplo, característica de la antena, etc.) se eleva 10 dB o más por encima del nivel indicado en dicha Recomendación, el aumento del tiempo de observación ya no será una medida eficaz para garantizar que se proporcionan al investigador datos científicos válidos. En ese caso, la estación de radioastronomía no podrá funcionar en la banda de frecuencias afectada y perderá su capacidad de proporcionar servicios si no pueden aplicarse las técnicas adecuadas de reducción de la interferencia.

La banda 608-614 MHz se utiliza únicamente para observaciones del continuum. Para realizar observaciones del continuum con antenas de una sola parábola, se emplea toda la anchura de una banda de 6 MHz, en cuyo caso el límite de dfp umbral para la interferencia perjudicial es  $-185 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ .

Las observaciones VLBI, en las que las señales procedentes de antenas muy separadas se registran y se efectúa una correlación de ellas tras las observaciones, son mucho menos susceptibles a la interferencia. Ello viene reflejado en el nivel de dfp umbral para observaciones VLBI en esta banda,  $-143 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  para toda la banda de 6 MHz.

### 6.1.4 Características de funcionamiento

Por regla general, las observaciones del continuum se realizan de forma diferencial: puede cartografiarse la zona del cielo que rodea a la fuente radiocósmica y detraer de la misma la emisión de fondo, o pueden realizarse mediciones de la potencia procedente de la dirección de la fuente (en la fuente) y en una o más posiciones cercanas en el cielo (fuera de la fuente). Sustrayendo los valores fuera de la fuente de los valores en la fuente, la emisión originada en la fuente se separa de otras contribuciones a la salida del receptor.

Las observaciones VLBI se realizan efectuando una conversión descendente de la frecuencia de las señales a una banda base, digitalizándolas sin rectificación y registrándolas en cintas magnéticas o en otro medio de almacenamiento, junto con las señales de temporización precisas. A continuación, los datos se transfieren a un centro de procesamiento de datos VLBI donde las señales se sincronizan y se correlacionan. En consecuencia, puede que no se conozcan todas las repercusiones de la interferencia hasta que finalice el periodo de observación y los datos se hayan procesado.

## 6.2 SRS

### 6.2.1 Banda de transmisión atribuida

El número 5.311 del RR, que se aplica hasta hoy, indica: «En la banda de frecuencias 620-790 MHz pueden asignarse frecuencias a las estaciones de televisión con modulación de frecuencia del servicio de radiodifusión por satélite, previo acuerdo entre las administraciones interesadas y aquellas cuyos servicios, explotados de conformidad con el presente Cuadro, puedan resultar afectados (véanse las Resoluciones **33 (Rev.CMR-03)** y **507 (Rev.CMR-03)**). Estas estaciones no podrán producir una densidad de flujo de potencia superior a  $-129 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  para ángulos de llegada inferiores a  $20^\circ$  (véase la Recomendación **705**) en el territorio de otros países sin el consentimiento de las administraciones de estos países. Se aplica la Resolución **545 (CMR-03)**. (CMR-03)»

La Resolución 545 (CMR-03) invita a realizar estudios y a elaborar criterios de compartición y disposiciones reglamentarias, antes de la CMR-07, para dar protección a los servicios terrenales, más particularmente a los servicios terrenales de radiodifusión de televisión en la banda 620-790 MHz, contra las redes del SRS OSG y los sistemas o redes del SRS no OSG cuyo funcionamiento se prevea en esta banda.

### 6.2.2 Aplicación

El objetivo de los sistemas del SRS que pueden utilizar esta banda es ofrecer un servicio de radiodifusión a escala nacional o regional. La banda puede ser utilizada por los sistemas del SRS tanto OSG como no OSG.

Puede difundirse una amplia gama de contenidos a través del sistema dirigida a terminales móviles en un entorno de mercado de masas debido a la utilización de técnicas de multiplexión, codificación y compresión altamente eficaces.

### 6.2.3 Niveles basados en disposiciones reglamentarias

A título provisional, la máxima dfp producida en la superficie de la Tierra dentro de la zona de servicio de una estación de radiodifusión terrenal por una estación espacial del SRS en la banda 620-790 MHz no debe rebasar los siguientes valores:

$-129$	$\text{dB(W/m}^2\text{)}$	para	$\delta \leq 20^\circ$
$-129 + 0,4 (\delta - 20)$	$\text{dB(W/m}^2\text{)}$	para	$20^\circ < \delta < 60^\circ$
$-113$	$\text{dB(W/m}^2\text{)}$	para	$60^\circ < \delta < 90^\circ$



siendo  $\delta$  el ángulo de llegada (véase la Recomendación UIT-R BS.705).

## 6.2.4 Características de funcionamiento

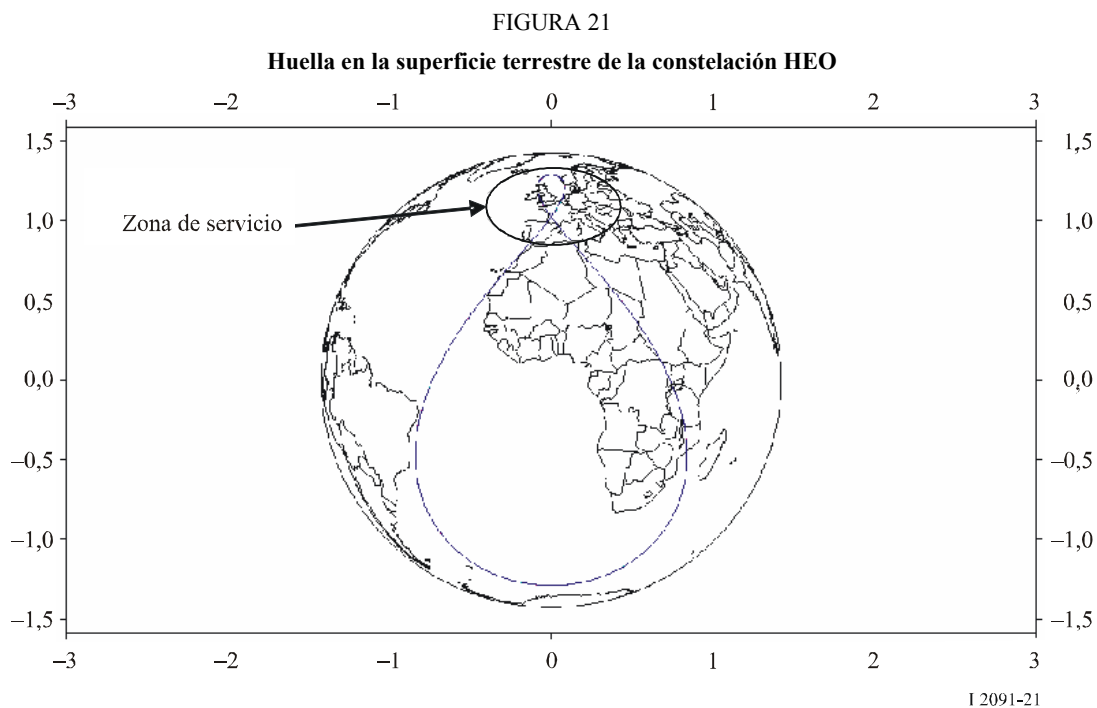
### 6.2.4.1 Sistemas del SRS no OSG

#### 6.2.4.1.1 Parámetros de la constelación

El sistema considerado en este estudio utilizará satélites en órbitas muy elípticas (HEO). Los parámetros de la constelación se optimizan para proporcionar unas condiciones de visibilidad satisfactorias a todos los usuarios situados dentro de la zona de servicio. El ejemplo que aparece a continuación ilustra el caso de una constelación Tundra que cubre a los países de Europa Occidental con tres satélites cuyo periodo orbital es de 24 horas:

- Semieje mayor: 42 164 km
- Excentricidad: 0,2684
- Inclinação: 63,4°
- Argumento del perigeo: 270°
- Ascensión recta del nodo ascendente: 110°, 230° y 350°
- Anomalía media: 340°, 220° y 100°

La Fig. 21 ilustra la huella que deja el satélite en la superficie de la Tierra.



#### 6.2.4.1.2 Tiempos de actividad del satélite

Con los parámetros orbitales de una constelación HEO, un satélite determinado está visible desde la zona de servicio con un ángulo de elevación superior a 60° únicamente 1/3 del tiempo:

- A lo largo de su periodo orbital de 24 horas, el satélite estará visible desde la zona de servicio con un ángulo de elevación superior a 60° durante un periodo continuo de 8 horas, transcurrido el cual pasarán 16 horas sin visibilidad del satélite.

- Los satélites se programarán para que estén inactivos durante estos periodos de 16 horas de «no visibilidad». Ello significa que solamente un satélite estará transmitiendo hacia la zona de servicio en un instante determinado.

#### 6.2.4.1.3 Antena del satélite y gestión de potencia

La dfp en el suelo se mantendrá constante, independientemente de la hora y de la ubicación del receptor dentro de la zona de servicio. Para ello, la antena del satélite debe diseñarse de manera que satisfaga un cierto número de requisitos durante los periodos de transmisión activos.

- *Transmisión isoflujo hacia la zona de servicio*

El satélite utilizará una antena isoflujo para optimizar sus requisitos de potencia y poder satisfacer los límites de dfp en la zona de servicio. Ello significa que la ganancia de la antena del satélite en la zona de servicio será tal que la dfp en la superficie de la Tierra se mantendrá constante, independientemente de la posición de un receptor dentro de la zona de servicio.

- *Panoramización del haz*

El ángulo sólido bajo el cual un satélite observa la zona de servicio variará con el tiempo en función de su altitud. Para compensar este efecto panorámico y disminuir los requisitos de potencia total, el satélite también deberá ajustar la potencia y la forma de su haz en función de su altitud.

#### 6.2.4.2 Caso OSG

Existen dos satélites OSG inscritos en el MIFR. Pertenecen a la Federación de Rusia y se denominan STATSIONAR.

Los parámetros de los satélites STATSIONAR fueron tenidos en cuenta en los estudios de compatibilidad para evaluar la influencia de futuros sistemas con características similares y figuran en el Cuadro 11:

CUADRO 11

#### Parámetros de STATSIONAR

Nombre	STATSIONAR-T	STATSIONAR-T2
Longitud (grados)	99	99
Frecuencia portadora (MHz)	714	754
Anchura de banda (MHz)	24	24
Potencia de cresta (dBW)	23	21,5
Potencia de cresta (dB(W/Hz))	-51	-52,3
Máxima ganancia de antena (dBi)	34	33,5
Posición del centro de la huella (grados)	$L = 91, l = 73$	$L = 95,24, l = 69,16$
Ángulo entre la dirección de puntería de los satélites OSG y la dirección desde un satélite OSG hacia la estación de radioastronomía (grados)	8,7	4,4
Ganancia de antena hacia la estación de radioastronomía más expuesta (dBi)	27,5	13,5
p.i.r.e. en la banda activa hacia la estación de radioastronomía más expuesta (dB(W/Hz))	-23,5	-38,8

### 6.3 Umbral de compatibilidad

#### 6.3.1 Sistemas no OSG

Para el caso de constelaciones no OSG, puede obtenerse un nivel umbral de dfp de  $-241$  (dB(W/m<sup>2</sup>)) en la banda 608-614 MHz a partir del nivel umbral de dfp para la interferencia perjudicial a las observaciones de radioastronomía que figura en la Recomendación UIT-R RA.769 y la máxima ganancia de la antena de radioastronomía indicada en la Recomendación UIT-R RA.1631, que toma un valor de 56 dBi para esta banda de frecuencias.

#### 6.3.2 Sistemas OSG

La Recomendación UIT-R RA.769 contiene los niveles umbral para la interferencia perjudicial a las observaciones (de banda ancha) del continuum en radioastronomía. Estos valores aparecen en el Cuadro 12.

CUADRO 12

#### Criterios de protección del servicio de radioastronomía

Banda activa (MHz)	Servicio pasivo	Banda pasiva (MHz)	Máxima potencia recibida (Recomendación UIT-R RA.769) (dBW)	dfp (Recomendación UIT-R RA.769) (dB(W/m <sup>2</sup> ))	dfp espectral (Recomendación UIT-R RA.769) (dB(W/(m <sup>2</sup> · Hz)))
620-790	SRS	608-614	-202	-185	-253

### 6.4 Evaluación de la interferencia

#### 6.4.1 Caso no OSG

##### 6.4.1.1 Metodología utilizada para evaluar el nivel de interferencia

En la Recomendación UIT-R S.1586 aparece un método para evaluar los niveles de las emisiones no deseadas producidas por un sistema no OSG en emplazamientos de radioastronomía. Se basa en la división del cielo en células de tamaño casi igual y en la realización de un análisis estadístico donde la dirección de puntería de la antena del SRA y el instante de inicio de la constelación de satélites son las variables aleatorias. Para cada prueba, se promedia el nivel de la emisión no deseada (expresado en términos de dfpe) a lo largo de un periodo de 2 000 s.

En el caso de un sistema HEO, el cálculo se simplifica en gran medida porque sólo existe un satélite que transmite hacia la Tierra en un instante determinado.

##### 6.4.1.2 Cálculo del nivel de interferencia

Los estudios han demostrado que la compatibilidad entre emisiones no deseadas procedentes de sistemas HEO del SRS que funcionan en la banda 620-790 MHz y el SRA en la banda 608-614 MHz puede garantizarse si la dfp radiada por un satélite HEO del SRS en cualquier estación del SAR es inferior a  $-188$  dB(W/m<sup>2</sup>) en toda la banda de radioastronomía.

Este nivel asegura que la pérdida de datos del SRA en la parte del cielo en la que lleva a cabo sus observaciones la estación de radioastronomía, teniendo en cuenta el mínimo ángulo de elevación  $\theta_{min}$  para el cual dicha estación de radioastronomía realiza observaciones en la banda de frecuencias (como se define en el Cuadro A del Anexo 2 al Apéndice 4 del RR), será menor del 2%.

La Fig. 22 representa para el emplazamiento de radioastronomía de Jodrell Bank (Reino Unido), para cada célula y en todo el cielo los resultados de pruebas de 2 000 s de duración en las que se rebasó el criterio de dfpe. El número total de pruebas por célula es 30, la escala vertical de la derecha indica el número de pruebas por célula en las que se superó el criterio de dfpe. Por ejemplo, dicha Fig. 22 muestra que si el radiotelescopio apunta hacia un acimut de  $350^\circ$  y una elevación de  $84^\circ$  a  $87^\circ$  (véase la correspondiente célula en la Fig. 22), todas las observaciones realizadas resultarán afectadas por una interferencia que rebasa el nivel perjudicial señalado en la Recomendación UIT-R RA.769.

#### 6.4.2 Caso OSG

Para los estudios contenidos en los siguientes puntos,

- Todas las características de las estaciones del SRA se han extraído de la dirección web <http://www.astron.nl/craf/raobs.htm>. Estas estaciones están situadas en países de la CEPT.
- Todas las características de los satélites OSG se han extraído del MIFR de la UIT.

Las Figs. 23 y 24 ilustran las zonas donde se encuentra la estación de radioastronomía más sensible y la atenuación por debajo de la máxima ganancia de antena dirigida hacia ella.

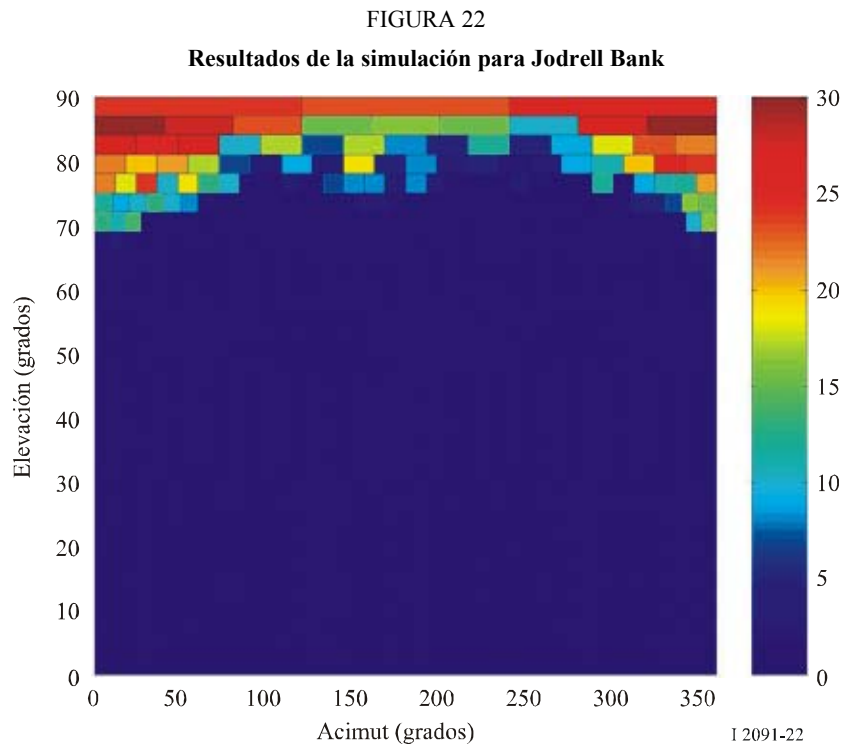
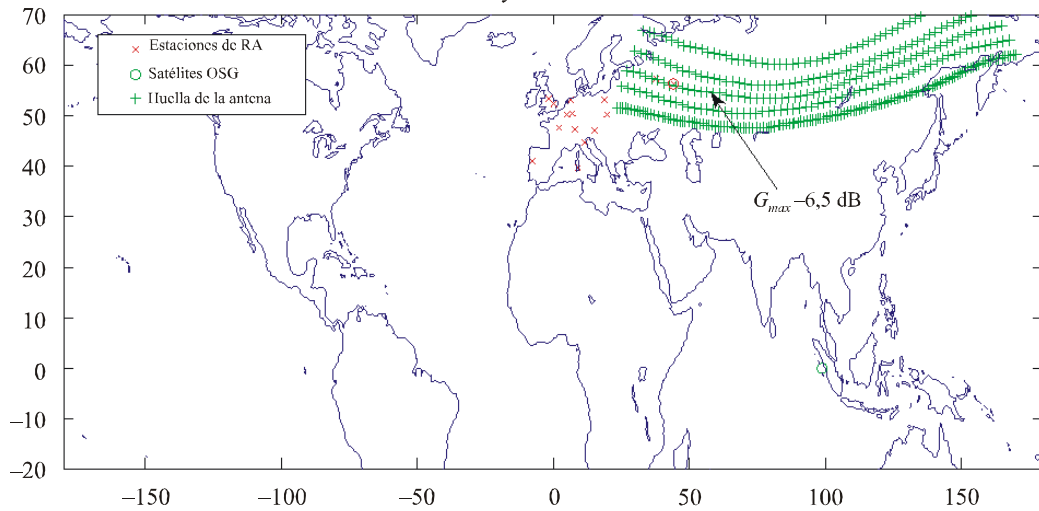


FIGURA 23

## STATSTIONAR-T

Estaciones de radioastronomía y satélites OSG en la banda 608-614 MHz

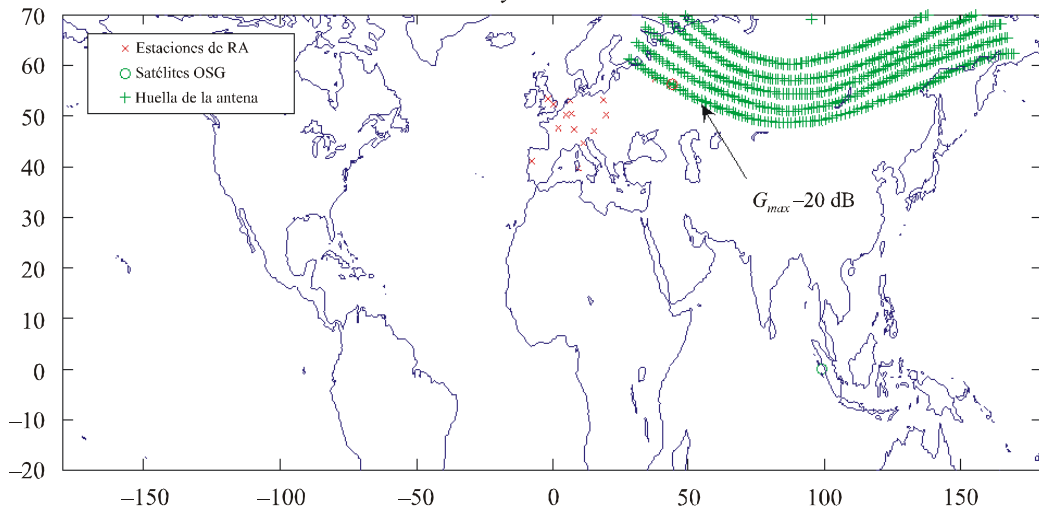


I 2091-23

FIGURA 24

## STATSTIONAR-T2

Estaciones de radioastronomía y satélites OSG en la banda 608-614 MHz



I 2091-24

Teniendo en cuenta los diferentes emplazamientos del satélite OSG y las estaciones de radioastronomía más sensibles, la p.i.r.e. admisible en la banda del SRA se calcula para que cumpla el criterio de protección.

Como resultado, puede determinarse el factor de atenuación fuera de banda que viene por dado por la diferencia entre la p.i.r.e. del satélite OSG en el servicio activo y la máxima p.i.r.e. admisible dentro de la banda pasiva.

Si el factor de atenuación necesaria se ajusta a los datos pertinentes que figuran en las Recomendaciones UIT-R correspondientes (por ejemplo, límite del Apéndice 3 del RR) puede darse por concluida la evaluación de la interferencia.

### 6.4.3 Valores obtenidos

#### 6.4.3.1 Caso no OSG

El valor de dfp de la emisión no deseada de  $-188 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  corresponde a una atenuación de 74 dB de la dfp radiada por el satélite HEO del SRS en la superficie de la Tierra en una anchura de banda de 6 MHz bajo la hipótesis de que la máxima dfp radiada por el sistema HEO del SRS en la banda 620-790 MHz es  $-113\text{-dB(W/(m}^2 \cdot 8 \text{ MHz))}$ , que es el máximo nivel indicado en la Recomendación UIT-R BS.705.

#### 6.4.3.2 Caso OSG

Los valores de p.i.r.e. que figuran en el Cuadro 12 se han obtenido a partir de los niveles umbral de dfp que aparecen en el Cuadro 12 (última columna) considerando la pérdidas en el espacio libre.

CUADRO 13

**Máxima p.i.r.e. admisible en la banda del SRA en el satélite**

Banda activa (MHz)	Banda pasiva (MHz)	Máxima p.i.r.e. en la banda del SAR (dB(W/Hz))	Máxima p.i.r.e. en la banda del SAR (dBW)
620-790	608-614	-92	-24

Teniendo en cuenta los Cuadros 10 y 12 el factor de atenuación debe ser superior a 69 dB ( $92 - 23,5 \text{ dB}$ ) para STATIONAR-T y a 53 dB ( $92 - 38,8 \text{ dB}$ ) para STATIONAR-T2. Las emisiones no deseadas que caen dentro de la banda del SRA pertenecen al dominio de las emisiones no esenciales.

Las disposiciones reglamentarias del SRS que figura en el Cuadro II del Apéndice 3 del RR indican una máxima atenuación permitida del nivel de potencia de emisión superior al menor valor entre los dos siguientes: 60 dBc y  $43 + 10 \log P$ . Siendo  $P$  la potencia media en W. En este caso, el factor de atenuación será de 60 dBc.

Teniendo en cuenta los niveles indicados en el Apéndice 3 del RR, las emisiones no deseadas radiadas por el satélite STATIONAR en la banda del SRA hacia estaciones del SRA situadas en países de la CEPT será hasta 10 dB superior a los niveles umbral contenidos en la Recomendación UIT-R RA.769. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que los niveles que figuran en dicho Apéndice 3 del RR son muy elevados y que las emisiones no esenciales procedentes de sistemas reales son inferiores a esos niveles en un valor de hasta 20 dB (véase COSPAS-SARSAT). Por lo tanto, se considera que el nivel umbral de la Recomendación UIT-R RA.769 puede ser satisfecho para esta banda de frecuencias en particular por futuros sistemas similares que tengan las mismas características.

## 6.5 Técnicas de reducción de la interferencia

### 6.5.1 SRA

Existen varios métodos, incluidos los que se describen a continuación, que se pueden considerar para reducir las emisiones no deseadas procedentes de transmisores de satélites que recibe un radiotelescopio.

*Característica del lóbulo lateral de la antena:* La iluminación de la apertura de los radiotelescopios se optimiza generalmente para la relación  $G/T$ ; es decir, la ganancia del telescopio dividida por la temperatura de ruido del sistema. El objetivo es maximizar el valor de la relación  $S/N$  en fuentes

puntuales. Un factor fundamental de este método consiste en reducir la radiación terrestre que se introduce en los lóbulos laterales lejanos. Inevitablemente, esto supone el aumento correspondiente en los niveles de los lóbulos laterales cercanos.

*Supresión en tiempo y/o frecuencia:* Esta técnica puede aplicarse en algunos casos en que la interferencia que aparece en la banda de frecuencias de radioastronomía se puede identificar plenamente y sin equívocos en tiempo y/o frecuencia.

### 6.5.2 Posibles repercusiones para el SAR

*Característica del lóbulo lateral de la antena:* Los intentos para reducir la sensibilidad de la antena de radioastronomía frente a emisiones no deseadas que proceden de estaciones espaciales probablemente aumentará la sensibilidad del telescopio de radioastronomía a las radiaciones terrestres, y posiblemente disminuirá su ganancia de haz principal. Ambos efectos reducirán la capacidad de canal del telescopio y, por consiguiente, darán lugar a un incremento del tiempo de integración total requerido.

*Supresión en tiempo y/o frecuencia:* La supresión implica el riesgo de comprometer la integridad de los datos y puede conducir a errores en interpretación científica. La supresión también produce un incremento concomitante en el tiempo de integración total requerido para efectuar la observación, lo que es equivalente a una pérdida en la capacidad de canal del telescopio.

## 7 Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA que funcionan en las bandas 1 400-1 427 MHz y 1 610,6-1 613,8 MHz y sistemas del servicio móvil por satélite no OSG (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 1 525-1 559 MHz

### 7.1 SRA

#### 7.1.1 Bandas atribuidas

La banda 1 400-1 427 MHz está atribuida a servicios pasivos únicamente, a título primario: el SRA, el SETS (pasivo) y el servicio de investigación espacial (SIE), pasivo. Este Anexo aborda únicamente el caso del servicio de radioastronomía.

El número 5.340 del RR prohíbe todas las emisiones en esta banda.

La banda 1 610,6-1 613,8 MHz está atribuida al SRA a título primario, junto con otros servicios activos tales como el SMS o el servicio de radionavegación aeronáutica.

El número 5.149 del RR insta a las administraciones a que tomen todas las medidas prácticamente posibles para proteger el servicio de radioastronomía en esta banda.

#### 7.1.2 Tipo de observaciones

##### 7.1.2.1 Banda 1 400-1 427 MHz

La banda 1 400-1 427 MHz está más intensamente utilizada que cualquier otra en todas las regiones del UIT-R. El principal uso radioastronómico de la banda consiste en realizar observaciones de rayas espectrales del hidrógeno atómico cósmico neutral (también denominado HI) que tiene una frecuencia de reposo de 1 420,406 MHz. Este material es de lejos el principal constituyente de nuestra Galaxia y de otras galaxias y aparece en nubes de gran tamaño y de estructura compleja. Esta raya se observa tanto en emisión como en absorción y resulta ensanchada y desplazada en frecuencia por el efecto Doppler debido a movimientos locales y masivos en las estructuras de las nubes. En consecuencia, las observaciones de HI pueden utilizarse para trazar un mapa de la distribución del material y su movimiento en nuestra Galaxia y en otras galaxias. De esta forma se

puede explorar la estructura de nuestra Galaxia con fines cartográficos y determinar cómo se desplaza el material.

La atribución de la banda 1 400-1 427 MHz es lo suficientemente amplia como para dar cabida a la emisión desplazada por efecto Doppler procedente de nubes en nuestra Galaxia y de galaxias cercanas. Las mediciones de la polarización de la emisión o de la absorción de HI proporcionan información importante sobre campos magnéticos galácticos y, por consiguiente, aumentan los conocimientos sobre la estructura galáctica.

La banda 1 400-1 427 MHz también se utiliza para observaciones del continuum de las emisiones de banda ancha producidas por plasma caliente constituido cuando las estrellas calientan las nubes circundantes y mediante la interacción de electrones de alta energía en el campo magnético galáctico (emisión sincrotrónica).

#### **7.1.2.2 Banda 1 610,6-1 613,8 MHz**

La banda 1 610,6-1 613,8 MHz se utiliza para observaciones de la raya espectral del OH (molécula del radical oxhidrilo). La raya espectral OH, que tiene una frecuencia de reposo de 1 612 MHz, es una de las rayas espectrales más importantes para la radioastronomía y como tal figura en la Recomendación UIT-R RA.314. El OH fue el primer radical cósmico que se detectó en radiofrecuencias (1963), y continúa siendo una poderosa herramienta de investigación. El OH produce cuatro rayas espectrales, a frecuencias de aproximadamente 1 612, 1 665, 1 667 y 1 720 MHz, todas las cuales han sido observadas en nuestra propia Galaxia así como en galaxias externas. El estudio de las rayas espectrales OH proporciona información sobre una amplia gama de fenómenos astronómicos; por ejemplo, la formación de protoestrellas y la evolución de las estrellas. Para interpretar la mayoría de las observaciones realizadas en las rayas espectrales OH, es necesario medir la intensidad relativa de diversas rayas de este tipo. La pérdida de la capacidad para observar cualquiera de ellas puede impedir el estudio de algunas clases de fenómenos físicos.

Estas rayas espectrales OH están producidas por un proceso coherente en el cual una concentración de radicales OH irradian «por pasos» creando una emisión de banda estrecha. Las rayas están ligeramente ensanchadas debido a las condiciones físicas en esta concentración. El movimiento de estas concentraciones con respecto a la Tierra impone un desplazamiento por efecto Doppler en la emisión de rayas espectrales. La presencia de varias concentraciones en la fuente, que se desplazan a distintas velocidades, da lugar a un espectro más complicado consistente en un cierto número de perfiles de rayas Gaussianas superimpuestas de diferentes anchuras y amplitudes así como frecuencias ligeramente distintas (debido a los diferentes desplazamientos por efecto Doppler). Es necesaria toda la anchura de banda atribuida para acomodar el ensanchamiento y desplazamiento del espectro por los movimientos diferencial y totales de la fuente.

En algunas etapas de su evolución, ciertas clases de estrellas irradian únicamente en la raya de 1 612 MHz. El estudio de esta raya espectral permite a los astrónomos determinar algunas propiedades físicas de estas estrellas como la velocidad con la que se desprende gas de las mismas y el reciclado en el medio interestelar. Algunas propiedades de estas estrellas no pueden deducirse de ninguna otra observación astronómica. Las mediciones de OH emitido por las estrellas también se han utilizado para estimar la distancia al centro galáctico, para medir la masa del núcleo central de nuestra Galaxia y para estudiar la distribución espacial de la componente molecular en nuestra Galaxia y en galaxias externas. Por último, se han detectado misiones máser extremadamente intensas cerca de los núcleos de un cierto número de galaxias externas. Esta gran emisión de máser OH procedente de los núcleos galácticos permite a los astrónomos estudiar la temperatura y la densidad del gas molecular en su centro.

La raya espectral OH también se observa en los cometas; en este caso, hay muy poca flexibilidad a la hora de programar las observaciones de estos cuerpos celestes.



Las observaciones de las rayas espectrales se realizan mediante espectrómetros que pueden integrar simultáneamente la potencia en un gran número de canales de frecuencia (normalmente 256 a 4 096) distribuidos a través de la banda de frecuencias utilizada. La anchura y el número de canales debe ser lo suficientemente amplio como para reproducir con precisión el espectro de la emisión recibida por el radiotelescopio. Se utilizan anchuras de banda instantáneas típicas de 0,2-20 kHz, aproximadamente, por frecuencia, dependiendo del programa científico.

Las fuentes son pequeñas y las mediciones de su tamaño y estructura requieren a menudo observaciones que utilizan la técnica VLBI.

### **7.1.3 Criterios de protección requeridos**

#### **7.1.3.1 Banda 1 400-1 427 MHz**

Los niveles umbral de interferencia perjudicial causada a las observaciones radioastronómicas figuran en la Recomendación UIT-R RA.769.

Estos niveles umbral son criterios de protección por encima de los cuales los datos radioastronómicos se degradan y, en algunos casos, se destruyen. En principio, en circunstancias más bien idealizadas, si estos niveles se rebasan ligeramente puede ser posible compensarlos en el observatorio de radioastronomía aumentando el tiempo de observación. Con ello, la capacidad de canal del telescopio se reduce, con la correspondiente disminución del caudal científico. Si el nivel de interferencia, bajo las hipótesis de la Recomendación UIT-R RA.769 (por ejemplo, característica de antena, etc.) se eleva 10 dB o más por encima del nivel indicado en dicha Recomendación, el aumento del tiempo de observación ya no será una medida eficaz para garantizar que se proporciona al investigador datos científicos válidos. En ese caso, la estación de radioastronomía no podrá funcionar en la banda de frecuencias afectada y su capacidad de proporcionar servicios se perderá si no pueden aplicarse las técnicas adecuadas de reducción de la interferencia.

En la banda 1 400-1 427 MHz, para observaciones de rayas espectrales con antenas de una sola parábola realizadas utilizando una anchura de banda de canal (uno de los canales del espectrómetro) de 20 kHz, la dfp umbral para la interferencia perjudicial es  $-196 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ . Al realizar observaciones del continuum con antenas de una sola parábola se utiliza toda la anchura de la banda de 27 MHz, en cuyo caso la dfp umbral para la interferencia perjudicial es  $-180 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ .

Las observaciones efectuadas con la técnica VLBI, donde las señales de antenas ampliamente separadas se registran y se correlacionan tras las observaciones, son mucho menos susceptibles a la interferencia, como queda reflejado en el nivel de dfp umbral para observaciones VLBI en esta banda,  $-166 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , para una anchura de banda de 20 kHz.

#### **7.1.3.2 Banda 1 610,6-1 613,8 MHz**

En la banda 1 610,6-1 613,8 MHz, para observaciones de rayas espectrales con antenas de una sola parábola realizadas utilizando una anchura de banda de canal (uno de los canales del espectrómetro) de 20 kHz, la dfp umbral para la interferencia perjudicial es  $-194 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ .

### **7.1.4 Características de funcionamiento**

La banda 1 400-1 427 MHz es la más intensamente utilizada de todas las bandas de radioastronomía. Se emplea en todo el mundo, en todas las Regiones de la UIT y algunos radiotelescopios, tales como el radiotelescopio de síntesis del Dominion Radio Astrophysical Observatory (DRAO), Penticton, Canadá, funcionan permanentemente en esta banda. Los radiotelescopios de una sola antena se emplean para medir la densidad espectral de flujo de potencia (defp) integrada de fuentes con un diámetro angular pequeño y para cartografiar estructuras de gran tamaño angular que no pueden cartografiarse utilizando telescopios de síntesis.

Las observaciones en la banda 1 612 MHz se realizan en un cierto número de emplazamientos de radioastronomía en numerosos países de todo el mundo. Estas observaciones en la citada banda de 1 612 MHz a veces se llevan a cabo en cuerpos celestes; por ejemplo, en objetos tales como cometas, en los que se ha observado que producen emisiones transitorias en esta raya espectral. Las observaciones VLBI también se efectúan frecuentemente en esta banda, a veces entre redes VLBI de América del Norte y de Europa.

La mayor resolución angular proporcionada por los telescopios de síntesis hace posible cartografiar la estructura más detallada de las nubes de hidrógeno y las fuentes de las emisiones del continuum tales como los restos de supernova. Estos mapas cartografiados se combinan con mapas de resolución inferior obtenidos utilizando radiotelescopios de una sola antena para elaborar imágenes tridimensionales de alta calidad tanto de nuestra Galaxia como de otras galaxias. Los radiotelescopios de síntesis que utilizan sistemas de antenas múltiples pueden exigir entre una y doce exposiciones de 12 horas para elaborar un mapa completo de una zona del cielo.

Con objeto de facilitar la cartografía de estructuras de fuentes comparativamente grandes, algunos radiotelescopios de síntesis, tales como el instrumento empleado en el DRAO, utilizan sistemas de antenas relativamente pequeñas. Instrumentos de este tipo no tienen la opción de supresión óptima de los lóbulos laterales y, por consiguiente, son más vulnerables a la interferencia.

Las observaciones de rayas espectrales se realizan utilizando espectrómetros multicanal que pueden integrar simultáneamente la potencia en muchos canales de frecuencia (normalmente de 256 a 4 096) distribuidos a lo largo de la banda. El número de canales y sus anchuras de banda particulares se eligen de manera que se pueda muestrear adecuadamente el espectro de la emisión neta procedente de las nubes de hidrógeno en el haz de la antena.

Por regla general, las observaciones se realizan de forma diferencial. En el caso de las emisiones del continuum, puede cartografiarse la zona de cielo que rodea a la fuente radioeléctrica y detraer de la misma la emisión de fondo, o pueden realizarse mediciones de la potencia procedente de la dirección de la fuente (en la fuente) y en una o más posiciones cercanas en el cielo (fuera de la fuente). Sustrayendo los valores fuera de la fuente de los valores en la fuente, se separa la emisión originada en la fuente de otras contribuciones a la salida del receptor.

En el caso de observaciones de rayas espectrales, los espectros se registran en gamas de frecuencias que incluyan las emisiones de la raya de interés (espectros de rayas) y a continuación a una frecuencia desplazada de las emisiones de rayas espectrales, o a la misma frecuencia pero en una posición cercana en el cielo (espectros de referencia). Sustrayendo los espectros de referencia de los espectros de rayas se eliminan de los datos las contribuciones de ruido no deseado y otros efectos contaminantes.

Como la Galaxia está llena de nubes de hidrógeno neutro, los radiotelescopios detectan no solamente la emisión o absorción en las nubes en la antena del haz principal sino también una contribución muy significativa a través de los lóbulos laterales de la antena. Esta «radiación parásita» distorsiona los efectos y reduce los detalles cartográficos. La eliminación de ésta de los datos permite la medición a gran escala de todo el haz de la antena (en la medida de lo posible), y estimar la corrección de la radiación parásita. La interferencia y los grandes espacios «bloqueados» del cielo afectarán entonces la capacidad de trazar mapas en partes de ángulos grandes del cielo de fuentes de interferencia.

Las zonas cartográficas de emisiones radioeléctricas se llevan a cabo registrando la emisión en una cuadrícula de puntos que abarca la región de interés. Se pueden efectuar observaciones de raya espectral y del continuum. En el caso de utilizar radiotelescopios de antena única, la observación de cada punto de la cuadrícula es una indicación de la potencia total (en el caso del continuum) o del espectro de la emisión (en el caso de raya espectral) que procede de esa posición en el cielo; la separación entre los puntos de la cuadrícula no debe ser mayor que la mitad de la anchura de haz de

la antena. Cuando se efectúan observaciones utilizando un radiotelescopio de síntesis, donde el espacio que ha de ser cartografiado rebasa el campo de cartografía instantáneo, los puntos de la cuadrícula no deben estar más apartados que la mitad de la anchura de haz de una de las antenas del radiotelescopio.

Las observaciones VLBI se efectúan reduciendo la frecuencia de las señales a una banda base, digitalizándolas sin demodulación y registrándolas en cintas magnéticas u otros medios de almacenamiento junto con señales de temporización precisas. Los datos se transfieren entonces a un centro de procesamiento de datos VLBI, donde las señales se sincronizan y correlacionan. En consecuencia, el efecto total de la interferencia no se podría conocer hasta que finalice el periodo de observación y los datos hayan sido procesados.

## **7.2 SMS**

### **7.2.1 Banda de transmisión atribuida**

La banda 1 525-1 559 MHz (espacio-Tierra) es la banda de transmisión atribuida.

El número 5.356 del RR indica que: «El empleo de la banda 1 544-1 545 MHz por el servicio móvil por satélite (espacio-Tierra) está limitado a las comunicaciones de socorro y seguridad (véase el Artículo 31)».

### **7.2.2 Aplicación**

Las bandas 1 525-1 544 MHz y 1 545-1 559 MHz son utilizadas únicamente por los sistemas OSG y debido a las características de la antena de las estaciones terrenas del SMS (antena omnidireccional), será difícil para los sistemas no OSG utilizar estas bandas. Sin embargo, la Recomendación UIT-R M.1184 indica las características de un sistema del SMS no OSG que puede emplear estas bandas.

La banda 1 544-1 545 MHz ha sido utilizada por el sistema mundial de búsqueda y salvamento por satélite Cospas-Sarsat durante muchos años. Cospas-Sarsat es un sistema de satélites diseñado para proporcionar alertas de socorro y datos de localización para ayudar en las operaciones de búsqueda y salvamento (SAR) utilizando vehículos espaciales y facilidades en tierra a fin de detectar y ubicar las señales de radiobalizas de socorro que funcionan en 406 MHz o 121,5 MHz. Los satélites no OSG (sistema LEOSAR) retransmiten las señales de 121,5 MHz así como los datos extraídos de las señales de 406 MHz a la frecuencia de 1 544,5 MHz para su procesamiento en tierra.

### **7.2.3 Niveles basados en disposiciones reglamentarias**

La atenuación requerida es  $43 + 10 \log P$  dBc o 60 dBc tomando entre ambos el valor menos estricto, siendo  $P$  la potencia de cresta a la entrada de la antena (W) en cualquier banda de 4 kHz.

### **7.2.4 Características de funcionamiento**

#### **7.2.4.1 Sistema G del SMS basado en la Recomendación UIT-R M.1184**

CUADRO 14

**Características técnicas de los sistemas móviles por satélite en la OSG  
(enlace de retorno del servicio)**

Parámetros del sistema	Sistema G	
	Enlace 1	Enlace 2
<i>Polarización</i>		
Enlace de conexión	Circular levógira	Circular levógira
Enlace de servicio	Circular dextrógira	Circular dextrógira
Sentido de transmisión	espacio-Tierra	espacio-Tierra
<i>Bandas de frecuencias (GHz)</i>		
Enlace de conexión	14	14
Servicio	0,4	1,5
Órbita	Circular	Circular
Altitud (km)	1 500	1 500
Separación entre satélites (grados)	30	30
Número de satélites	48	48
Planos orbitales	4	4
Ángulo de inclinación (grados)	74	74
<i>Antenas del satélite</i>		
Número de haces (enlace de servicio)	1	6
Tamaño del haz (km <sup>2</sup> )	$5 \times 10^7$	$8,4 \times 10^6$
Valor medio de los lóbulos laterales del haz (dB)	-3	-2
Reutilización de frecuencias del haz	1	0,6
<i>Características del enlace</i>		
Máxima p.i.r.e. por haz (dBW)	-2	2,8
Ganancia media por haz (dBi)	3	13
p.i.r.e. por portadora (dBW)	-15	-7,2
p.i.r.e. por usuario sin apantallar (dBW)	No aplicable	No aplicable
p.i.r.e. por usuario apantallado (dBW)	No aplicable	No aplicable
p.i.r.e. por canal AMDC (dBW)	-5	-10,2
G/T de usuario (dB(K <sup>-1</sup> ))	-23,8	-14
Mínimo ángulo de elevación (grados)	7	10
<i>Parámetros de transmisión</i>		
Modulación	MDP-4	MDP-4
Codificación	FEC	FEC
Esquema de acceso	AMDF/AMDC	AMDF/AMDC
Esquema dúplex	Completo	Completo
Longitud de trama (ms)	No aplicable	No aplicable
Velocidad de ráfaga (kbit/s)	No aplicable	No aplicable

### 7.2.4.2 COSPAS-SARSAT

Aunque la constelación LEOSAR nominal comprende sólo cuatro satélites (dos COSPAS y dos SARSAT), los satélites que se han tenido en cuenta en el estudio incluyen dos satélites de construcción rusa con una carga útil COSPAS: NADEZHDA-1 y NADEZHDA-6, así como cinco satélites de construcción estadounidense con una carga útil SARSAT: NOAA-14 a 18. En el Cuadro 15 aparecen las características orbitales de estos satélites.

CUADRO 15

#### Características de los satélites en el sistema COSPAS-SARSAT

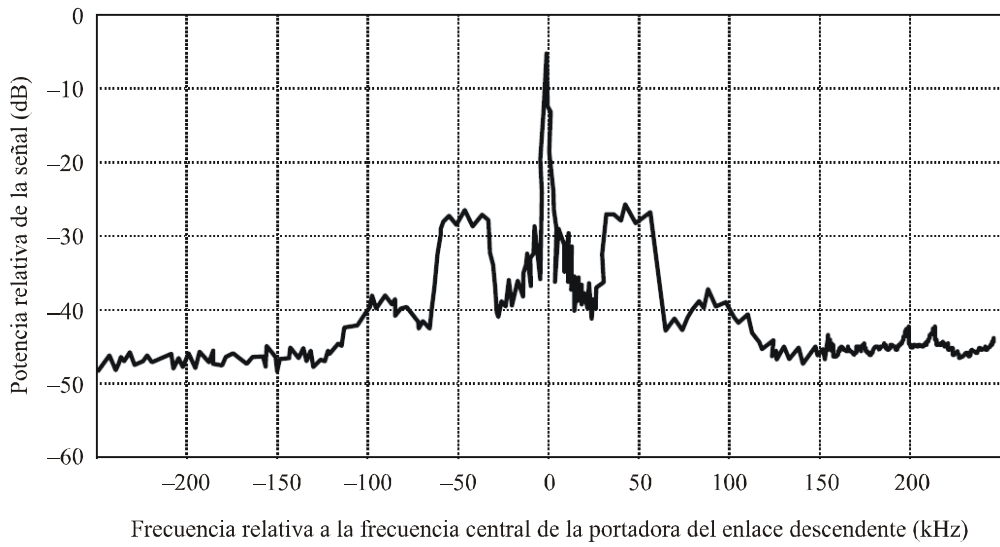
Nombre de la carga útil	Nombre del satélite	Fecha de lanzamiento	Altitud (km)	Inclinación (grados)	Anomalía media (grados)	Ascensión recta del nodo ascendente (grados)
COSPAS-4	NADEZHDA-1	1989	1 000	82,96	302	151
COSPAS-9	NADEZHDA-6	2000	689	98,38	131	219
SARSAT-6	NOAA-14	1994	863	99,08	204	289
SARSAT-7	NOAA-15	1998	825	98,51	213	245
SARSAT-8	NOAA-16	2000	862	99,02	134	198
SARSAT-9	NOAA-17	2002	824	98,65	155	312
SARSAT-10	NOAA-18	2005	868	98,75	22	184

Las especificaciones de la carga útil están disponibles en la dirección web de COSPAS-SARSAT: <http://www.cospas-sarsat.org/DocumentsTSeries/T3OCT03.pdf>. Este documento contiene especificaciones sobre el nivel de las emisiones no esenciales y sobre los diagramas de antena de las cargas útiles COSPAS y SARSAT.

#### 7.2.4.2.1 COSPAS

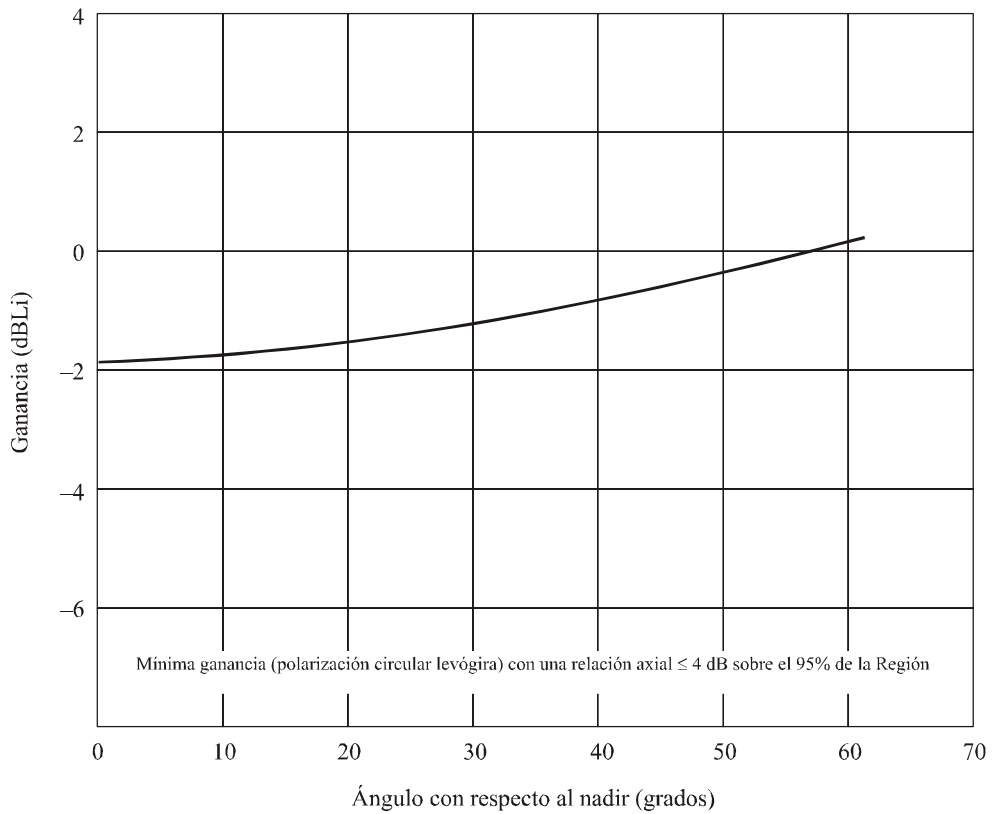
La Fig. 25 representa el espectro típico de la señal COSPAS en su anchura de banda atribuida. El nivel de las emisiones no esenciales COSPAS se limita a  $-60$  dBW. Sin embargo, no se indica ninguna anchura de banda de referencia. La Fig. 26 representa el diagrama de antena del enlace descendente COSPAS.

FIGURA 25  
Espectro de la señal COSPAS de 1 544,5 MHz



I 2091-25

FIGURA 26  
Diagrama de la antena COSPAS

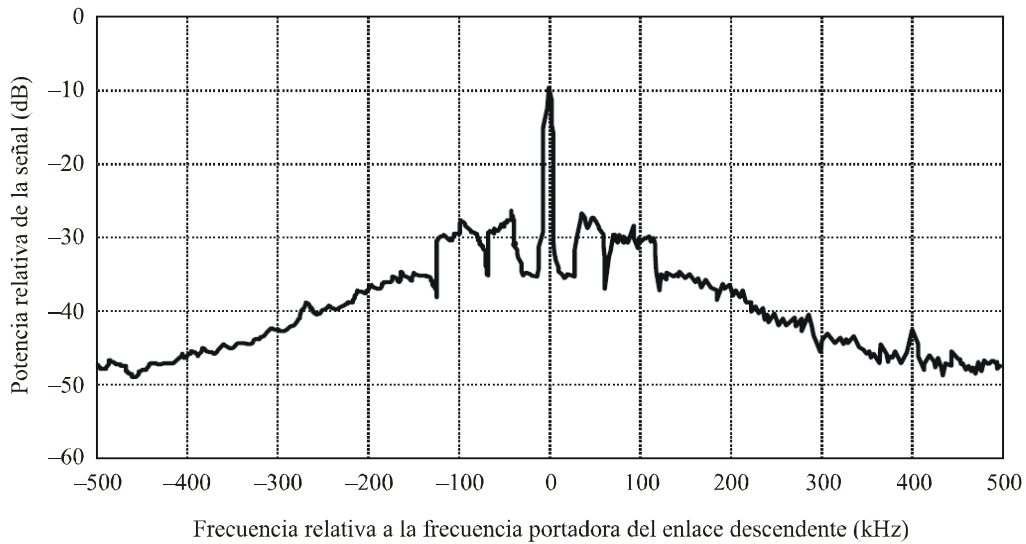


I 2091-26

7.2.4.2.2 SARSAT

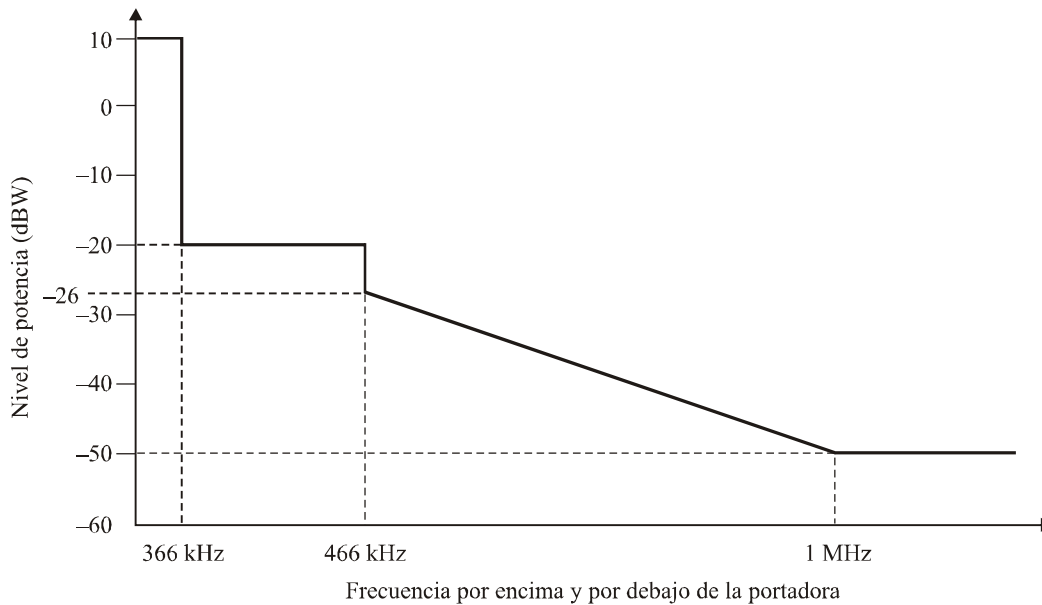
La Fig. 27 presenta el espectro típico de la señal SARSAT en su anchura de banda atribuida. El nivel de las emisiones no deseadas SARSAT se limita a las máscaras que aparecen en las Figs. 28 y 29 para las emisiones discreta y similar al ruido, respectivamente. No obstante, no se indica ninguna anchura de banda de referencia para el caso de emisiones discretas. La Fig. 30 representa el diagrama de antena del enlace descendente SARSAT.

FIGURA 27  
Espectro de la señal SARSAT de 1 544,5 MHz



1 2091-27

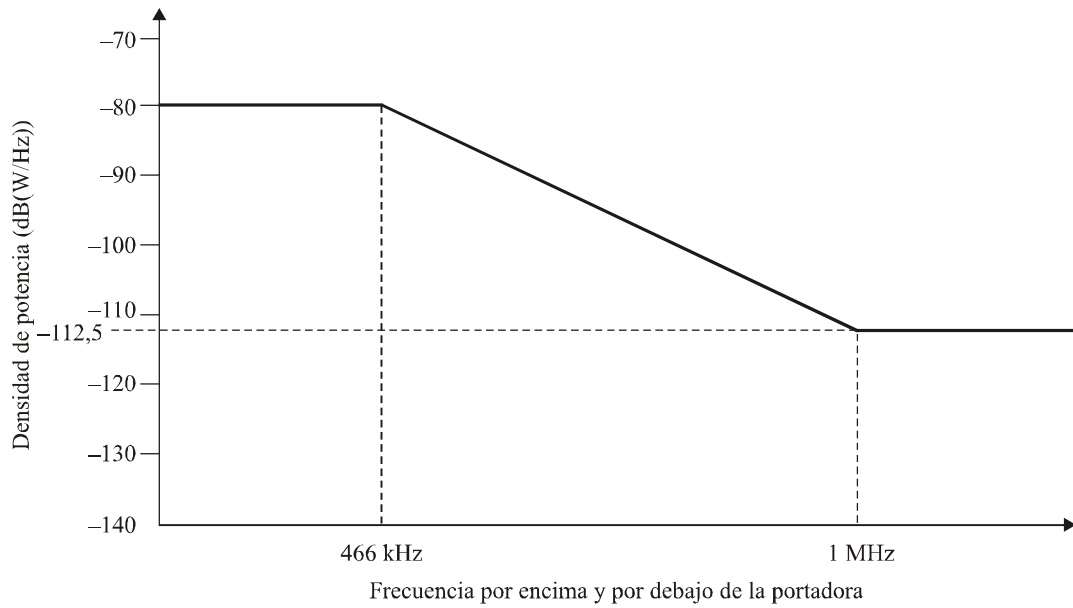
FIGURA 28  
Límites de la emisión discreta no deseada



1 2091-28

FIGURA 29

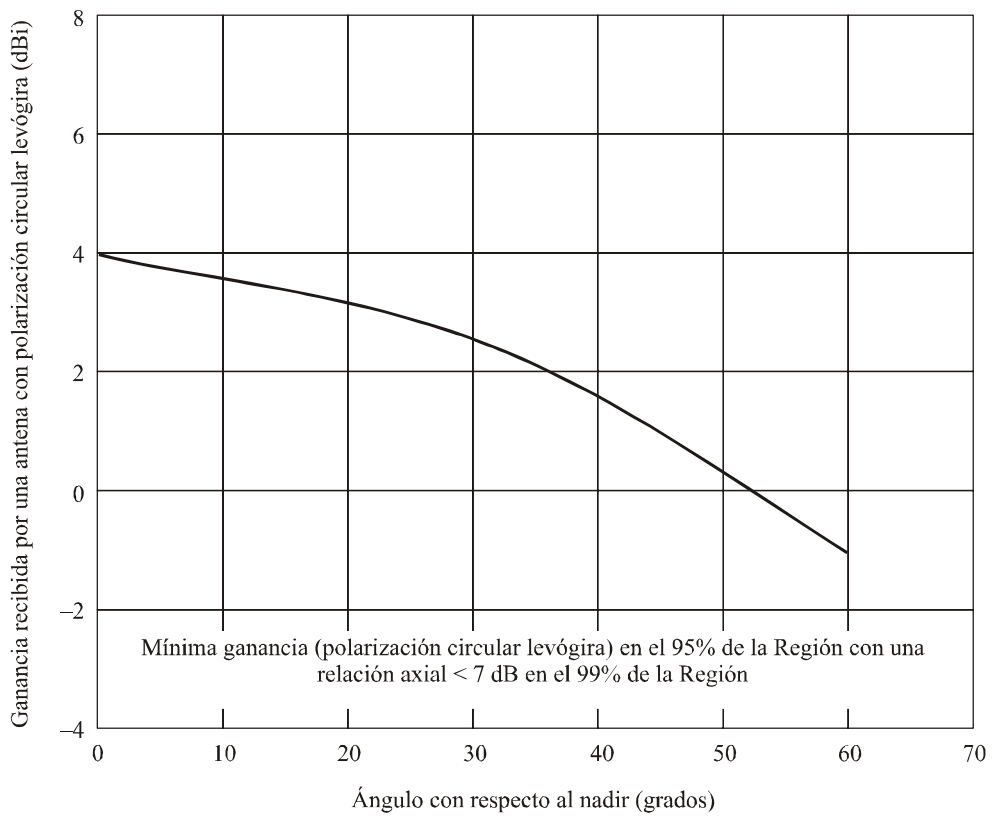
Límites de la emisión similar al ruido no deseada



I 2091-29

FIGURA 30

Diagrama de la antena SARSAT



I 2091-30



### 7.3 Umbral de compatibilidad

Para el caso de constelaciones no OSG, puede obtenerse un umbral de dfpe a partir del umbral de dfp que figura en la Recomendación UIT-R RA.769 y la máxima ganancia de antena que aparece en la Recomendación UIT-R RA.1631 que es de 63 dBi para esta banda de frecuencias. El umbral de dfpe para la banda 1 400-1 427 MHz es, por lo tanto,  $-243$  (dB(W/m<sup>2</sup>)) en toda la banda 1 400-1 427 MHz para observaciones del continuum con antenas de una sola parábola;  $-259$  (dB(W/m<sup>2</sup>)) en cualquier anchura de banda de 20 kHz de la banda 1 400-1 427 MHz para observaciones de la raya espectral con antenas de una sola parábola y  $-258$  (dB(W/m<sup>2</sup>)) en cualquier anchura de banda de 20 kHz de la banda 1 610,6-1 613,8 MHz para observaciones de la raya espectral con antenas de una sola parábola.

### 7.4 Evaluación de la interferencia

#### 7.4.1 Metodología utilizada para evaluar el nivel de interferencia

La Recomendación UIT-R M.1583 proporciona un método para evaluar los niveles de las emisiones no deseadas producidas por un sistema no OSG en emplazamientos de radioastronomía. Se basa en una división del cielo en células de tamaño casi igual y en la realización de un análisis estadístico donde la dirección de puntería de la antena del SRA y el instante de inicio de la constelación de satélites son las variables aleatorias. Para cada prueba, se promedia el nivel de la emisión no deseada (expresada en términos de dfpe) a lo largo de un periodo de 2 000 segundos.

El diámetro de la antena del SRA es 100 metros, lo que corresponde a una máxima ganancia de antena de aproximadamente 63 dBi en la banda 1 400-1 427 MHz y 64 dBi en la banda 1 610,6-1 613,8 MHz. El diagrama de antena y la máxima ganancia de antena se han obtenido de la Recomendación UIT-R RA.1631.

Las coordenadas geográficas elegidas son las siguientes:

Latitud: 46,9°      Longitud: 2,4°

Las simulaciones se llevaron a cabo considerando un ángulo de elevación de 0° para obtener resultados completamente generales.

#### 7.4.2 Cálculo del nivel de interferencia

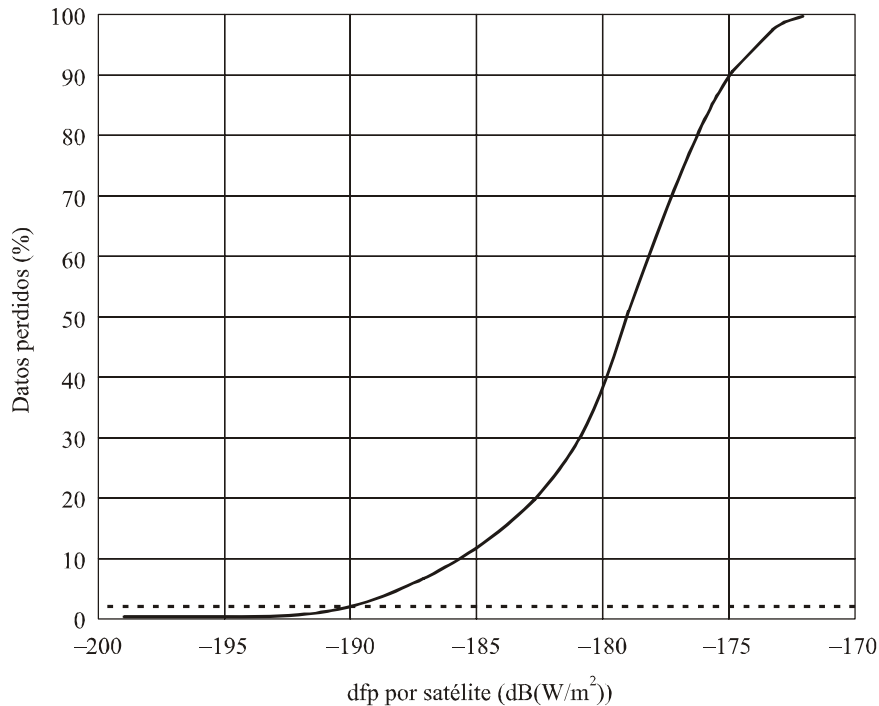
##### 7.4.2.1 Observaciones del continuum en la banda 1 400-1 427 MHz

###### 7.4.2.1.1 Sistema G basado en la Recomendación UIT-R M.1184

La Fig. 31 muestra el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el umbral de dfpe en el emplazamiento de radioastronomía, para un valor determinado de dfp por satélite del SMS (como se indica en la Recomendación UIT-R RA.1513, rebasar este umbral equivale a perder datos).

FIGURA 31

Porcentaje de datos perdidos en función de la dfp por satélite en el emplazamiento del SRA



I 2091-31

Para satisfacer el nivel umbral de dfpe durante más del 98% del tiempo de media en todo el cielo, cada satélite del sistema G del SMS debe generar una dfp inferior a  $-190 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en la banda de radioastronomía.

La Fig. 32 muestra para cada célula del cielo, y para la dfp (por satélite) de  $-190 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , el porcentaje de tiempo en que se rebasa el umbral de dfpe.

El acimut de  $0^\circ$  es el Norte verdadero y aumenta de Oeste a Este.

#### 7.4.2.1.2 COSPAS-SARSAT

La Fig. 33 muestra el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el umbral de dfpe en el emplazamiento de radioastronomía para un valor determinado de dfp por satélite (como se explica en la Recomendación UIT-R RA.1513, rebasar este umbral equivale a perder datos).

FIGURA 32

Porcentaje de datos perdidos en el cielo para el valor de dfp de  $-190 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en el emplazamiento del SRA

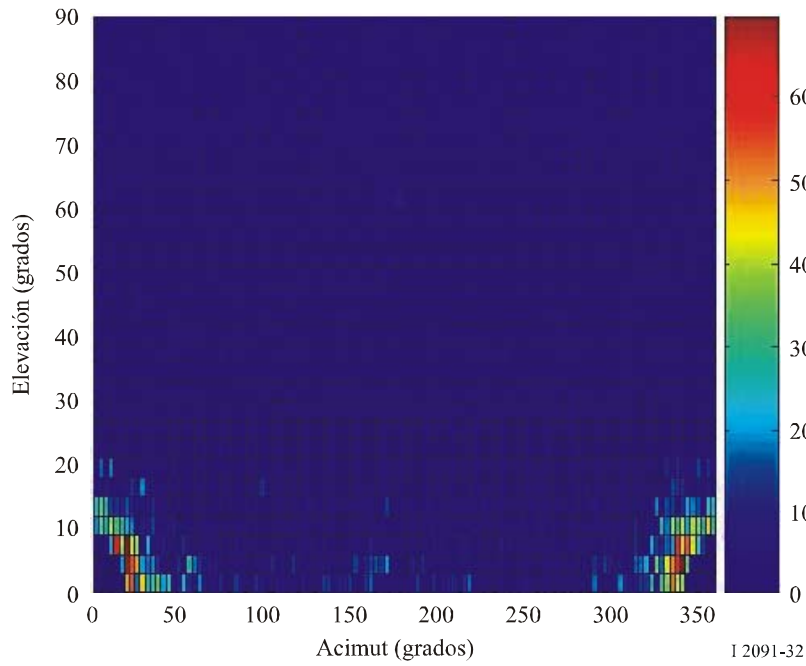
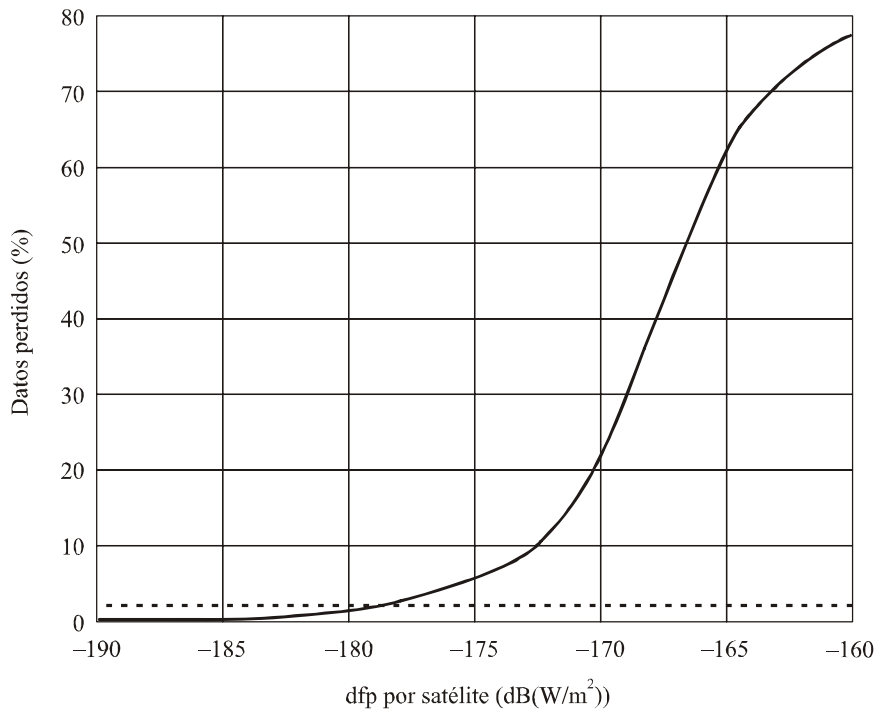


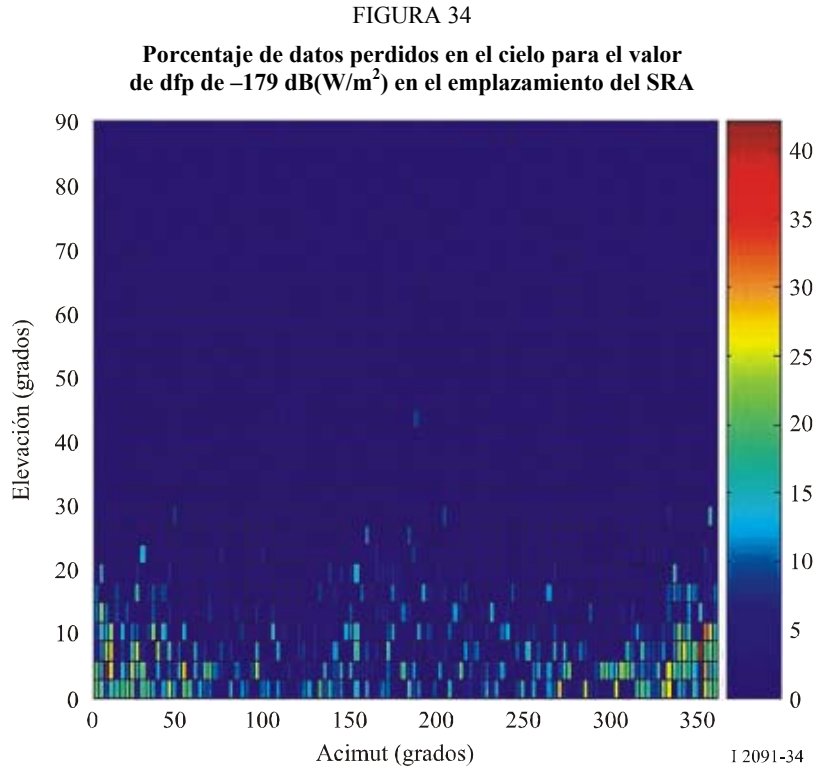
FIGURA 33

Porcentaje de datos perdidos en función de la dfp por satélite en el emplazamiento del SRA



Para satisfacer el nivel umbral de dfpe durante más del 98% del tiempo de media en todo el cielo, cada satélite LEOSAR debe generar una dfp inferior a  $-179 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en la banda de radioastronomía.

La Fig. 34 muestra para cada célula del cielo, y para la  $dfp$  (por satélite) de  $-179 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el umbral de  $dfpe$ . El acimut de  $0^\circ$  es el Norte verdadero y aumenta de Oeste a Este.



#### 7.4.2.2 Observaciones de la raya espectral en la banda 1 400-1 427 MHz

Este valor de  $dfp$  por satélite puede deducirse directamente sin realizar más simulaciones a partir del valor necesario para las observaciones del continuum utilizando la siguiente fórmula:

$$dfp_{espectral} = dfp_{continuum} + dfpe_{espectral} - dfpe_{continuum} \quad (10)$$

Para satisfacer el umbral de  $dfpe$  de  $-259 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en  $20 \text{ kHz}$  durante más del 98% del tiempo de media en todo el cielo, cada satélite del sistema G del SMS debe generar una  $dfp$  inferior a  $-206 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en cualquier anchura de banda de  $20 \text{ kHz}$  de la banda de radioastronomía y cada satélite COSPAS-SARSAT debe generar una  $dfp$  inferior a  $-194 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en cualquier anchura de banda de  $20 \text{ kHz}$  de la banda de radioastronomía.

#### 7.4.2.3 Observaciones de la raya espectral en la banda 1 610,6-1 613,8 MHz

La potencia recibida por el receptor de la estación de radioastronomía a fin de compararla con el nivel umbral perjudicial es:

$$P = media(dfp) \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot \sum_{i=1}^n G_i \quad (11)$$

siendo:

- $P$ : potencia recibida en la anchura de banda de radioastronomía (W)
- $dfp$ :  $dfp$  radiada por un satélite en la estación de radioastronomía en la anchura de banda de radioastronomía (supuesta constante) ( $\text{W/m}^2$ )
- $\lambda$ : longitud de onda (m)

- $n$ : número de satélites en visibilidad y en actividad  
 $G_i$ : ganancia de la antena de radioastronomía en dirección del satélite  $i$ .

La media se calcula para un periodo de 2 000 segundos de observación del SRA.

A partir de esta ecuación puede observarse que la diferencia de una frecuencia a otra viene determinada por: el valor de  $\lambda$ , la ganancia de la antena del radiotelescopio, el nivel umbral perjudicial y las condiciones de propagación. Un estudio llevado a cabo por el GT 7D del UIT-R ya ha demostrado que la ganancia de antena apenas tiene influencia en los resultados, razón por la cual se ha elegido un diámetro de antena de 100 m para todas las frecuencias en todos los estudios. Además, para las frecuencias aquí consideradas, las condiciones de propagación no cambian mucho. Por lo tanto, puede considerarse que la diferencia en la dfp por satélite de una frecuencia a otra será debida principalmente a la longitud de onda y al nivel umbral perjudicial.

En consecuencia, puede escribirse:

$$dfp_2 \approx dfp_1 + P_2 - P_1 + 20 \log\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right) = dfp_1 + P_2 - P_1 + 20 \log\left(\frac{f_2}{f_1}\right) \quad (12)$$

siendo:

- $dfp_1$ : dfp por satélite que debe respetarse a la frecuencia 1 (dB(W/m<sup>2</sup>))  
 $dfp_2$ : dfp por satélite que debe respetarse a la frecuencia 2 (dB(W/m<sup>2</sup>))  
 $P_1$ : nivel umbral perjudicial a la frecuencia 1 (dBW)  
 $P_2$ : nivel umbral perjudicial a la frecuencia 2 (dBW)  
 $f_1$ : frecuencia 1 (MHz)  
 $f_2$ : frecuencia 2 (MHz).

Para satisfacer el umbral de dfpe de  $-258$  dB(W/m<sup>2</sup>) en 20 kHz durante más del 98% del tiempo de media en todo el cielo, cada satélite del sistema G del SMS debe generar una dfp inferior a  $-205$  dB(W/m<sup>2</sup>) en cualquier anchura de banda de 20 kHz de la banda de radioastronomía y cada satélite COSPAS-SARSAT debe general una dfp inferior a  $-193$  dB(W/m<sup>2</sup>) en cualquier anchura de banda de 20 kHz de la banda de radioastronomía.

### 7.4.3 Valores obtenidos

Las emisiones no deseadas de los satélites del SMS no OSG que utilizan la banda 1 525-1 559 MHz y que caen en las bandas del SRA 1 400-1 427 MHz y 1 610,6-1 613,8 MHz pertenecen al dominio no esencial.

#### 7.4.3.1 Sistema G del SMS basado en la Recomendación UIT-R M.1184

En el Cuadro 16 aparece una evaluación de la dfp generada por el sistema G del SMS en una estación de radioastronomía basándose en la máscara de emisión no esencial contenida en el Apéndice 3 del RR.

CUADRO 16

**Atenuación de redes del SMS no OSG en la banda 1 525-1 559 MHz  
necesaria para alcanzar el nivel de dfpe perjudicial**

<b>Sistema G</b>	
p.i.r.e. por haz y por portadora en la banda del SMS (dBW)	-7,2
dfp en la banda del SMS (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-141,7
Ganancia de antena (dBi)	13,0
Potencia del emisión por haz y por canal en la banda del SMS (dBW)	-20,2
43 + 10 log <i>P</i>	22,8
Atenuación no esencial extraída del Apéndice 3 del RR (dBc en 4 kHz)	22,8
Nivel no esencial extraído del Apéndice 3 del RR (dB(W en 4 kHz))	-43
Nivel no esencial en la banda 1 400-1 427 MHz (dBW)	-5
dfp no esencial en la banda del SRA (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-126
dfp requerida en la banda pasiva (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-206

Cabe señalar que para calcular la cantidad total de emisiones no esenciales en la banda del SRA se consideró que dichas emisiones presentan un nivel constante en toda la banda citada. Esta hipótesis es muy estricta y evidentemente no representa la realidad puesto que estas emisiones no esenciales aparecen generalmente a algunas frecuencias discretas. Por lo tanto se necesitan más trabajos para tener en cuenta esta componente discreta de emisiones no esenciales a fin de obtener unos niveles de emisiones no deseadas del SMS más realistas en la banda del SRA.

Las mismas observaciones son válidas para la banda 1 610,6-1 613,8 MHz.

#### 7.4.3.2 COSPAS-SARSAT

En los Cuadros 17 (caso del nadir) y 18 (caso del horizonte) aparece el cálculo de la dfp radiada sobre el suelo por ambos sistemas.

No figura ninguna anchura de banda de referencia en las especificaciones para el sistema SARSAT o para el sistema COSPAS en el caso de las emisiones no esenciales discretas. Sin embargo, se recibió información del fabricante de las cargas útiles del SARSAT. Las mediciones de emisiones no esenciales se realizan en una anchura de banda de referencia de 10 kHz. Se hizo la misma hipótesis para el caso COSPAS.

CUADRO 17

**Máxima dfp radiada en el nadir**

<b>Sistema</b>	<b>Nivel no esencial (dBW)</b>	<b>Anchura de banda de referencia (kHz)</b>	<b>Altitud (km)</b>	<b>Ganancia de la antena (dBi)</b>	<b>Máxima dfp (dB(W/m<sup>2</sup>))</b>
SARSAT	-38	27 000	825	4	-164
	-47	20	825	4	-172
COSPAS	-57	20	1 000	-2	-190
	-57	20	690	-2	-187

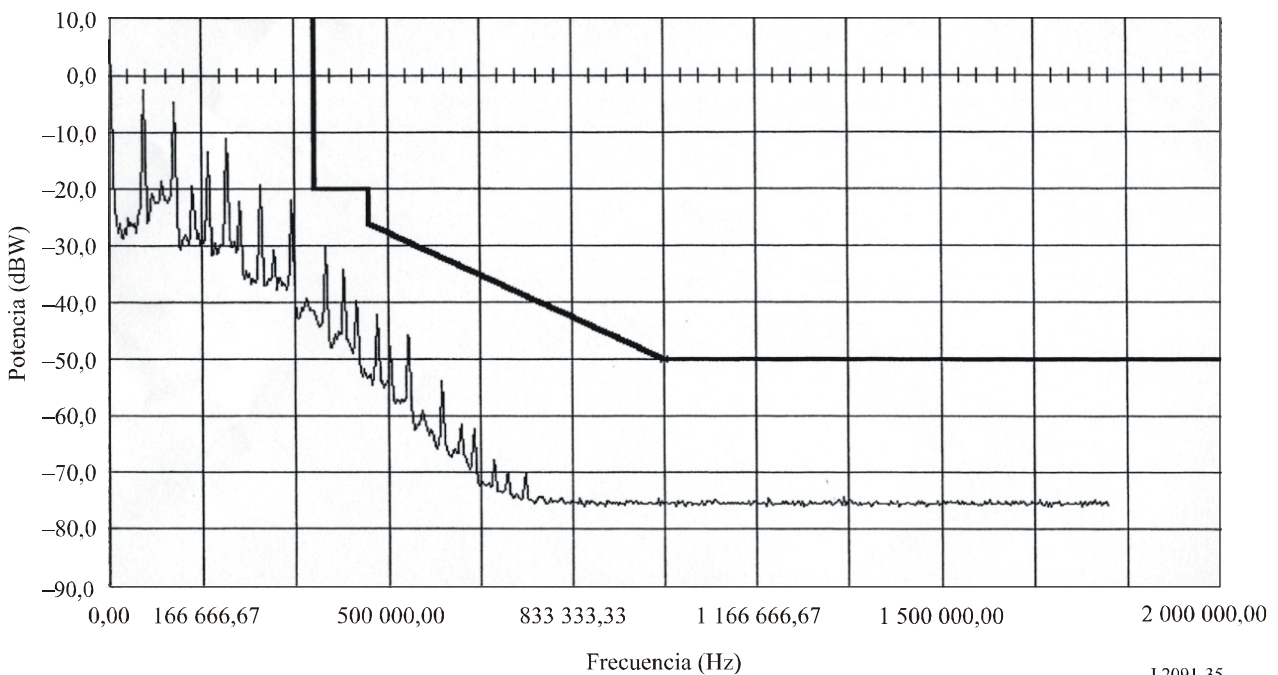
CUADRO 18

**Máxima dfp radiada para un ángulo de 60° (con respecto al horizonte)**

Sistema	Nivel no esencial (dBW)	Anchura de banda de referencia (kHz)	Distancia oblicua (km)	Ganancia de la antena (dBi)	Máxima dfp (dB(W/m <sup>2</sup> ))
SARSAT	-38	27 000	2 272	-1	-177
	-47	20	2 272	-1	-186
COSPAS	-57	20	2 973	0	-197
	-57	20	1 792	0	-193

La Fig. 35 ha sido proporcionada por el fabricante de las cargas útiles del sistema SARSAT. Muestra que, de hecho, el nivel de la emisión no esencial se encuentra 25 dB por debajo de la especificación. Por consiguiente, la dfp real radiada sobre la superficie en las bandas de radioastronomía estaría 25 dB por debajo de los valores indicados en los Cuadros 17 y 18. En consecuencia, puede considerarse que es posible satisfacer el nivel de dfp por satélite determinado en § 7.4.2 sin imponer ninguna restricción indebida a la carga útil. Como las cargas útiles de SARSAT representan el caso más desfavorable, puede extraerse la misma conclusión en el caso de las cargas útiles del COSPAS.

FIGURA 35  
Medición de las emisiones no deseadas del SARSAT



**7.5 Técnicas de reducción de la interferencia para el SRA**

Existen diversos métodos, incluidos los que se describen a continuación, que se pueden considerar para reducir las emisiones no deseadas procedentes de transmisores de satélite en un radiotelescopio.

*Característica del lóbulo lateral de la antena:* La iluminación de la apertura de los radiotelescopios generalmente se optimiza para la relación  $G/T$ ; es decir, la ganancia del telescopio dividida por la temperatura de ruido del sistema. El objetivo es maximizar la relación  $S/N$  en el caso de fuentes puntuales. Un factor fundamental de este método es reducir la radiación terrestre que se introduce a través de los lóbulos laterales lejanos. Inevitablemente, ello da lugar al correspondiente aumento en los niveles de lóbulos laterales cercanos. La experiencia ha demostrado que la mayoría de los radiotelescopios satisfacen la máscara de la envolvente de los lóbulos laterales que figura en la Recomendación UIT-R SA.509 en casi todas las direcciones.

*Supresión en tiempo y/o frecuencia:* Esta técnica se puede aplicar en algunos casos en que la interferencia a la banda de frecuencias de radioastronomía se puede identificar plenamente y sin equívocos en tiempo y/o frecuencia.

## 7.6 Resultados de los estudios

### 7.6.1 Resumen

El Cuadro 19 que aparece a continuación resume los niveles umbral de dfpe y de dfp necesarios para proteger las estaciones de radioastronomía contra las emisiones no deseadas de las cargas útiles COSPAS-SARSAT en la banda 1 544-1 545 MHz.

CUADRO 19

#### Niveles umbral para la protección del SRA contra las emisiones no deseadas del COSPAS-SARSAT

Banda del SRA (MHz)	Tipo de observaciones	Anchura de banda de referencia	Umbral de dfpe (dB(W/m <sup>2</sup> ))	Umbral de dfp por satélite (dB(W/m <sup>2</sup> ))
1 400-1 427	Continuum	27 MHz	-243	-179
1 400-1 427	Raya espectral	20 kHz	-259	-194
1 610,6-1 613,8	Raya espectral	20 kHz	-258	-193

Cuando se tienen en cuenta las especificaciones de las cargas útiles de COSPAS y SARSAT, parece que la dfp generada en la superficie y en las bandas del SRA por las emisiones no deseadas rebasan el nivel umbral de dfp por satélite indicado en el Cuadro 17 en un valor entre 2 y 13 dB para observaciones del continuum y en un valor entre 5 dB y 22 dB para observaciones de la raya espectral.

Sin embargo, las bandas del SRA están situadas a una distancia de 65 MHz y 117 MHz de la banda del COSPAS-SARSAT, respectivamente. Además, el nivel de emisiones no deseadas medido en la realidad en las cargas útiles SARSAT es unos 25 dB inferior a la especificación. Por tanto, las cargas útiles SARSAT satisfacen los límites de dfp que figuran en el Cuadro 17. Como SARSAT representa el caso más desfavorable, puede hacerse extensiva esta conclusión también al COSPAS.

### 7.6.2 Conclusiones

Es posible satisfacer el nivel de dfp por satélite determinado en el Cuadro 19 sin imponer ninguna restricción adicional al sistema COSPAS-SARSAT.



## **8 Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA que funcionan en la banda 1 400-1 427 MHz y sistemas del SRS (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 1 452-1 492 MHz**

### **8.1 SRA**

#### **8.1.1 Banda atribuida**

La banda 1 400-1 427 MHz está atribuida únicamente a los siguientes servicios pasivos, a título primario: el SRA, el SETS (pasivo) y el SIE (pasivo).

El número 5.340 del RR prohíbe todas las emisiones en esta banda.

#### **8.1.2 Tipo de observaciones**

La banda 1 400-1 427 MHz se utiliza más intensamente que cualquier otra, en todas las Regiones del UIT-R. La utilización principal de la banda con fines de radioastronomía es efectuar observaciones de raya espectral del hidrógeno atómico cósmico neutral (también referido como HI), que tiene una frecuencia de reposo de 1 420,406 MHz. Este material es por mucho el componente principal de nuestra Galaxia y otras galaxias, y aparecen en enormes nubes estructuradas complejas. Esta línea se observa tanto en la emisión como en la absorción, y está ampliada y desviada en frecuencia por desplazamientos Doppler debido a movimientos locales y de propagación en el medio y de las estructuras de nubes. En consecuencia, las observaciones de HI se pueden utilizar para trazar un mapa de la distribución del material y sus movimientos en nuestra Galaxia y en las otras. De esta manera se puede explorar la estructura de nuestra Galaxia con fines cartográficos y observar cómo se mueve el material.

La atribución 1 400-1 427 MHz es suficientemente amplia para dar cabida a la emisión desplazada por efecto Doppler procedente de nubes de nuestra Galaxia y de galaxias cercanas. Las mediciones de la polarización de la emisión o absorción de HI permiten obtener información importante sobre campos magnéticos galácticos y de ahí un conocimiento creciente de la estructura galáctica.

La banda 1 400-1 427 MHz también se usa para observaciones del continuum de las emisiones de banda ancha producidas por plasma caliente formado cuando las estrellas recalientan las nubes circundantes y por la interacción de electrones de alta energía (movimiento rápido) en el campo magnético galáctico (emisión sincrotrónica).

#### **8.1.3 Criterios de protección requeridos**

Los niveles de umbral para la interferencia perjudicial a las observaciones radioastronómicas vienen dados en la Recomendación UIT-R RA.769, donde se presenta una lista de los niveles de las emisiones no deseadas que incrementarán el error de medición en un 10%. La banda se utiliza para observaciones de raya espectral y del continuum. En la banda 1 400-1 427 MHz, las observaciones de la raya espectral con antena parabólica simple que emplea una anchura de banda de canal (uno de los canales del espectrómetro) de 20 kHz, el límite de dfp umbral es  $-196 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ . Para efectuar observaciones del continuum con antena parabólica simple, se utiliza la totalidad de la anchura de la banda de 27 MHz, para cuyo caso el límite de dfp umbral para la interferencia perjudicial es  $-180 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ .

Las observaciones de interferometría con línea de base muy larga (VLBI, *very long baseline interferometry*), donde las señales de antenas ampliamente separadas se registran y correlacionan después de las observaciones, son mucho menos susceptibles a la interferencia. Esto se refleja en el nivel de dfp umbral para las observaciones VLBI en esta banda,  $-166 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , para una anchura de banda de 20 kHz.

Los umbrales de los niveles de interferencia perjudicial al SRA como se define y calcula en la Recomendación UIT-R RA.769 son criterios de protección por encima de los cuales los datos de radioastronomía se degradan y, en algunos casos, se destruyen. En principio, en circunstancias algo ideales, si dichos niveles se exceden muy ligeramente será posible compensarlos en el observatorio de radioastronomía por medio del aumento del tiempo de observación. En este caso, la capacidad del canal del telescopio se reduce, con la correspondiente reducción del caudal científico. Si el nivel de la interferencia, bajo las hipótesis de la Recomendación UIT-R RA.769 (por ejemplo, características de la antena, etc.), llega a ser 10 dB o más por encima del valor definido en la Recomendación UIT-R RA.769 el aumento del tiempo de observación ya no será eficaz para asegurar que se proporcionan datos válidos para los científicos. La estación de radioastronomía no podrá funcionar en la banda de frecuencias afectada, y si no pueden aplicarse técnicas apropiadas de reducción de la interferencia se perderá su capacidad de proporcionar servicios.

#### **8.1.4 Características operacionales**

La banda 1 400-1 427 MHz es la banda de radioastronomía utilizada más intensamente. Se emplea en todo el mundo, en todas las Regiones de la UIT, y algunos radiotelescopios tales como el radiotelescopio de síntesis en el observatorio de dominio radioastrofísico (DRAO) de Penticton, Canadá, funciona permanentemente en esta banda. Los radiotelescopios de antena única se utilizan para medir la densidad espectral de flujo de potencia (defp) integrada de las fuentes de diámetro angular pequeño y trazar estructuras de tamaño angular que no pueden ser delineadas con la utilización de telescopios de síntesis.

La elevada resolución angular ofrecida por los telescopios de síntesis hace posible trazar la estructura más fina en las nubes de hidrógeno y fuentes de emisión del continuum tal como fragmentos de supernova. Estos mapas se combinan entonces con los mapas de baja resolución obtenidos con los radiotelescopios de antena única para elaborar imágenes tridimensionales de alta calidad de nuestra Galaxia y de otras. Los radiotelescopios de síntesis que utilizan sistemas de antenas múltiples pueden requerir entre una a doce exposiciones de 12 h para efectuar un mapa completo de una zona del cielo. Para facilitar el trazado de mapas en estructuras de fuentes comparativamente grandes, algunos radiotelescopios de síntesis, tal como el instrumento utilizado en el DRAO, emplea conjuntos de antenas comparativamente pequeñas. Los instrumentos de esta clase no tienen la opción de la supresión óptima del lóbulo lateral y, por tanto, son más vulnerables a la interferencia.

Las observaciones de raya espectral se efectúan utilizando espectrómetros multicanal que pueden integrar simultáneamente la potencia en muchos canales de frecuencias (típicamente 256 a 4 096) distribuidos en toda la banda. El número de canales y sus anchuras de banda particulares se escogen para efectuar una muestra adecuada del espectro de la emisión neta de una nube o nubes de hidrógeno en el haz de la antena.

En general, las observaciones se efectúan en forma diferencial. En el caso de emisiones del continuum, se puede trazar la zona del cielo que contiene la fuente y eliminar la emisión de fondo, o las mediciones efectuadas de la potencia que procede de la dirección de la fuente (en la fuente) y una o más posiciones cercanas en el cielo (fuera de la fuente). Restando los valores fuera de la fuente de los valores en la fuente, la emisión que se origina en la fuente se separa de otras contribuciones a la salida del receptor.

En el caso de observaciones de rayas espectrales, los espectros se registran en las gamas de frecuencias que incluyen las emisiones de rayas de interés (espectros de rayas), y luego a una frecuencia que está desplazada de las emisiones de rayas espectrales o en la misma frecuencia pero en una posición cercana del cielo (espectros de referencia). Mediante la sustracción de los espectros de referencia de los espectros de rayas se pueden extraer de los datos, las contribuciones de ruido no deseados y otros elementos contaminantes.

Teniendo en cuenta que la Galaxia está llena de nubes de hidrógeno neutro, los radiotelescopios detectan no sólo la emisión o absorción en las nubes en el haz principal de antena, sino también una contribución muy importante a través de los lóbulos laterales de la antena. Esta «radiación parásita» distorsiona los espectros y reduce los detalles cartográficos. La eliminación de ésta de los datos permite la medición a gran escala de todo el haz de antena (en la medida de lo posible), y estimar la corrección de la radiación parásita. La interferencia y los grandes espacios «bloqueados» del cielo afectarán entonces la capacidad de trazar mapas en partes de ángulos grandes del cielo de fuentes de interferencias.

Las zonas cartográficas de emisiones radioeléctricas se llevan a cabo registrando la emisión en una cuadrícula de puntos que abarca la región de interés. Se pueden efectuar observaciones de raya espectral y del continuum. En el caso de utilizar radiotelescopios de antena única, la observación de cada punto de la cuadrícula es una indicación de la potencia total (en el caso del continuum) o el espectro de la emisión (en el caso de raya espectral) que procede de esa posición en el cielo; la separación entre los puntos de la cuadrícula no debe ser mayor que la mitad de la anchura de haz de la antena. Cuando se efectúan observaciones utilizando un radiotelescopio de síntesis, donde el espacio que ha de ser cartografiado excede del campo de cartografía instantáneo, los puntos de la cuadrícula no deben estar más apartados que la mitad de la anchura de haz de una de las antenas del radiotelescopio.

Las observaciones VLBI se efectúan reduciendo la frecuencia de las señales a una banda de base, digitalizándolas sin demodulación, y registrándolas en cintas magnéticas u otros medios de almacenamiento junto con señales de temporización precisas. Los datos se transfieren entonces a un centro de procesamiento de datos VLBI, donde las señales se sincronizan y correlacionan. En consecuencia, el efecto total de la interferencia no se podría conocer hasta que finalice el periodo de observación y los datos hayan sido procesados.

## **8.2 SRS**

### **8.2.1 Banda de transmisión atribuida**

La banda 1 452-1 492 MHz está atribuida al SRS.

### **8.2.2 Aplicación**

Transmisiones de radiodifusión sonora solamente.

### **8.2.3 Niveles basados en disposiciones reglamentarias**

No determinados.

### **8.2.4 Características operacionales**

Las siguientes características fueron comunicadas como los valores máximos esperados y la anchura de banda necesaria típica basada en las características de los sistemas sonoros del SRS ya implantados o de implantación muy probable. Asimismo, la presente Recomendación presenta valores típicos de ganancias de antena.

CUADRO 20

Banda de frecuencias (MHz)	Sistema notificado	Anchura de banda necesaria (MHz)	Ganancia de la antena del satélite (dBi)	dfp dentro de la banda máxima esperada (dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz)))
1 452-1 492	Sistema digital A	1,536	30	-128
	Sistema digital DS	1,84	30	-138

NOTA 1 – Los resultados en este Anexo se limitan a sistemas OSG.

### 8.3 Umbral de compatibilidad

Véase el § 8.1.3.

### 8.4 Evaluación de la interferencia

#### 8.4.1 Metodología utilizada para determinar el nivel de interferencia

Con respecto a los sistemas no OSG, los criterios de protección para la radioastronomía y las metodologías pertinentes se describen en las Recomendaciones UIT-R RA.769 y UIT-R RA.1513, así como en la Recomendación UIT-R S.1586 para sistemas del SFS.

La máscara de emisión fuera de banda que fue utilizada para efectuar los cálculos se describe en el § 8.4.3.1.

#### 8.4.2 Cálculo del nivel de interferencia

Véase el § 8.4.3.

#### 8.4.3 Valores obtenidos

Se debe señalar que en los puntos siguientes sólo se incluye el caso de sistemas OSG.

##### 8.4.3.1 Observaciones de raya espectral

Conforme a la anchura de banda necesaria que figura en el Cuadro 20, y en la separación de las bandas del SRS y de los servicios pasivos, se advierte que para la atribución del SRS, el límite de emisiones no esenciales corresponde a  $43 + 10 \log P$  o 60 dBc, cualquiera que sea el menos estricto, donde  $P$  es la potencia media (W) aplicada a la línea de transmisión de antena. Esto se detalla en el Cuadro 21.

CUADRO 21

Atribución del SRS (MHz)	Atribución del servicio pasivo más cercana (MHz)	Sistema notificado	Anchura de banda necesaria (MHz)	Comienzo del dominio fuera de banda (MHz)	Fin del dominio fuera de banda (MHz)	Atenuación requerida en la atribución pasiva
1 452-1 492	1 400-1 427	Sistema digital A	1,536	1 452	1 448,928	$43 + 10 \log P$ o 60 dBc
		Sistema digital DS	1,84	1 452	1 448,32	$43 + 10 \log P$ o 60 dBc

El nivel de la emisión no deseada esperado se deduce de los parámetros que figuran en el Cuadro 22.

CUADRO 22

Atribución del SRS (MHz)	Anchura de banda necesaria (MHz)	dfp dentro de la banda máxima esperada (dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz)))	Ganancia de la antena del satélite (dBi)	Potencia de salida media total del transmisor (dBW)	Atenuación requerida en la atribución pasiva (dBc)	Niveles de emisiones no deseados máximos esperados (dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz)))
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1 452-1 492	1,536	-128	30	29,8	60	-162,4
	1,84	-138	30	20,6	60	-171,4

donde las columnas se relacionan de la siguiente manera:

$$(4) = (2) + 162 \text{ (pérdidas en el espacio libre)} - (3)_{en \text{ banda}} - 36 + 10 \log((1))$$

El nivel de (4) determina la atenuación requerida en el caso del límite de emisiones no esenciales.

$$(6) = (4) - (5) + (3)_{fuera \text{ de banda}} - 162$$

Se supone que las ganancias de antena del satélite en las frecuencias de la atribución pasiva son las mismas que las frecuencias de operación de la atribución del satélite (es decir,  $(3)_{en \text{ banda}} = (3)_{fuera \text{ de banda}}$  con las notaciones usadas más abajo). Se debe tener en cuenta que esto corresponde al caso más desfavorable.

La banda del servicio pasivo se utiliza para las observaciones de raya espectral y del continuum. Las observaciones de raya espectral se efectúan utilizando una anchura de banda de canal (uno de los canales del espectrómetro) de (típicamente) 20 kHz, siendo la dfp umbral de  $-196 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ . Estos criterios de protección necesitan ser comparados con los siguientes valores:

$$-162,4 + 10 \log ((20/4)) = -155,4 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$$

y con:

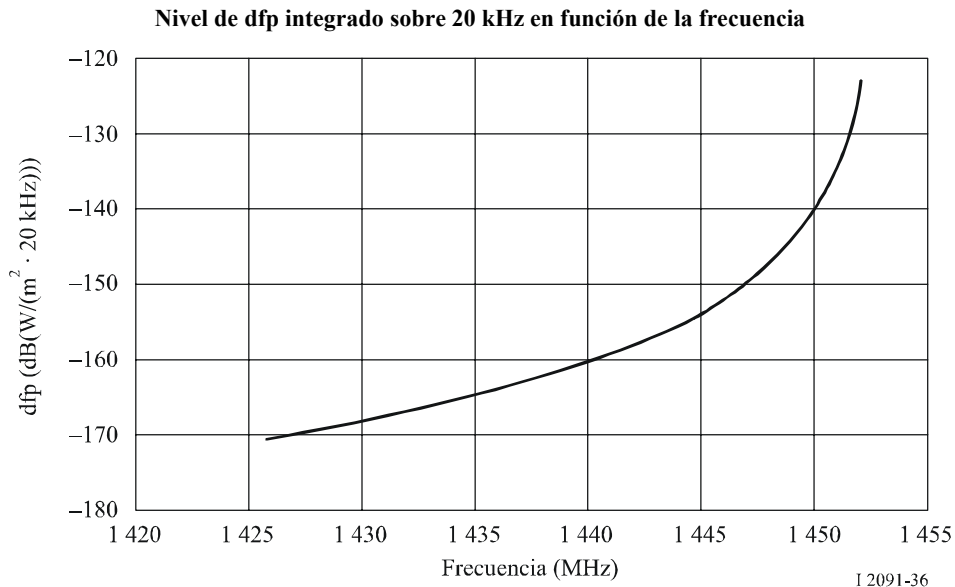
$$-171,4 + 10 \log ((20/4)) = -164,4 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$$

Esto significa que al término del dominio fuera de banda, la discrepancia entre los criterios de protección y el límite de emisiones no esenciales está en el orden de 40 dB. En razón que el término del dominio fuera de banda se produce en la frecuencia 1 448,928 MHz y la banda atribuida al SRA comienza en 1 427 MHz (más de 10 veces la anchura de banda necesaria), es probable que al comienzo de la banda del SRA, la discrepancia entre el nivel de emisiones no esenciales y los criterios de protección sean considerablemente menores.

En particular, si se supone que la disminución de la señal, dentro del dominio de emisiones no esenciales, sigue la nueva máscara fuera de banda elaborada para el sistema del SRS (véase la Recomendación UIT-R SM.1541), la atenuación vendrá dada por:

$$32 \log \left( \frac{F}{50} + 1 \right) \quad \text{dBsd}$$

FIGURA 36



En este caso la discrepancia en el extremo de la atribución del SRA es de unos 25 dB (20 dB aproximadamente en el caso del sistema digital DS). Esta interferencia remanente se debería evitar con la aplicación de técnicas de mitigación adicionales (separación geográfica y filtrado).

#### 8.4.3.2 Observaciones VLBI

Las observaciones efectuadas con la técnica de VLBI, donde las señales procedentes de antenas separadas se registran y correlacionan después de las observaciones, son mucho menos susceptibles a la interferencia. Esto se refleja en el nivel de dfp umbral para observaciones VLBI en esta banda,  $-166 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , para una anchura de banda de 20 kHz.

De acuerdo con los cálculos efectuados en el § 8.4.3.1, es probable que se cumplan los criterios de protección de la VLBI.

#### 8.4.3.3 Observaciones del continuum

Para efectuar observaciones del continuum con una antena parabólica simple, se utiliza la totalidad de la anchura de banda de 27 MHz, para cuyo caso el límite de la dfp de umbral para la interferencia perjudicial es de  $-180 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ .

Teniendo en cuenta los dos sistemas que se indican en el Cuadro 20, el nivel de dfp máximo dentro de la banda es:

$$-128 + 10 \log_{10} (1,536 \text{ MHz}/4 \text{ kHz}) = -102 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 1,536 \text{ MHz}/4 \text{ kHz))}$$

Si este sistema presenta la misma disminución de la señal que el propuesto por el Grupo de Trabajo 4A en el Documento 1-7/149, el rechazo entre la potencia dentro de la banda y la potencia integrada sobre 27 MHz será mayor que 80 dB. Esto significa que se satisfacen los criterios de protección de la observación del continuum. Asimismo, se confirma que se cumplirán los criterios de protección de la VLBI.

## 8.5 Técnicas de reducción de la interferencia

### 8.5.1 SRA

Existen varios métodos, incluidos los que se describen más abajo, que se podrían considerar para reducir las emisiones no deseadas provenientes de los transmisores de satélite en un radiotelescopio.

*Característica del lóbulo lateral de la antena:* La iluminación de la abertura de los radiotelescopios se optimiza generalmente para la relación  $G/T$ , es decir la ganancia del telescopio dividida por la temperatura de ruido del sistema. Esto se efectúa para maximizar la relación  $S/N$  para fuentes puntuales. Un factor fundamental de este método es reducir la radiación terrestre que se introduce en los lóbulos laterales lejanos. Inevitablemente esto supone un aumento correspondiente en los niveles de los lóbulos laterales cercanos. La experiencia ha demostrado que la máscara de la envolvente de los lóbulos laterales que figura en la Recomendación UIT-R SA.509 se cumple para la mayoría de los radiotelescopios en casi todas las direcciones.

*Bloqueo en tiempo y/o frecuencia:* Esta técnica se puede aplicar en algunos casos en que la interferencia a la banda de frecuencias de radioastronomía se puede identificar plenamente y sin equívocos en tiempo y/o frecuencia.

### 8.5.2 SRS

Este servicio lleva consigo la transmisión de señales en forma continua o durante largos periodos de tiempo, con potencia y espectro constantes. Los procedimientos posibles de mitigación de la interferencia son evitar la transmisión de emisiones no deseadas en la dirección de las estaciones de radioastronomía que utilizan esta banda, o emplear filtros para suprimir o reducir adecuadamente las emisiones no deseadas a un nivel donde no se cause interferencia perjudicial a las observaciones de radioastronomía en la banda 1 400-1 427 MHz.

### 8.5.3 Repercusiones posibles

#### 8.5.3.1 SRA

*Característica del lóbulo lateral de la antena:* Los intentos para reducir la sensibilidad de la antena de radioastronomía a emisiones no deseadas que proceden de estaciones espaciales aumentará probablemente la sensibilidad del telescopio de radioastronomía a las radiaciones terrestres, y disminuirá posiblemente su ganancia de haz principal. Ambos efectos reducirán la capacidad de canal del telescopio y producirá así un aumento del tiempo de integración requerido total.

*Bloqueo en tiempo y/o frecuencia:* El bloqueo implica el riesgo de comprometer la integridad de los datos que puede conducir a errores en sus interpretaciones científicas. El bloqueo también produce un incremento concomitante en el tiempo de integración total requerido para efectuar la observación, esto es equivalente a una pérdida de la capacidad de canal del telescopio.

#### 8.5.3.2 SRS

Los filtros son un medio obvio para suprimir emisiones no deseadas, pero la aplicación de dichos filtros puede afectar el diseño del satélite de manera considerable. Si se utiliza un sistema de antenas activo en fase, se pueden requerir filtros para cada elemento activo de antena. Esto aumentará el peso del satélite. La compensación de pérdidas de los filtros requerirá el empleo de transmisores de mayor potencia que, a su vez, requerirá mayor bus de potencia y, por tanto, mayor sistema de energía solar. El aumento de peso podría ser suficiente para requerir un dispositivo de lanzamiento mayor. La repercusión en los costos podría ser grande. En consecuencia, la utilización de filtros se puede considerar sólo en la etapa de diseño de un sistema. Sin embargo, las continuas mejoras técnicas en el diseño de filtros y de antenas activas pueden reducir en el futuro el problema de la aplicación de estas soluciones a proporciones manejables.

## **8.6 Resultados de los estudios**

### **8.6.1 Resumen**

Los cálculos proporcionados en la sección previa se ocupan de la compatibilidad entre sistemas del SRS OSG que funcionan en la banda 1 400-1 427 MHz y el SRA que funciona en la misma banda 1 400-1 427 MHz. Será necesario efectuar mayores estudios para abordar el caso de sistemas no OSG.

Los cálculos proporcionados en las secciones anteriores muestran que los sistemas del SRS cumplirán los criterios de protección de las observaciones de VLBI y del continuum, como se trata en el § 8.1.3. Sin embargo, para satisfacer los criterios de protección de raya espectral, es probable que se deban emplear técnicas de mitigación de la interferencia tales como filtrado. Teniendo en cuenta el hecho que la banda de guarda existente entre el SRA y las bandas atribuidas al SRS es grande comparada con la anchura de banda utilizada por los sistemas del SRS, se espera que los criterios de protección del SRA son técnicamente posibles utilizando técnicas de reducción de la interferencia tales como filtrado y separación geográfica. Se debe señalar que la repercusión económica de la aplicación de estas técnicas es considerable.

### **8.6.2 Conclusiones**

Los criterios de protección para las observaciones de radioastronomía en esta banda se pueden satisfacer para observaciones del continuum y de VLBI, y para observaciones de raya espectral cuando se utilizan técnicas apropiadas de mitigación de la interferencia.

## **9 Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA que funcionan en la banda 1 400-1 427 MHz y sistemas móviles por satélite OSG (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 1 525-1 559 MHz**

### **9.1 SRA**

#### **9.1.1 Banda atribuida**

La banda 1 400-1 427 MHz está atribuida, a título primario, a servicios pasivos únicamente: el SRA, el SETS (pasivo) y el SIE (pasivo). Este punto sólo trata del caso de la radioastronomía.

El número 5.340 del RR prohíbe toda emisión en esta banda.

#### **9.1.2 Tipo de observaciones**

La banda 1 400-1 427 MHz se utiliza más intensamente que cualquier otra, en todas las Regiones del UIT-R. La utilización principal de la banda con fines de radioastronomía es efectuar observaciones de raya espectral del hidrógeno atómico cósmico neutral (también referido como HI), que tiene una frecuencia de reposo de 1 420,406 MHz. Este material es por mucho el componente principal de nuestra Galaxia y otras galaxias, y aparecen en enormes nubes estructuradas complejas. Esta línea se observa tanto en la emisión como en la absorción, y está ampliada y desviada en frecuencia por desplazamientos Doppler debido a movimientos locales y de propagación en el medio y de las estructuras de nubes. En consecuencia, las observaciones de HI se pueden utilizar para trazar un mapa de la distribución del material y sus movimientos en nuestra Galaxia y en las otras. De esta manera se puede explorar la estructura de nuestra Galaxia con fines cartográficos y observar cómo se mueve el material.

La atribución 1 400-1 427 MHz es suficientemente amplia para dar cabida a la emisión desplazada por efecto Doppler procedente de nubes de nuestra Galaxia y de galaxias cercanas. Las mediciones



de la polarización de la emisión o absorción de HI permiten obtener información importante sobre campos magnéticos galácticos y de ahí un conocimiento creciente de la estructura galáctica.

La banda 1 400-1 427 MHz también se usa para observaciones del continuum de las emisiones de banda ancha producidas por plasma caliente formado cuando las estrellas recalientan las nubes circundantes y por la interacción de electrones de alta energía (movimiento rápido) en el campo magnético galáctico (emisión sincrotrónica).

### 9.1.3 Criterios de protección requeridos

Los niveles de umbral para la interferencia perjudicial a las observaciones radioastronómicas vienen dados en la Recomendación UIT-R RA.769, donde se presenta una lista de los niveles de las emisiones no deseadas que incrementarán el error de medición en un 10%. La banda se utiliza para observaciones de la raya espectral y del continuum. En la banda 1 400-1 427 MHz, las observaciones de la raya espectral con antena parabólica simple emplea una anchura de banda de canal (uno de los canales del espectrómetro) de 20 kHz, el límite de dfp umbral es  $-196 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ . Para efectuar observaciones del continuum con antena parabólica simple, se utiliza la totalidad de la anchura de la banda de 27 MHz, para cuyo caso el límite de dfp umbral para la interferencia perjudicial es  $-180 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ .

Las observaciones de VLBI, donde las señales de antenas ampliamente separadas se registran y correlacionan después de las observaciones, son mucho menos susceptibles a la interferencia. Esto se refleja en el nivel de dfp umbral para las observaciones VLBI en esta banda,  $-166 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , para una anchura de banda de 20 kHz.

Los umbrales de los niveles de interferencia perjudicial al SRA como se define y calcula en la Recomendación UIT-R RA.769 son criterios de protección por encima de los cuales los datos de radioastronomía se degradan y, en algunos casos se destruyen. En principio, en circunstancias algo ideales, si dichos niveles se exceden muy ligeramente será posible compensarlos en el observatorio de radioastronomía por medio del aumento del tiempo de observación. En esta caso, la capacidad del canal del telescopio se reduce, con la correspondiente reducción del caudal científico. Si el nivel de la interferencia, bajo las hipótesis de la Recomendación UIT-R RA.769 (por ejemplo, características de la antena, etc.), llega a ser 10 dB o más por encima del valor definido en la Recomendación UIT-R RA.769 el aumento del tiempo de observación ya no será eficaz para asegurar que se proporcionan datos válidos para los científicos. La estación de radioastronomía no podrá funcionar en la banda de frecuencias afectada, y si no pueden aplicarse técnicas apropiadas de reducción de la interferencia se perderá su capacidad de proporcionar servicios.

### 9.1.4 Características operacionales

La banda 1 400-1 427 MHz es la banda de radioastronomía utilizada más intensamente. Se emplea en todo el mundo, en todas las Regiones de la UIT, y algunos radiotelescopios tales como el radiotelescopio de síntesis en el Observatorio de Dominio Radioastrofísico (DRAO) de Penticton, Canadá, funciona permanentemente en esta banda. Los radiotelescopios de antena única se utilizan para medir la defp integrada de las fuentes de diámetro angular pequeño y trazar estructuras de tamaño angular que no pueden ser delineadas con la utilización de telescopios de síntesis.

La elevada resolución angular ofrecida por los telescopios de síntesis hacen posible tazar la estructura más fina en las nubes de hidrógeno y fuentes de emisión del continuum tal como fragmentos de supernova. Estos mapas se combinan entonces con los mapas de baja resolución obtenidos con los radiotelescopios de antena única para elaborar imágenes tridimensionales de alta calidad de nuestra Galaxia y de otras. Los radiotelescopios de síntesis que utilizan sistemas de antenas múltiples pueden requerir entre una a doce exposiciones de 12 h para efectuar un mapa completo de una zona del cielo.

Para facilitar el trazado de mapas en estructuras de fuentes comparativamente grandes, algunos radiotelescopios de síntesis, tal como el instrumento utilizado en el DRAO, emplea conjuntos de antenas comparativamente pequeñas. Los instrumentos de esta clase no tienen la opción de la supresión óptima del lóbulo lateral y, por tanto, son más vulnerables a la interferencia.

Las observaciones de raya espectral se efectúan utilizando espectrómetros multicanal que pueden integrar simultáneamente la potencia en muchos canales de frecuencias (típicamente 256 a 4 096) distribuidos en toda la banda. El número de canales y sus anchuras de banda particulares se escogen para efectuar una muestra adecuada del espectro de la emisión neta de una nube o nubes de hidrógeno en el haz de la antena.

En general, las observaciones se efectúan en forma diferencial. En el caso de emisiones del continuum, se puede trazar la zona del cielo que contiene la fuente y eliminar la emisión de fondo, o las mediciones efectuadas de la potencia que procede de la dirección de la fuente (en la fuente) y una o más posiciones cercanas en el cielo (fuera de la fuente). Restando los valores fuera de la fuente de los valores en la fuente, la emisión que se origina en la fuente se separa de otras contribuciones a la salida del receptor.

En el caso de observaciones de rayas espectrales, los espectros se registran en las gamas de frecuencias que incluyen las emisiones de rayas de interés (espectros de rayas), y luego a una frecuencia que está desplazada de las emisiones de rayas espectrales o en la misma frecuencia pero en una posición cercana del cielo (espectros de referencia). Mediante la sustracción de los espectros de referencia de los espectros de rayas, se pueden extraer de los datos las contribuciones de ruido no deseados y otros elementos contaminantes.

Teniendo en cuenta que la Galaxia está rellena de nubes de hidrógeno neutro, los radiotelescopios detectan no sólo la emisión o absorción en las nubes en el haz principal de antena, sino también una contribución muy importante a través de los lóbulos laterales de la antena. Esta «radiación parásita» distorsiona los espectros y reduce los detalles cartográficos. La eliminación de ésta de los datos permite la medición a gran escala de todo el haz de antena (en la medida de lo posible), y estimar la corrección de la radiación parásita. La interferencia y los grandes espacios «bloqueados» del cielo afectarán entonces la capacidad de trazar mapas en partes de ángulos grandes del cielo de fuentes de interferencias.

Las zonas cartográficas de emisiones radioeléctricas se llevan a cabo registrando la emisión en una cuadrícula de puntos que abarca la región de interés. Se pueden efectuar observaciones de raya espectral y del continuum. En el caso de utilizar radiotelescopios de antena única, la observación de cada punto de la cuadrícula es una indicación de la potencia total (en el caso del continuum) o el espectro de la emisión (en el caso de raya espectral) que procede de esa posición en el cielo; la separación entre los puntos de la cuadrícula no debe ser mayor que la mitad de la anchura de haz de la antena. Cuando se efectúan observaciones utilizando un radiotelescopio de síntesis, donde el espacio que ha de ser cartografiado excede del campo de cartografía instantáneo, los puntos de la cuadrícula no deben estar más apartados que la mitad de la anchura de haz de una de las antenas del radiotelescopio.

Las observaciones VLBI se efectúan reduciendo la frecuencia de las señales a una banda de base, digitalizándolas sin demodulación, y registrándolas en cintas magnéticas u otros medios de almacenamiento junto con señales de temporización precisas. Los datos se transfieren entonces a un centro de procesamiento de datos VLBI, donde las señales se sincronizan y correlacionan. En consecuencia, el efecto total de la interferencia no se podría conocer hasta que finalice el periodo de observación y los datos hayan sido procesados.

## 9.2 Sistemas móviles por satélite

### 9.2.1 Banda de transmisión atribuida

La banda de transmisión atribuida es 1 525-1 559 MHz (espacio-Tierra).

### 9.2.2 Aplicación

Servicio móvil por satélite.

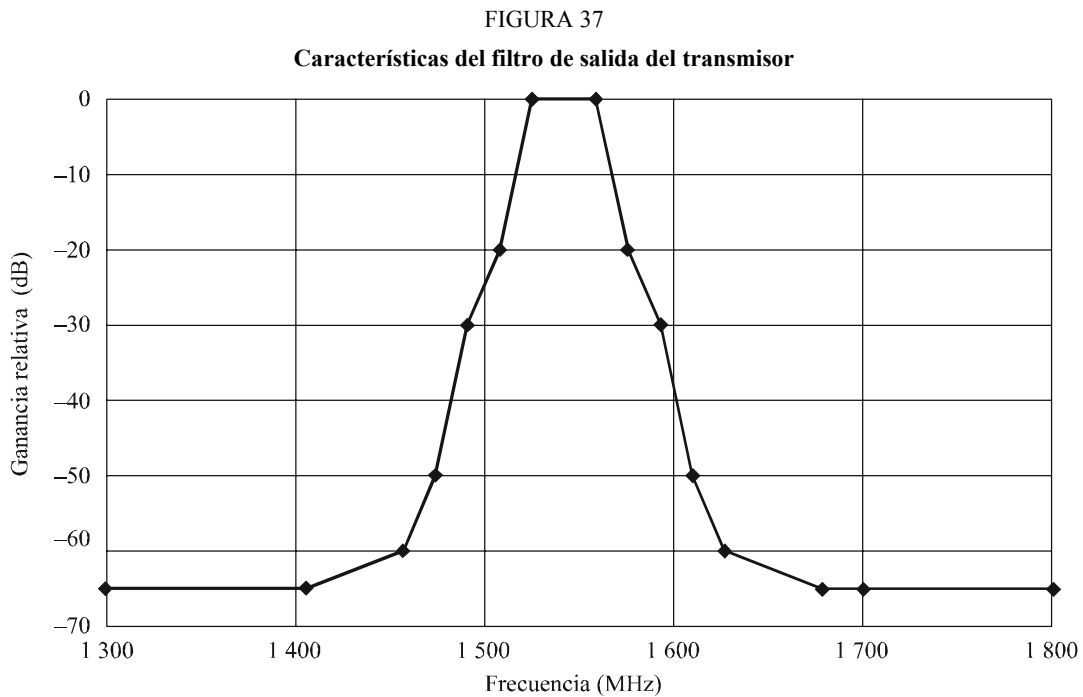
### 9.2.3 Niveles basados en disposiciones reglamentarias

La atenuación requerida es  $43 + 10 \log P$  dBc o 60 dBc cualquiera que sea la menos estricta, donde  $P$  es la potencia de cresta a la entrada de la antena (W) en toda anchura de banda de 4 kHz.

### 9.2.4 Características del transmisor

La ganancia de antena es de 41 dBi.

En la Fig. 37 se muestran las características del filtro de salida del transmisor.



12091-37

### 9.2.5 Características operacionales

La potencia de cresta típica en el haz restringido del satélite del SMS OSG a la entrada de la antena es de 16 dBW sobre una anchura de banda de 5 MHz.

### 9.2.6 Nivel de transmisión en banda

El nivel de transmisión en banda es de -15 dBW en una anchura de banda de 4 kHz.

## 9.3 Umbral de compatibilidad

Véase el § 9.1.3.

## 9.4 Evaluación de la interferencia

### 9.4.1 Metodología utilizada para determinar el nivel de la interferencia

Para determinar la dfp en la superficie de la Tierra se utilizan los parámetros de la densidad espectral de potencia de cresta dentro de la banda, la ganancia de cresta de la antena y la atenuación medida del filtro de salida del transmisor en diferentes frecuencias.

### 9.4.2 Cálculo del nivel de interferencia

Basado en la característica esperada del filtro del transmisor utilizado para la banda 1 525-1 559 MHz, se indican en el Cuadro 23 los niveles de potencia típicos a la salida de este filtro, los niveles de densidad de la p.i.r.e. en la salida de antena y la dfp en la superficie de la Tierra a diferentes frecuencias.

CUADRO 23

Valores esperados de la densidad espectral de potencia, densidad de la p.i.r.e. y dfp en la superficie de la Tierra del satélite Inmarsat-4

Frecuencia (MHz)	Densidad espectral de potencia a la salida del filtro (dB(W/4 kHz))	Densidad de la p.i.r.e. a la salida de la antena (dB(W/4 kHz))	dfp en la superficie de la Tierra (dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz)))
1 300	-80	-39	-202
1 406	-80	-39	-202
1 457	-75	-24	-197
1 474	-65	-14	-187
1 491	-45	-4	-167
1 508	-35	6	-157
1 525	-15	26	-137
1 559	-15	26	-137
1 576	-35	6	-157
1 593	-45	-4	-167
1 610	-65	-14	-187
1 627	-75	-24	-197
1 678	-80	-39	-202
1 700	-80	-39	-202
1 800	-80	-39	-202

### 9.4.3 Valores obtenidos

El valor es de  $-202$  dB(W/m<sup>2</sup>) con una anchura de banda de 4 kHz.

Trasladando estos valores para las observaciones de raya espectral y del continuum, se obtiene lo siguiente:

- para observaciones del continuum con antena parabólica simple:  $-163$  dB(W/m<sup>2</sup>) en una anchura de banda de 27 MHz;
- para observaciones de raya espectral con antena parabólica simple:  $-195$  dB(W/m<sup>2</sup>) en una anchura de banda de 20 kHz.

Basado en los parámetros precedentes de un sistema móvil por satélite OSG de un operador, se obtuvieron los márgenes/déficits siguientes:

- para observaciones de raya espectral con parábola única un valor de 1 dB inferior al criterio de protección que figura en la Recomendación UIT-R RA.769;
- para observaciones del continuum con parábola única un valor de 17 dB inferior al criterio de protección que figura en la Recomendación UIT-R RA.769.

## **9.5 Técnicas de mitigación de la interferencia**

### **9.5.1 SRA**

Existen varios métodos, incluidos los que se describen a continuación, que se podrían considerar para reducir las emisiones no deseadas de transmisores de satélite en un radiotelescopio.

*Característica del lóbulo lateral de antena:* La iluminación de la abertura de los radiotelescopios está generalmente optimizada para la relación  $G/T$ , es decir la ganancia del telescopio dividida por la temperatura del sistema. Esto se utiliza para maximizar la relación  $S/N$  para fuentes puntuales. Un elemento fundamental de este método es reducir la radiación terrestre que se introduce a través de los lóbulos laterales lejanos. Inevitablemente esto supone un aumento correspondiente en los niveles de los lóbulos laterales cercanos. La experiencia ha demostrado que la mayoría de los radiotelescopios satisfacen la máscara de la envolvente de los lóbulos laterales que figura en la Recomendación UIT-R SA.509 en la mayor parte de las direcciones.

*Bloqueo en tiempo y/o frecuencia:* Esta técnica se puede aplicar en algunos casos en que la interferencia a la banda de frecuencia de radioastronomía se puede identificar plenamente y sin equívocos en tiempo y/o frecuencia.

### **9.5.2 SMS**

A fin de mejorar los niveles que figuran en el Cuadro 23, se deberían tener en cuenta las siguientes técnicas de mitigación de la interferencia para el diseño de nuevas estaciones espaciales:

- la anchura de la respuesta en frecuencia de la antena;
- las características de atenuación de los filtros intermedios;
- la respuesta ganancia/frecuencia de los amplificadores de potencia de estado sólido;
- las características de modulación de cada portadora;
- la atenuación de los productos de intermodulación con respecto a la potencia de las portadoras.

### **9.5.3 Repercusiones posibles para el SMS**

Las técnicas de mitigación indicadas en el § 9.5.2 se consideran técnicamente viables para sistemas OSG.

## **9.6 Resultados de los estudios**

### **9.6.1 Resumen**

Basado en los parámetros de un SMS OSG de un operador y teniendo en cuenta los factores de mitigación enumerados en el § 9.5.2, es muy probable que los niveles de las emisiones no deseadas de este sistema del satélite responda a los niveles de umbral para la interferencia perjudicial a las observaciones radioastronómicas con antena parabólica simple como se trató en el § 9.1.3.

## 9.6.2 Conclusiones

Con la utilización de medidas de mitigación apropiadas es probable satisfacer los criterios de protección para las observaciones del continuum, VLBI y rayas espectrales.

## 10 Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA que funcionan en la banda 1 610,6-1 613,8 MHz y sistemas del SRNS que funcionan en la banda 1 559-1 610 MHz

### 10.1 SRA

#### 10.1.1 Banda atribuida

La banda 1 610,6-1 613,8 MHz está atribuida al SRA a título primario.

En el número 5.149 del RR se insta a las administraciones a tomar las medidas necesarias para proteger el SRA.

#### 10.1.2 Tipo de observaciones

La banda 1 610,6-1 613,8 MHz se utiliza para efectuar observaciones de raya espectral del radical oxhidrilo (OH). La raya espectral OH, que tiene una frecuencia de reposo de 1 612 MHz, es una de las rayas espectrales más importantes para la radioastronomía, y se enumeran como tales en la Recomendación UIT-R RA.314. El OH fue el primer radical cósmico que se ha detectado en frecuencias radioeléctricas (1963), y continúa siendo una herramienta de investigación esencial. El OH produce cuatro rayas espectrales, en frecuencias de aproximadamente 1 612, 1 665, 1 667 y 1 720 MHz, las que han sido observadas en nuestra propia Galaxia, así como en galaxias externas. El estudio de las rayas espectrales OH proporciona información sobre una amplia gama de fenómenos astronómicos, por ejemplo la formación de protoestrellas y la evolución de las estrellas. Para interpretar mejor las observaciones efectuadas en las rayas espectrales OH, es necesario medir la intensidad relativa de diversas rayas de este tipo. La pérdida de la capacidad para observar cualquiera de ellas puede impedir el estudio de algunas clases de fenómenos físicos.

Estas líneas espectrales OH se producen a través de un proceso coherente, en el cual una concentración de radicales OH irradia «por pasos», creando una emisión en banda estrecha. Las líneas están ligeramente ensanchadas debido a las condiciones físicas en esta concentración. El movimiento de estas concentraciones con respecto a la Tierra impone un desplazamiento Doppler en la emisión de rayas espectrales. La presencia de diversas concentraciones en la fuente, que se mueven a diferentes velocidades, da lugar a un espectro más complicado, conformado por un número de perfiles de líneas gaussianas superimpuestas de diferentes anchuras y amplitudes y frecuencias ligeramente diferentes (debido a los distintos desplazamientos Doppler). Es necesaria toda la anchura de la banda atribuida para dar cabida a la expansión y desplazamiento del espectro para movimientos diferenciales y totales de la fuente.

En algunas fases de su evolución, algunas clases de estrellas irradian sólo la raya de 1 612 MHz. El estudio de esta raya espectral permite a los astrónomos estimar algunas propiedades físicas de esas estrellas como la velocidad con la que se desprende el gas de las mismas y el reciclado en el medio interestelar. Algunas propiedades de estas estrellas no pueden ser inferidas de ninguna otra observación astronómica. Las mediciones de estrellas que emiten OH se han utilizado para estimar la distancia al centro galáctico, para medir la masa de la protuberancia central de nuestra Galaxia, y para estudiar la distribución espacial de la componente molecular en nuestra Galaxia y en galaxias externas. Por último, se han detectado emisiones de máser sumamente fuertes cerca de los núcleos de una serie de galaxias externas. Esta gran emisión de máser OH de los núcleos galácticos permiten a los astrónomos estudiar la temperatura y densidad del gas molecular en su centro.

La raya espectral del OH se observa también en cometas; en esta caso, hay poca flexibilidad para la programación de observaciones de esos cuerpos celestes.

Las observaciones de rayas espectrales se efectúan utilizando espectrómetros que pueden integrar simultáneamente la potencia en un gran número de canales de frecuencia (típicamente 256 a 4 096) distribuidos a través de la banda de frecuencias utilizada. La anchura y cantidad de canales debe ser lo suficientemente amplia para reproducir con exactitud el espectro de la emisión recibida por el radiotelescopio. Se utilizan anchuras de banda instantáneas de 0,2 a 20 kHz aproximadamente por canal de frecuencia, dependiendo del programa científico.

Las fuentes son pequeñas, y las mediciones de su tamaño y estructura requieren a menudo observaciones que utilizan la técnica de VLBI.

### 10.1.3 Criterios de protección requeridos

En la Recomendación UIT-R RA.769 se especifican los criterios de protección para las observaciones radioastronómicas e indica los niveles de umbral de la interferencia perjudicial para bandas primarias de radioastronomía. En la banda 1 610,6-1 613,8 MHz, el límite de dfp umbral para observaciones de raya espectral con antena parabólica simple que utiliza una anchura de banda de canal (uno de los canales del espectrómetro) de 20 kHz, es de  $-194 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ . Esta banda sólo se utiliza para observaciones radioeléctricas de rayas espectrales y no para observaciones del continuum.

Para la interferencia perjudicial procedente de los sistemas no OSG, los criterios de protección y las metodologías pertinentes se describen en la Recomendación UIT-R RA.769 y UIT-R RA.1513, así como en la Recomendación UIT-R S.1586 para sistemas del SFS y en la Recomendación UIT-R M.1583 para sistemas del SMS y del SRNS.

Los umbrales de los niveles de interferencia perjudicial al SRA como se define y calcula en la Recomendación UIT-R RA.769 son criterios de protección por encima de los cuales los datos de radioastronomía se degradan y, finalmente, pueden ser destruidos. En principio, en circunstancias algo ideales, si esos niveles se exceden muy ligeramente puede ser posible compensarlos en el observatorio de radioastronomía aumentando el tiempo de observación. Al efectuar esto, la capacidad del canal del telescopio disminuye, con una reducción correspondiente del caudal científico. Si el nivel de interferencia, conforme a las hipótesis de la Recomendación UIT-R RA.769 (por ejemplo, característica de antena, etc.), alcanza un valor de 10 dB o más por encima de la definición de la Recomendación UIT-R RA.769, el incremento del tiempo de observación ya no es eficaz para asegurar que se proporcionen datos científicos válidos a los astrónomos. La estación de radioastronomía podrá funcionar en la banda de frecuencias afectada, y su capacidad de prestar servicios se perderá si no se aplican las técnicas de reducción de interferencia apropiadas.

### 10.1.4 Características operacionales

Las observaciones en la banda de 1 612 MHz se llevan a cabo en una serie de emplazamientos de radioastronomía en numerosos países en todo el mundo. Las observaciones en la banda de 1 612 MHz se efectúan a veces conforme a un objetivo oportuno, por ejemplo cuerpos celestes como cometas, que han sido observados para producir emisiones transitorias en esta línea. Las observaciones de VLBI son también frecuentes en esta banda, efectuada a veces entre redes de VLBI norteamericanas y europeas.

Las observaciones de VLBI, donde las señales de antenas ampliamente separadas se registran y correlacionan después de efectuadas las mismas, son mucho menos susceptibles a la interferencia. Esto se refleja en el nivel de dfp umbral para las observaciones de VLBI en esta banda,  $-166 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , para una anchura de banda de 20 kHz, que ha sido desarrollado para observaciones de VLBI, pero no incluido en la Recomendación UIT-R RA.769.

Las observaciones de raya espectral se efectúan utilizando espectrómetros multicanal que pueden integrar simultáneamente la potencia en muchos canales de frecuencias (típicamente 256 a 4 096) distribuidos en toda la banda. El número de canales y cada una de sus anchuras de banda se eligen para tomar adecuadamente una muestra del espectro de la emisión neta de la fuente o fuentes en el haz de antena.

En general, las observaciones se efectúan en forma diferencial; los espectros se registran en gamas de frecuencias que incluyen emisiones de la raya espectral de interés (espectros de rayas), y luego a una frecuencia que está desplazada de las emisiones de raya espectral, o a la misma frecuencia pero en una posición cercana en el cielo (espectros de referencia). Mediante la sustracción de los espectros de referencia de los espectros de rayas se pueden eliminar de los datos las contribuciones de ruidos no deseados y otros contaminantes.

Las observaciones de VLBI se efectúan mediante la reducción de las señales a una banda de base, que se digitaliza sin rectificación y se registra en cinta magnética u otro medio de almacenamiento, junto con señales de temporización precisas. Los datos se transfieren entonces a un centro de procesamiento de datos de VLBI, donde las señales se sincronizan y correlacionan. En consecuencia, la repercusión total de la interferencia podría no conocerse hasta que finalice el periodo de observación y los datos hayan sido procesados.

## **10.2 SRNS**

### **10.2.1 Banda de transmisión atribuida**

La banda 1 559-1 610 MHz está atribuida al SRNS para transmisiones de espacio a Tierra.

### **10.2.2 Aplicación**

Los sistemas del SRNS – que tienen señales de potencia relativamente bajas comparada con la mayoría de los sistemas de satélite, se utilizan para la estimación de la posición y señales horarias por usuarios que incluyen radioastrónomos y sistemas pasivos con base en el espacio. Por lo tanto, ambos servicios están entrelazados. Hay dos tipos principales de sistemas del SRNS: OSG y no OSG. Los sistemas OSG se utilizan primordialmente para navegación aérea. Los sistemas no OSG se utilizan en todo el mundo por múltiples administraciones para la navegación, estimación de la posición, señales horarias precisas, y búsqueda y salvamento.

### **10.2.3 Niveles basados en disposiciones reglamentarias**

No existen límites estrictos o valores umbral indicados en el Reglamento de Radiocomunicaciones aplicables al SRNS en la banda 1 559-1 610 MHz.

### **10.2.4 Características de funcionamiento**

#### **10.2.4.1 GALILEO**

##### **10.2.4.1.1 Características orbitales**

Las características orbitales del sistema GALILEO utilizadas para la simulación figuran en el Cuadro 24:



CUADRO 24

**Parámetros de la constelación GALILEO**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Número de satélites	27
Número de planos	3
Inclinación	56
Altitud (km)	23 616

Los parámetros orbitales de cada satélite de la constelación figuran en el Cuadro 25.

CUADRO 25

**Parámetros de la constelación GALILEO**

<b>Número del satélite</b>	<b>Ascensión recta del nodo ascendente</b>	<b>Anomalía verdadera</b>
1	0	0
2	0	40
3	0	80
4	0	120
5	0	160
6	0	200
7	0	240
8	0	280
9	0	320
10	120	13,33
11	120	53,33
12	120	93,33
13	120	133,33
14	120	173,33
15	120	213,33
16	120	253,33
17	120	293,33
18	120	333,33
19	240	26,66
20	240	66,66
21	240	106,66
22	240	146,66
23	240	186,66
24	240	226,66
25	240	266,66
26	240	306,66
27	240	346,66

### 10.2.4.1.2 Emisiones no deseadas de los satélites GALILEO

El Cuadro 26 proporciona el nivel de las emisiones no deseadas producidas por GALILEO en la banda de radioastronomía 1 610,6-1 613,8 MHz.

CUADRO 26

#### Emisiones no deseadas de GALILEO

Parámetro	Valor
densidad espectral de p.i.r.e. (dB(W/kHz))	-68,5
Altitud (km)	23,616
defp (dB(W/(m <sup>2</sup> · kHz)))	-227
dfp (dBW/(m <sup>2</sup> · 20 kHz))	-214

La Fig. 38 muestra los resultados de la medición de las emisiones fuera de banda de GALILEO en la banda del SRA realizadas por la estación terrena de comprobación técnica de Leeheim. Las mediciones actuales no pueden indicar el nivel de emisiones fuera de banda debido a la sensibilidad limitada de la estación de medición. La línea roja indica un nivel de sensibilidad en torno a  $-191 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en una anchura de banda de 20 kHz.

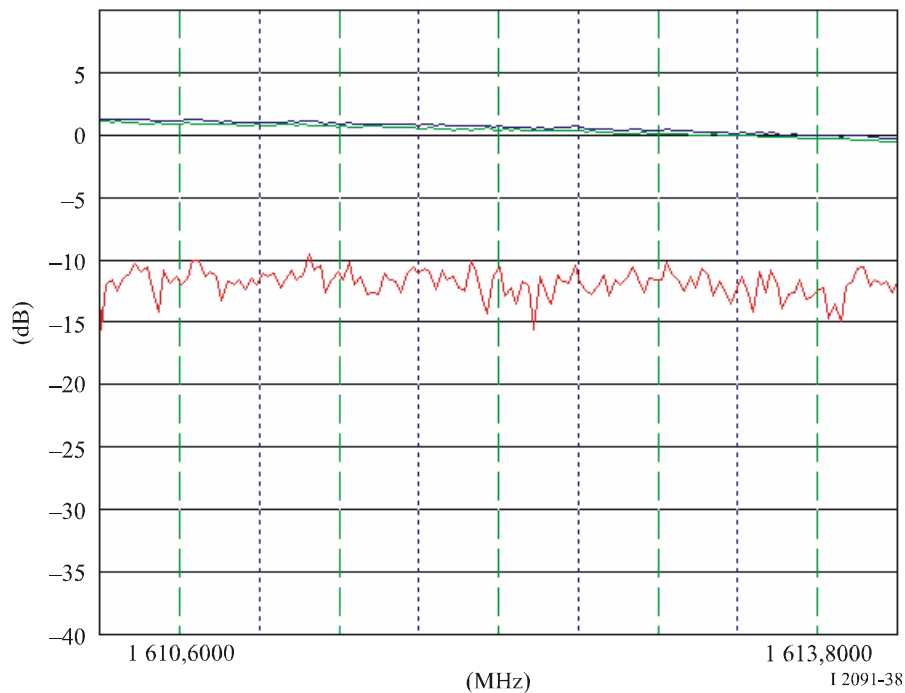
FIGURA 38

#### Niveles de emisiones fuera de banda medidos de un satélite GALILEO experimental en la gama de frecuencias 1 610,6 a 1 613,8 MHz

Estación terrena de comprobación técnica de Leeheim (Alemania)

Tarea: Galileo 1,6 GHz-Detalle 2

Fecha: 5 de julio de 2006, 03:27 UTC



En la Fig. 38 la curva azul (curva superior) indica las emisiones medidas del satélite experimental Galileo + el ruido en condiciones de cielo despejado, la curva verde (curva de en medio) indica el

nivel de ruido con cielo despejado y la curva roja (curva inferior) muestra la diferencia entre la curva azul y la curva verde.

#### 10.2.4.2 GPS

##### 10.2.4.2.1 Características orbitales

Las características orbitales del GPS utilizadas en la simulación figuran en el Cuadro 27:

CUADRO 27  
Constelación GPS

Parámetro	Valor
Número de satélites	24
Número de planos	6
Inclinación	55
Altitud (km)	20 200

Los parámetros orbitales de cada satélite en la constelación aparecen en el Cuadro 28.

CUADRO 28  
Parámetros de la constelación GPS

Satélite	Ascensión recta del nodo ascendente	Anomalía verdadera
1	272,847	11,676
2	272,847	41,806
3	272,847	161,786
4	272,847	268,126
5	332,847	80,956
6	332,847	173,336
7	332,847	204,376
8	332,847	309,976
9	32,847	11,876
10	32,847	241,556
11	32,847	339,666
12	32,847	11,796
13	92,847	135,226
14	92,847	167,356
15	92,847	265,446
16	92,847	35,156
17	92,847	197,046
18	152,847	302,596
19	152,847	333,686
20	152,847	66,066
21	212,847	238,886
22	212,847	345,226
23	212,847	105,206
24	212,847	135,346

### 10.2.4.2.2 Emisiones no deseadas de los satélites GPS

A principios de 1989 se diseñaron los primeros satélites GPS operacionales a gran escala con técnicas de síntesis de frecuencia mejoradas, que proporcionan filtrado adicional mediante la utilización de un triplexor de banda L optimizado. Esta capacidad de filtrado optimizado se ha añadido a todo el Bloque II/IIA y a los siguientes satélites, incluidos los satélites de los Bloques IIR y IIR-M, a fin de minimizar las emisiones no deseadas. El actual triplexor es un filtro de Chebychev de 6 polos contiguos y se aplica a las emisiones de las frecuencias L1 y L2. Las series del Bloque IIF de los vehículos espaciales GPS modernizados utilizarán un cuádruplexor diseñado para incorporar la nueva señal civil L5 y proporcionarán un comportamiento similar.

Las emisiones no deseadas de los satélites GPS tienen una densidad de flujo de salida no mayor de  $-258 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$  en la banda 1 610,6-1 613,8 MHz. Este valor se explica en el balance del enlace que aparece en el Cuadro 29.

CUADRO 29

#### Características de la emisión no deseada del GPS

	Parameters	Value
1	Máximo valor de la emisión fuera de banda (dB(W/Hz))	-110
2	Nivel de la emisión fuera de banda de caso más favorable (proporcionado por el fabricante) (dB(W/Hz))	-113
3	$\lambda\Lambda(c/1\ 612 \text{ MHz})$ (m)	0,19
4	Apertura eficaz de la antena de recepción ( $\lambda^2/4\pi$ ) (dBm <sup>2</sup> )	-25,4
5	D = distancia del satélite a la antena de recepción (m)	2,02E+7
6	Pérdidas de trayecto ( $\lambda^2/((d*4\pi)^2)$ ) (dB)	-182,7
7	anancia de la antena del transmisor (dB)	12
8	dfp recibida (Fila 2 – Fila 4 + Fila 6 + Fila 7 (dB(W/(m <sup>2</sup> · Hz)))	-258,3
9	dfp recibida (dB(W/(m <sup>2</sup> · 20 kHz)))	-215,3

### 10.2.4.3 Sistema de satélites cuasi cenital (QZSS)

#### 10.2.4.3.1 Características orbitales

Las características orbitales del QZSS utilizadas en la simulación figuran en el Cuadro 30:

CUADRO 30

#### Parámetros de la constelación QZSS

Parámetro	Valor
Número de satélites	3
Número de planos	3
Inclinación (grados)	45
Altitud del apogeo (km)	39 970
Altitud del perigeo (km)	31 602
Argumento del perigeo (grados)	270

Los parámetros orbitales de cada satélite de la constelación aparecen en el Cuadro 31.

CUADRO 31

**Parámetros de la constelación QZSS (época de 0:00 1 de enero de 2000)**

Número del satélite	Ascensión recta del nodo ascendente (grados)	Anomalía verdadera (grados)
1	205	129,21
2	325	0
3	85	230,49

**10.2.4.3.2 Emisiones no deseadas de los satélites QZSS**

El Cuadro 32 proporciona el nivel de las emisiones no deseadas producido por el sistema QZSS en la banda de radioastronomía 1 610,6-1 613,8 MHz.

CUADRO 32

**Emisiones no deseadas del QZSS**

Parámetro	Valor
Densidad espectral de p.i.r.e. (dB(W/Hz))	-86,9
Mínima distancia del satélite a la superficie de la Tierra (km)	31 602
defp espectral (dB(W/(m <sup>2</sup> · kHz)))	-218
dfp (dB(W/(m <sup>2</sup> · 20 kHz)))	-205

**10.2.4.4 GLONASS****10.2.4.4.1 Características orbitales**

Las características orbitales del GLONASS utilizadas en la simulación figuran en el Cuadro 33.

CUADRO 33

**Parámetros de la constelación GLONASS**

Parámetro	Valor
Número de satélites	24
Número de planos	3
Inclinación (grados)	64,8
Altitud (km)	19 100

Los parámetros orbitales de cada satélite de la constelación aparecen en el Cuadro 34.

CUADRO 34

**Parámetros orbitales de la constelación GLONASS**

Satélite	Ascensión recta del nodo ascendente (grados)	Anomalía verdadera (grados)
1	0	0
2	0	45
3	0	90
4	0	135
5	0	180
6	0	225
7	0	270
8	0	315
9	120	0
10	120	45
11	120	90
12	120	135
13	120	180
14	120	225
15	120	270
16	120	315
17	240	0
18	240	45
19	240	90
20	240	135
21	240	180
22	240	225
23	240	270
24	240	315

**10.2.4.4.2 Emisiones no deseadas de los satélites GLONASS**

Los niveles de las emisiones no deseadas del sistema GLONASS en la banda de radioastronomía 1 610,6-1 613,8 MHz se han reducido a lo largo de los años (véase el § 10.5.2). Las medidas que se han tomado para reducir los niveles de emisiones no deseadas incluyen las siguientes:

- a) Cambio de la banda de frecuencias del GLONASS:
- De 1998 a 2005: Los satélites GLONASS en servicio utilizaron números de frecuencia  $k = 0 \dots 12$  (véase el Cuadro 35) sin ninguna limitación. El número de frecuencia  $k = 13$  se utilizó a efectos de pruebas.
  - Después de 2005: Todos los satélites GLONASS en servicio utilizan números de frecuencia  $k = (-7, \dots, +6)$  (véase el Cuadro 35).

Por consiguiente, el plan de frecuencias del sistema se ha modificado transfiriendo las emisiones fundamentales del sistema GLONASS a la banda de frecuencias por debajo de 1 610,6-1 613,8 MHz.

CUADRO 35

**Distribución de las frecuencias portadoras en el sistema GLONASS  
en la gama de frecuencias de 1,6 GHz**

Número de frecuencia $k$	Frecuencias portadoras en la subbanda L1 (MHz)	Número de frecuencia $k$	Frecuencias portadoras nominales en la subbanda L1 (MHz)
13	1 609,3125	02	1 603,125
12	1 608,75	01	1 602,5625
11	1 608,1875	00	1 602,0
10	1 607,625	-01	1 601,4375
09	1 607,0625	-02	1 600,8750
08	1 606,5	-03	1 600,3125
07	1 605,9375	-04	1 599,7500
06	1 605,375	-05	1 599,1875
05	1 604,8125	-06	1 598,6250
04	1 604,25	-07	1 598,0625
03	1 603,6875		

- b) Filtrado: Todos los satélites GLONASS en servicio después de finalizar 2005 están equipados con filtros que suprimen sustancialmente las emisiones fuera de banda del satélite en la banda de frecuencias 1 610,6-1 613,8 MHz y en la banda 1 660,0-1 670,0 MHz hasta el nivel indicado en la Recomendación UIT-R RA.769 (valor por satélite).

La supresión relativa calculada de las emisiones no deseadas del sistema GLONASS debida a estos filtros aparece en el Cuadro 36.

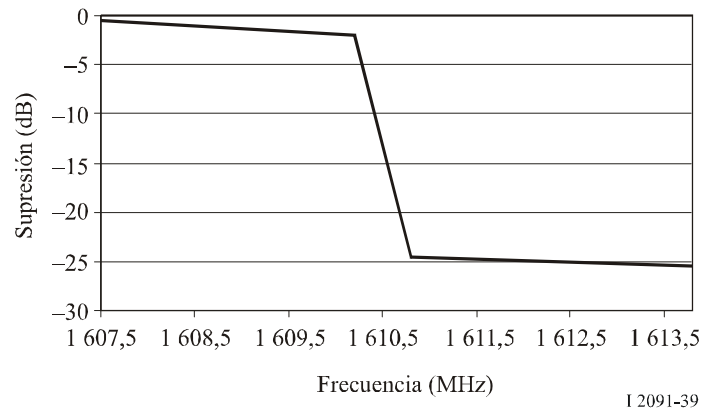
CUADRO 36

**Supresión calculada de las emisiones del satélite GLONASS  
debida a los filtros**

Frecuencia (MHz)	Supresión (dB)
1 607,5	-0,5
1 610,2	-2
1 610,8	-24,5
1 613,8	-25,5

FIGURA 39

Características de la supresión calculada de las emisiones del satélite GLONASS debida a los filtros en la banda 1 610,6-1 613,8 MHz



Éstas son las características de diseño de la nueva generación de satélite GLONASS, incluido un filtro implementado en uno de los satélites lanzado a finales de 2003. Las observaciones han demostrado que se puede obtener hasta 19 dB de atenuación, que no es suficiente para alcanzar el nivel umbral perjudicial especificado en la Recomendación UIT-R RA.769 para la banda 1 610,6-1 613,8 MHz.

Se llevaron a cabo simulaciones de las señales emitidas por cada satélite GLONASS en la gama de 1,6 GHz para frecuencias nominales desde  $k = -5$  a  $k = 6$  así como simulaciones de características del filtro, de conformidad con el método indicado a continuación.

$$DFP(\beta_i) = L_F(f_c) + P_{si} + G_t(\theta_i) - L(\beta_i)$$

siendo:

- $DFP(\beta_i)$ : dfp emitida por el  $i$ -ésimo satélite GLONASS en función del ángulo de elevación  $\beta$ , dB(W/m<sup>2</sup>) en una banda de frecuencias de referencia  $\Delta f$
- $L_F(f_c)$ : atenuación de un filtro montado en una estación espacial GLONASS (véase la Fig. 39), (dB)
- $P_{si}$ : potencia total de la señal de navegación emitida por el  $i$ -ésimo satélite GLONASS, dBW, en una banda de frecuencias de referencia  $\Delta f$ (dBw)
- $G_t(\theta_i)$ : ganancia de antena de la estación espacial transmisora GLONASS en función del ángulo  $\theta$  (dBi)
- $\theta_i$ : ángulo entre el eje principal de la antena de la estación espacial transmisora GLONASS y el punto de la dirección de recepción en la superficie de la Tierra (grados)
- $L(\beta_i)$ : pérdidas de dispersión en función del ángulo de elevación  $\beta$  (dB/m<sup>2</sup>)
- $\beta_i$ : ángulo de elevación de la estación espacial GLONASS en el punto de recepción situado en la superficie de la Tierra (grados)
- $N$ : número de satélites GLONASS en una constelación
- $i$ : índice de un satélite GLONASS considerado (1, 2 ...  $N$ )
- $\Delta f$ : banda de frecuencias de referencia de medición (Hz)
- $f_c$ : frecuencia central de una banda de frecuencias de medición  $\Delta f$  (Hz).



La potencia total  $P_{si}$  de una señal de navegación emitida por el  $i$ -ésimo satélite GLONASS, dBW, en una banda de frecuencias de referencia  $\Delta f$  viene determinada por la ecuación:

$$P_{si} = 10 \log 10 \left( PD \cdot \int_{-\frac{\Delta f}{2}}^{\frac{\Delta f}{2}} S_i(f) df \right)$$

$$S_i(f) = \frac{\text{sen} \left[ |f - (fx_i - fc)| \pi \cdot \frac{1}{fe} \right]^2}{\left[ |f - (fx_i - fc)| \pi \cdot \frac{1}{fe} \right]^2}$$

siendo:

- $P_{si}$ : potencia total de la señal de navegación emitida por el  $i$ -ésimo satélite GLONASS en una banda de frecuencias de referencia  $\Delta f$  (dBW)
- $PD$ : máximo nivel de densidad espectral de potencia de la señal de navegación (W/Hz)
- $S_i(f)$ : característica espectral de la señal de navegación generada por la  $i$ -ésima estación transmisora
- $f$ : frecuencia actual (Hz)
- $fx_i$ : frecuencia portadora del  $i$ -ésimo satélite GLONASS (Hz)
- $fc$ : frecuencia central de una banda de frecuencias de referencia de medición  $\Delta f$  (Hz)
- $fe$ : anchura de banda a  $-3$  dB de la señal de navegación (Hz)
- $\Delta f$ : banda de frecuencias de referencia de medición (Hz).

A su vez, las pérdidas de dispersión,  $L(\beta_i)$  vienen determinadas por la ecuación:

$$L(\beta_i) = 10 \log 10 \left[ 4\pi (d(\beta_i))^2 \right]$$

$$d(\beta_i) = \sqrt{(H + R)^2 - \left( R \cos \left( \beta_i \cdot \frac{\pi}{180} \right) \right)^2} - R \text{sen} \left( \beta_i \cdot \frac{\pi}{180} \right)$$

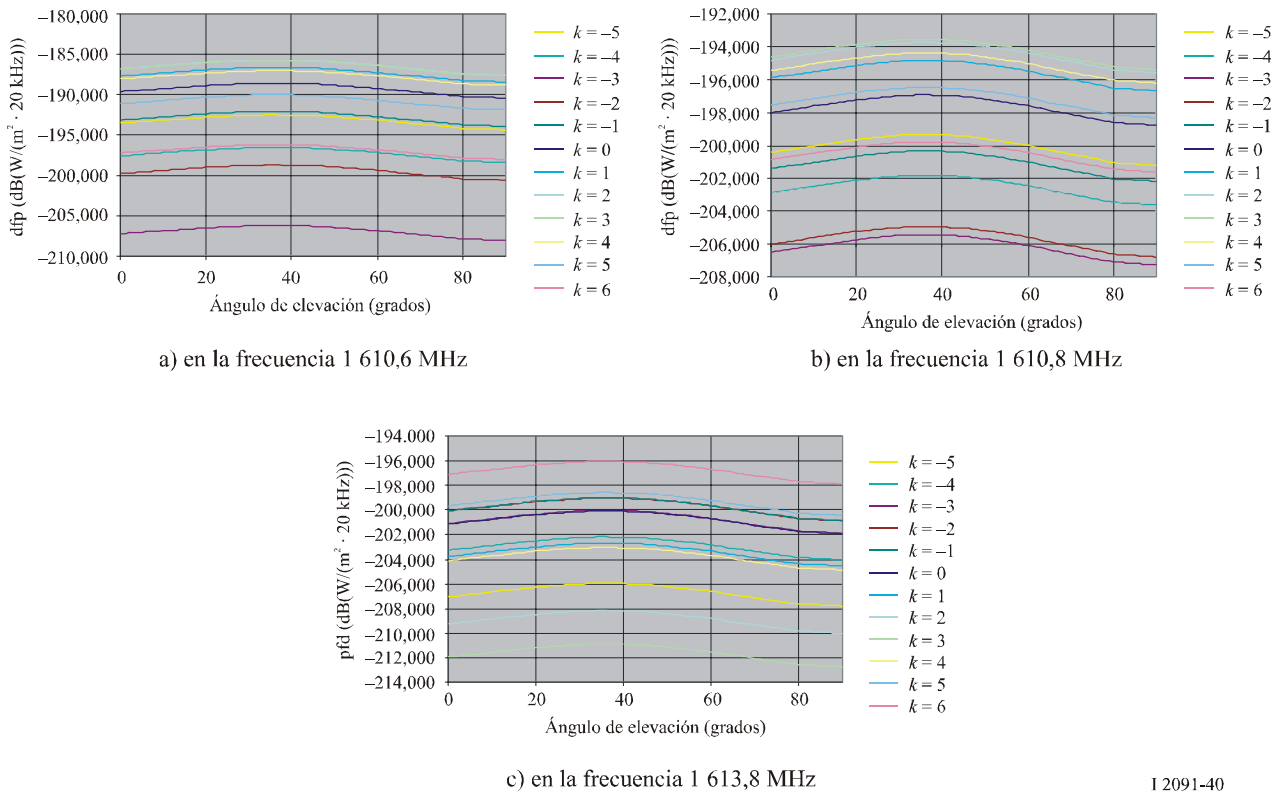
siendo:

- $L(\beta_i)$ : pérdidas de dispersión en función del ángulo de elevación  $\beta$  (dBm<sup>2</sup>).
- $\beta_i$ : ángulo de elevación de la estación espacial GLONASS en el punto de referencia situado en la superficie de la Tierra (grados).
- $d(\beta_i)$ : distancia entre la estación espacial transmisora y el punto de recepción situado en la superficie de la Tierra en función del ángulo de elevación  $\beta$  (m).
- $H$ : altitud de la órbita de la estación espacial GLONASS sobre la superficie de la Tierra (m).
- $R$ : radio de la Tierra (m).

Los niveles de dfp debidos a cada satélite GLONASS (cada frecuencia portadora) equipado con el filtro mencionado se determinaron para todos los ángulos de elevación de llegada de la señal en las tres frecuencias presentes 1 610,6, 1 610,8 y 1 613,8 MHz, respectivamente (Fig. 40).

FIGURA 40

Niveles de dfp para cada satélite GLONASS (cada frecuencia portadora)



I 2091-40

Para la simulación de dfpe se consideraron los niveles indicados en el Cuadro 37 para cada satélite de la constelación y para la frecuencia de caso más desfavorable (1 610,6 MHz). Se trata de un ejemplo de plan de frecuencias que no refleja necesariamente el plan de frecuencias real que puede utilizar en el futuro el sistema GLONASS. A efectos de simplificación, y como se producen sólo pequeñas variaciones con el ángulo de elevación, los valores se han promediado para todos los ángulos de elevación.

Las características de emisiones fuera de banda de una nueva generación de satélites GLONASS con filtro se midieron recientemente en la estación terrena de comprobación técnica de Leeheim. La Fig. 41 muestra los resultados de estas mediciones. La curva azul (curva superior) indica las emisiones medidas del satélite GLONASS + el ruido en condiciones de cielo despejado, la curva verde (curva de en medio) indica el nivel de ruido en condiciones de cielo despejado y la curva roja (curva inferior) la diferencia entre la curva azul y la curva verde.

Las mediciones demuestran que mejoró la modulación entre los antiguos y los nuevos satélites GLONASS y que se introdujo un filtro para disminuir el nivel de emisiones no deseadas en hasta 19 dB en la banda del SRA 1 610,6-1 613,8 MHz. El filtro introducido parece estar desplazado con relación al centro de la banda de frecuencias 1 610,6-1 613,8 MHz.

La implementación de la modulación mejorada resuelve el problema existente con los picos de nulos en la banda del SRA 1 660-1 670 MHz. La frecuencia central de la señal GLONASS medida es 1 604,25 MHz, lo que corresponde al número  $k = 4$  en el Cuadro 35. Esta frecuencia portadora es el canal operacional más próximo a la banda del SRA. El nivel de dfp medido a la frecuencia de 1 610,6 MHz es de unos  $-173,8 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$ .

Las actuales mediciones no pueden indicar el nivel real de las emisiones fuera de banda porque se desconoce la sensibilidad de la estación de comprobación técnica y no es seguro que el valor más bajo de dfp medido a 1 613,8 MHz ( $-189 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$ ) corresponda a la emisión del satélite GLONASS o al ruido de la estación de comprobación técnica.

CUADRO 37

## Niveles de dfp GLONASS por satélite

Satélite	Portadora <i>k</i>	dfp (dB(W/(m <sup>2</sup> · 20 kHz)))		
		1 610,6 MHz	1 610,8 MHz	1 613,8 MHz
1	-5	-193	-200	-207
2	-4	-197	-203	-203
3	-3	-206	-206	-201
4	-2	-198	-206	-201
5	-1	-192	-201	-200
6	0	-188	-198	-201
7	1	-187	-197	-203
8	2	-186	-194	-209
9	3	-186	-194	-212
10	4	-187	-195	-204
11	5	-190	-197	-199
12	6	-197	-201	-197
13	-5	-193	-200	-207
14	-4	-197	-203	-203
15	-3	-206	-206	-201
16	-2	-198	-206	-201
17	-1	-192	-201	-200
18	0	-188	-198	-201
19	1	-187	-197	-203
20	2	-186	-194	-209
21	3	-186	-194	-212
22	4	-187	-195	-204
23	5	-190	-197	-199
24	6	-197	-201	-197

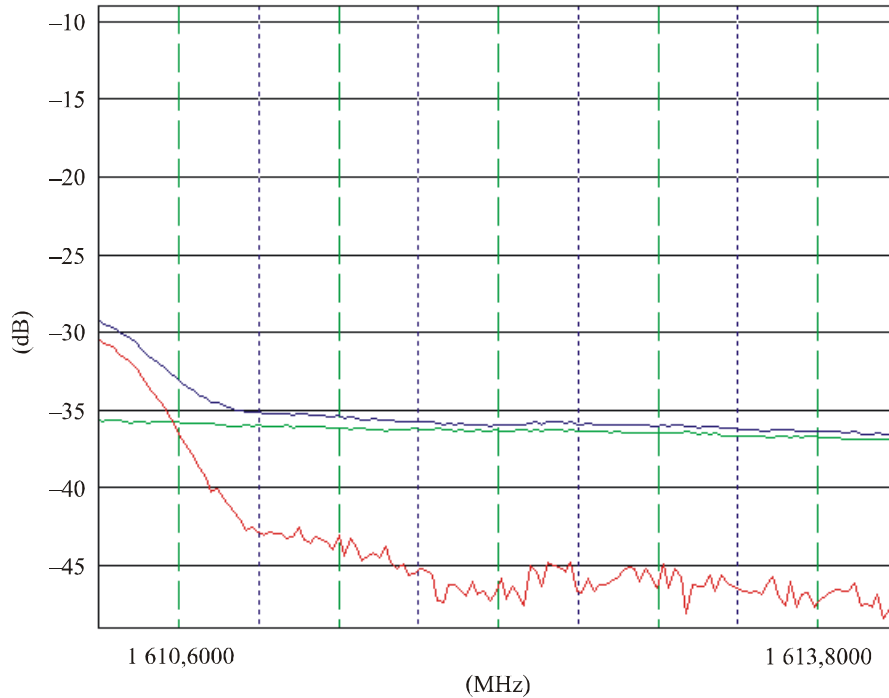
FIGURA 41

**Niveles de emisiones fuera de banda medidos de una nueva generación de satélites GLONASS en la gama de frecuencias 1610,6-1613,8 MHz**

Estación terrena de comprobación técnica de Leeheim (Alemania)

Tarea: COSMOS 2 411 (Glonass 712) Banda de RA

Fecha: 3 de febrero de 2006 12:58 UTC Acimut 177,5°/Elevación 58,3°



I 2091-41

### 10.3 Umbral de compatibilidad

Para el caso de constelaciones no OSG, puede obtenerse un nivel umbral de  $dfp$  de  $-258\text{dB(W/m}^2)$  para la banda 1 610,6-1 613,8 MHz a partir del nivel umbral de  $dfp$  para la interferencia perjudicial causada a las observaciones de radioastronomía que figura en la Recomendación UIT-R RA.769 y la máxima ganancia de antena de radioastronomía indicada en la Recomendación UIT-R RA.1631, que es de 64 dBi para esta banda de frecuencias.

### 10.4 Evaluación de la interferencia

#### 10.4.1 Metodología utilizada para evaluar el nivel de interferencia

La Recomendación UIT-R M.1583 proporciona un método para evaluar los niveles de las emisiones no deseadas producidas por un sistema de satélites geostacionarios en emplazamientos de radioastronomía. Se basa en una división del cielo en células de ángulo sólido casi igual y en la realización de análisis estadísticos en los que la dirección de puntería de la antena del SRA y el instante de inicio de la constelación de satélites son las variables aleatorias. Para cada prueba, se promedia el nivel de emisión no deseada (expresada en términos de  $dfpe$ ) durante un periodo de 2 000 s.

Con respecto a la simulación para GPS, GLONASS y GALILEO, las características elegidas corresponden al radiotelescopio de Effelsberg (Alemania) que puede realizar observaciones en la anchura de banda considerada con una antena de 100 m de diámetro y una máxima ganancia de unos 64 dBi. El diagrama de antena y la máxima ganancia de antena se han extraído de la Recomendación UIT-R RA.1631.

Las coordenadas geográficas son las siguientes:

Latitud: 50,7° N    Longitud: 7,0° E

Con respecto a la simulación para QZSS, las características elegidas corresponden al radiotelescopio de Kashima y Usuda en Japón. El diagrama de antena y la máxima ganancia de antena de 64 dBi se han extraído de la Recomendación UIT-R RA.1631.

Las coordenadas geográficas del radiotelescopio de Kashima son las siguientes:

Latitud: 35,95° N    Longitud: 140,67° E

Las coordenadas geográficas del radiotelescopio Usuda son las siguientes:

Latitud: 36,12° N    Longitud: 138,35° E

Las simulaciones se realizaron considerando un mínimo ángulo de elevación del telescopio de 0° para obtener resultados completamente generales.

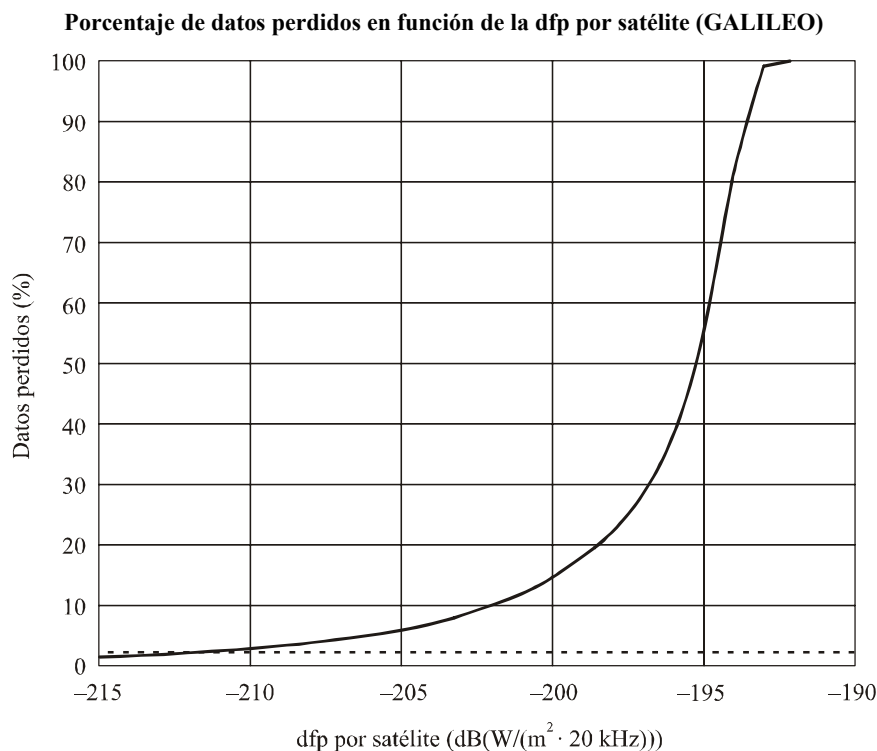
Para el caso GLONASS, la dfp radiada en la banda de radioastronomía puede variar de un satélite a otro pues cada satélite puede utilizar una portadora distinta.

## 10.4.2 Cálculo del nivel de interferencia

### 10.4.2.1 GALILEO

La Fig. 42 muestra el porcentaje del tiempo durante el cual se rebasa el umbral de dfpe en el emplazamiento de radioastronomía para un valor determinado de dfp generado por el satélite GALILEO (como se explica en la Recomendación UIT-R RA.1513, rebasar este umbral equivale a perder datos).

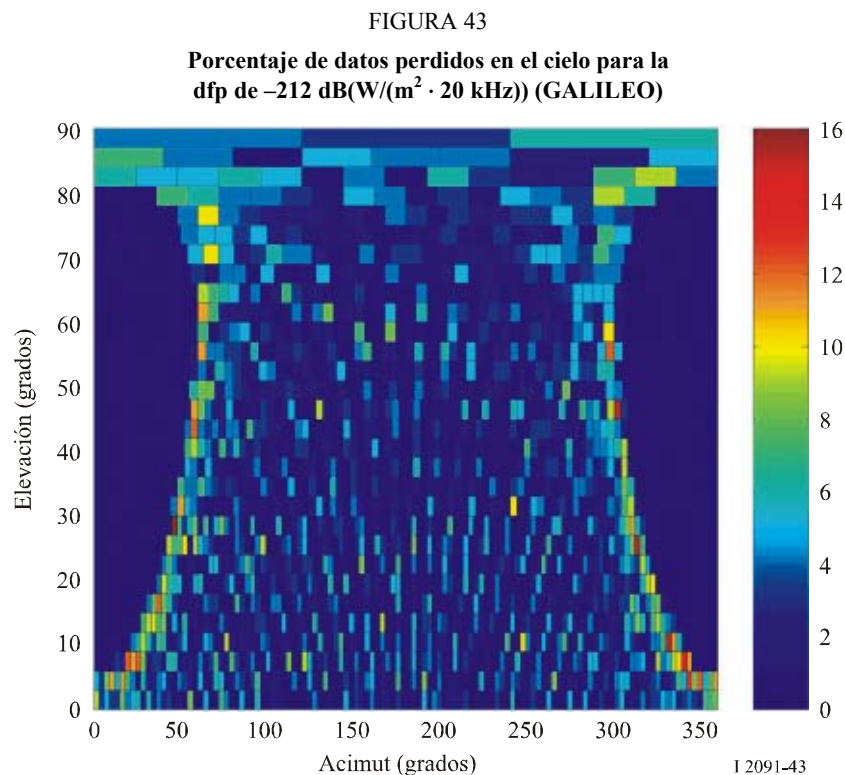
FIGURA 42



Para satisfacer el nivel umbral de dfpe durante el más del 98% del tiempo de media en todo el cielo, cada satélite GALILEO debe generar una dfp inferior a  $-212 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$  en la banda de radioastronomía.

La Fig. 43 muestra para cada célula del cielo, y para la dfp (por satélite) de  $-212 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$ , el porcentaje del tiempo durante el cual se rebasa el umbral de dfpe. Puede observarse que nunca rebasa el 14% por célula y por consiguiente nunca provoca un bloqueo del cielo en ninguna parte del mismo.

En las Figs. 43, 45, 47, 49 y 50, el acimut de  $0^\circ$  corresponde al Norte verdadero y aumenta de Oeste a Este.



#### 10.4.2.2 GPS

La Fig. 44 muestra el porcentaje del tiempo durante el cual se rebasa el umbral de dfpe en el emplazamiento de radioastronomía para un valor determinado de dfp generado por el satélite GPS.

Para satisfacer el nivel umbral de dfpe durante más del 98% del tiempo de media en todo el cielo, cada satélite GPS debe generar una dfp inferior a  $-211 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$  en la banda de radioastronomía. Este valor es idéntico al que se ha determinado para GALILEO.

La Fig. 45 muestra para cada célula del cielo, y para la dfp (por satélite) de  $-212 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$ , el porcentaje de observaciones en el cual se rebasa el umbral de dfpe. Puede observarse que nunca supera el 18% por célula y, por consiguiente, nunca provoca un bloqueo del cielo en ninguna parte del mismo.

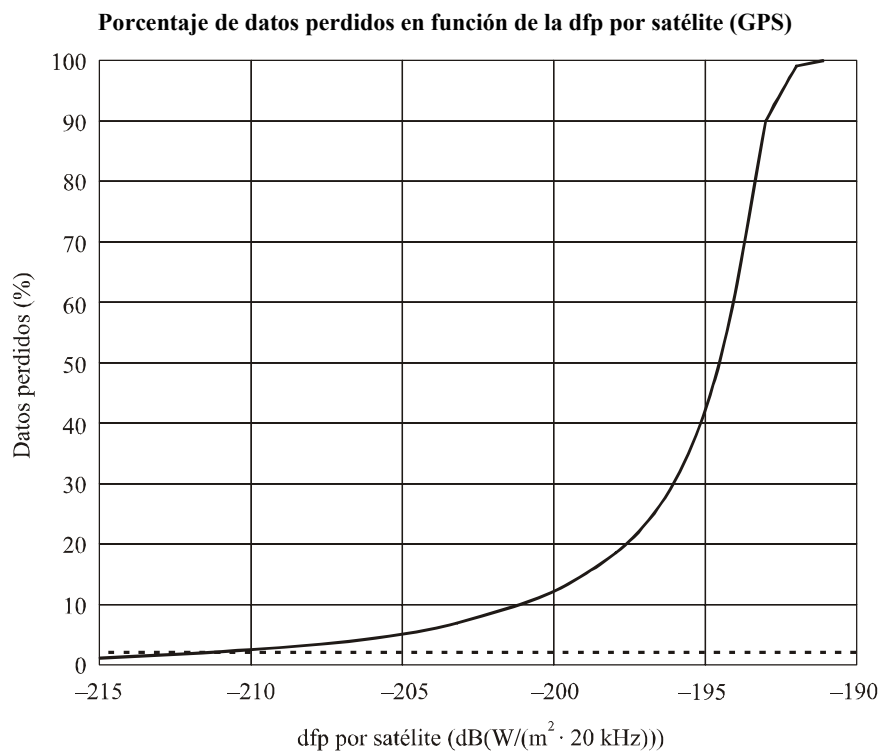
### 10.4.2.3 QZSS

Como la simulación para el radiotelescopio de Kashima dio lugar a los niveles de dfpe de caso más desfavorable, se muestran los resultados de los cálculos para dicho radiotelescopio.

La Fig. 46 ilustra el porcentaje del tiempo durante el cual se rebasa el umbral de dfpe en el emplazamiento de radioastronomía, para un valor determinado de dfp generado por el satélite QZSS (como se explica en la Recomendación UIT-R RA.1513, rebasar este umbral equivale a perder datos).

Para satisfacer el umbral de dfpe durante más del 98% del tiempo de media en todo el cielo, cada satélite QZSS no debe generar una dfp mayor de  $-203 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$  en la banda de radioastronomía. Como referencia cabe señalar que en el caso del radiotelescopio de Usuda este valor de dfp es  $-202,5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$ .

FIGURA 44



I 2091-44

FIGURA 45

Porcentaje de datos perdidos en el cielo para la dfp de  $-212 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$  (GPS)

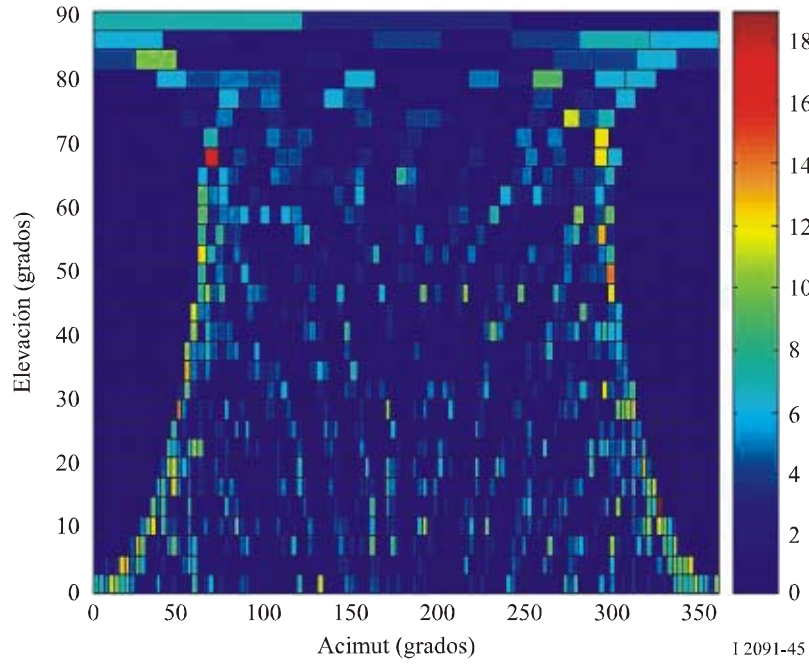
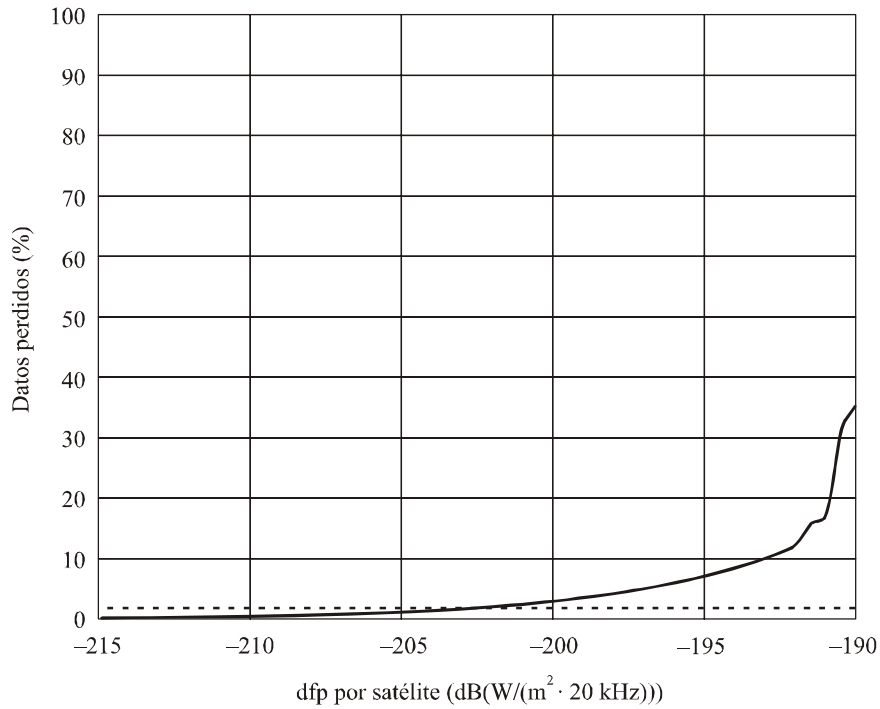


FIGURA 46

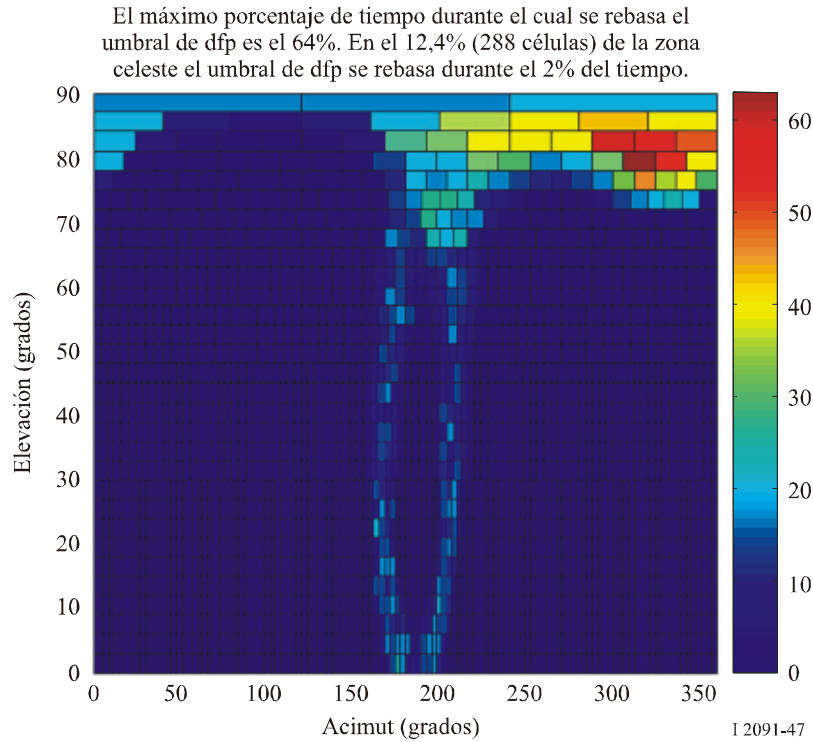
Porcentaje de datos perdidos en función de la dfp por satélite (causada por el satélite QZSS en el radiotelescopio de Kashima)





La Fig. 47 muestra para cada célula del cielo y para la mencionada dfp por satélite el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el umbral de dfpe en el radiotelescopio de Kashima.

FIGURA 47  
**Porcentaje de datos perdidos en el cielo para la dfp de  $-203 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$  en el radiotelescopio de Kashima (QZSS)**



El nivel de emisiones no deseadas de satélites QZSS figura en el § 10.2.4.3.2 y es de  $-205 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$ , por lo tanto este valor es 2 dB inferior al nivel de dfp determinado antes.

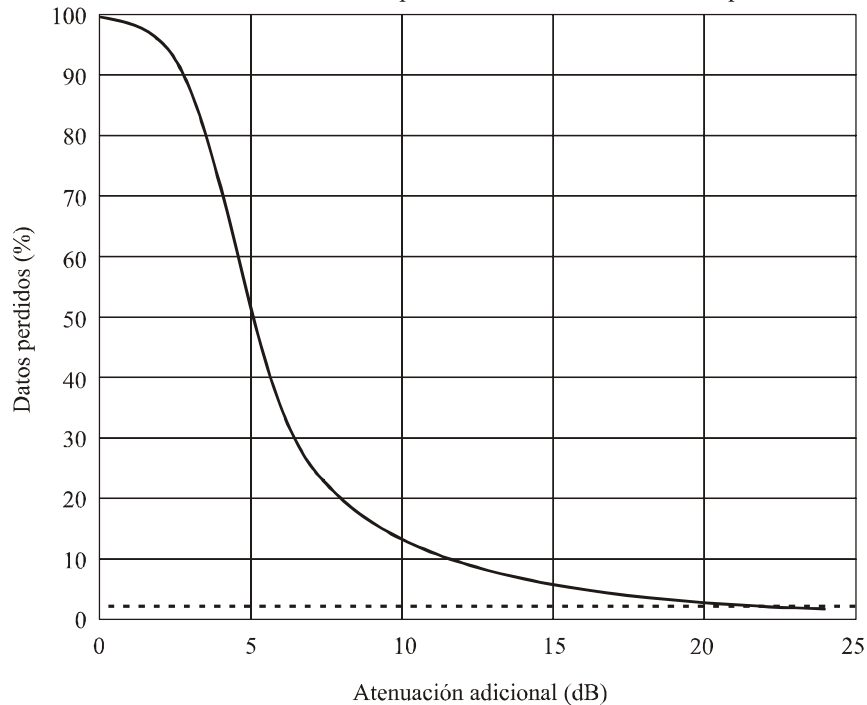
#### 10.4.2.4 GLONASS

La Fig. 48 representa el porcentaje de datos perdidos en una anchura de banda de 20 kHz centrada en 1 610,6 MHz en función de la atenuación añadida a la atenuación que proporcionaría el diseño del filtro actual de los satélites GLONASS, como muestra la Fig. 39.

FIGURA 48

**Porcentaje de datos perdidos en función de la atenuación adicional a la dfp del Cuadro 34 a 1 610,6 MHz**

El máximo porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el umbral de dfp es el 64%. En el 12,4% (288 células) de la zona celeste el umbral de dfp se rebasa durante el 2% del tiempo.



I 2091-48

Esta Figura muestra que el porcentaje de datos perdidos será en torno al 99,8% en el cielo si todos los futuros satélites GLONASS emiten con los mismos niveles de dfp que los satélites GLONASS equipados con el filtro descrito en la Fig. 39. Para respetar el margen admitido del 2% de datos perdidos, debería añadirse una atenuación adicional de 22 dB.

Las Figs. 49 y 50 muestran el porcentaje de datos perdidos en el cielo a la frecuencia de 1 610,6 MHz, para los niveles de dfp del Cuadro 37 y para los niveles de dfp atenuados un valor adicional de 22 dB, respectivamente.

Cabe señalar, que al desviar la frecuencia de 1 610,6 MHz solamente 200 kHz (para obtener la frecuencia de 1 610,8 MHz), a fin de garantizar el margen de 2% de datos perdidos, sería necesario introducir una atenuación adicional de 14,5 dB en vez de 22 dB, de acuerdo con las características del filtro (véase la Fig. 39).

FIGURA 49

Porcentaje de datos perdidos en el cielo para los niveles de dfp del Cuadro 37, a 1 610,6 MHz

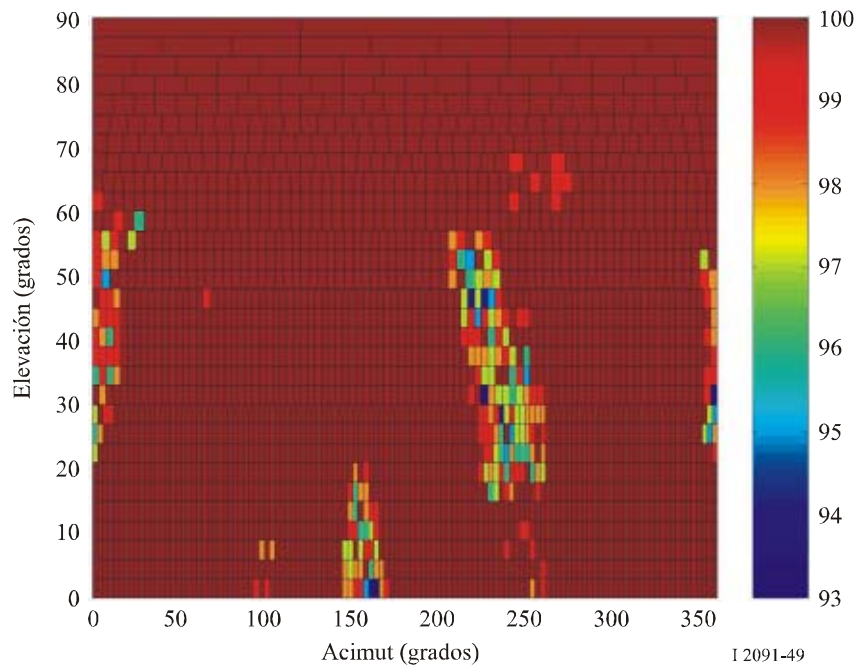
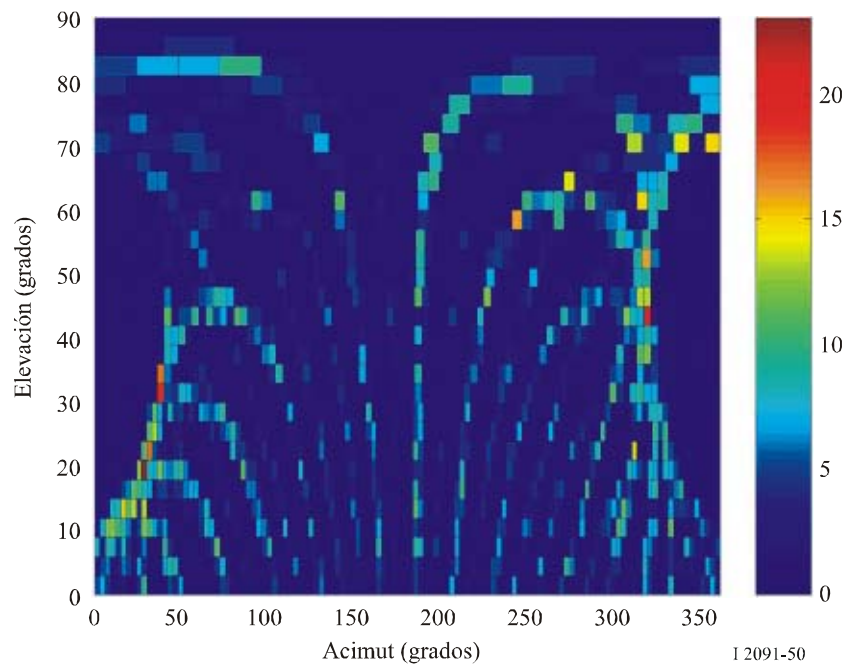


FIGURA 50

Porcentaje de datos perdidos en el cielo para una atenuación adicional de 22 dB, a 1 610,6 MHz



### 10.4.3 Valores obtenidos

Los niveles de dfp de la emisión no deseada que figura en los Cuadros 26, 29, 32 y 37 para GALILEO, GPS, QZSS y GLONASS muestran que los sistemas GALILEO, GPS y QZSS del SRNS satisfarán el nivel umbral de dfpe obtenido de la Recomendación UIT-R RA.769 con un margen de 2; 3,3 y 2 dB, respectivamente.

Sin embargo, el sistema GLONASS del SRNS no satisfará este nivel umbral de dfpe obtenido de la citada Recomendación UIT-R RA.769 en la banda 1 610,6-1 613,8 MHz por 22 dB.

## 10.5 Técnicas de reducción de la interferencia

### 10.5.1 SRA

Existen varios métodos, incluidos los que se describen a continuación, que se podrían considerar para reducir las emisiones no deseadas de transmisores de satélite en un radiotelescopio.

*Característica del lóbulo lateral de antena:* La iluminación de la abertura de los radiotelescopios está generalmente optimizada para la relación  $G/T$ ; es decir la ganancia del telescopio dividida por la temperatura de ruido del sistema. Esto se utiliza para maximizar la relación  $S/N$  para fuentes puntuales. Un elemento fundamental de este método es reducir la radiación terrestre que se introduce a través de los lóbulos laterales lejanos. Inevitablemente, esto supone un aumento correspondiente en los niveles de los lóbulos laterales cercanos. La experiencia ha demostrado que la mayoría de los radiotelescopios satisfacen la máscara de la envolvente de los lóbulos laterales que figura en la Recomendación UIT-R SA.509 en la mayor parte de las direcciones.

*Supresión en tiempo y/o frecuencia:* Esta técnica se puede aplicar en algunos casos en que la interferencia a la banda de frecuencia de radioastronomía se puede identificar plenamente y sin equívocos en tiempo y/o frecuencia.

### 10.5.2 Servicio de radionavegación por satélite

Pueden aplicarse al menos dos técnicas de reducción de la interferencia distintas para disminuir la cantidad de emisiones no deseadas de los satélites del SRNS:

- filtrado;
- utilización de un plan de frecuencias mejorado.

Los siguientes párrafos proporcionan un ejemplo de aplicación de ambas técnicas a los sistemas del SRNS existentes.

Inicialmente dos sistemas del SRNS empezaron a funcionar en la banda 1 559-1 610 MHz y ambos utilizan modulación de espectro ensanchado. Los dos sistemas iniciaron su funcionamiento sin filtrar sus transmisiones y se detectó que las estaciones de radioastronomía sufrían interferencia procedente de ambos sistemas en la banda 1 610,6-1 613,8 MHz.

Las emisiones no deseadas en la banda 1 610,6-1 613,8 MHz de uno de los sistemas iniciales en funcionamiento, que opera en las frecuencias inferiores de la banda del SRNS, se redujeron para satisfacción de la comunidad de radioastronomía introduciendo filtros en los satélites de su sistema que fueron lanzados después de que se informó de la aparición de la interferencia (véase § 10.2.4.2.2).

El otro sistema inicial empezó a funcionar en la banda 1 610,6-1 613,8 MHz, mientras que esta atribución al SRA era aún de categoría secundaria. Para mejorar la situación de interferencia en la banda, se concluyó un Acuerdo entre el operador del satélite y el Comité Interuniones para la Atribución de Frecuencias a la Radioastronomía y la Ciencia Espacial (IUCAF), que representa a la comunidad radioastronómica mundial (Documento CMR-93/43). Este Acuerdo contiene un método escalonado para satisfacer los criterios de protección del SRA después de algunos años. Sujeto al anterior Acuerdo, se ha revisado el plan de disposición de canales y se ha desplazado la transmisión de los satélites a frecuencias por debajo de la banda 1 610,6-1 613,8 MHz. Además, se han equipado los nuevos satélites del sistema con filtros adicionales (véase la Fig. 39) para reducir las emisiones fuera de banda y disminuir los niveles umbral sujetos a la Recomendación UIT-R RA.769.

Los filtros mencionados se han instalado entre la antena transmisora y cada uno de los transmisores que genera la radiación de las señales de navegación en banda L mediante sumatorio de potencias en fase.

### 10.5.3 Repercusiones posibles

#### 10.5.3.1 SRA

*Característica del lóbulo lateral de la antena:* Los intentos para disminuir la sensibilidad de la antena de radioastronomía a emisiones no deseadas que llegan a estaciones espaciales pueden incrementar la sensibilidad del telescopio de radioastronomía a radiaciones terrestres y, posiblemente, reducir su ganancia de haz principal. Ambos efectos reducirán la capacidad de canal del telescopio y producirán un aumento del tiempo de integración total requerido.

*Supresión en tiempo y/o frecuencia:* La supresión lleva consigo el riesgo de comprometer la integridad de los datos y puede producir errores en su interpretación científica. Asimismo, produce un aumento concomitante en el tiempo de integración total requerido para efectuar la observación, y esto es equivalente a una pérdida de la capacidad de canal del telescopio.

Si un sistema del SRNS rebasa el nivel umbral de dfpe, obtenido de la Recomendación UIT-R RA.769 en la banda 1 610,6-1 613,8 MHz, la utilización de esta banda por el SRA para observaciones de la molécula del radical oxhidrilo puede que no sea posible.

#### 10.5.3.2 SRNS

Las soluciones de hardware tales como la instalación de filtros pueden ser difíciles de aplicar. En antenas de múltiples elementos activos puede ser necesario instalar filtros para cada elemento de antena, lo que aumentará el peso del satélite. Las pérdidas de los filtros requerirán transmisores de mayor potencia, lo cual, a su vez, exigirá mayor potencia en el bus de alimentación y, por consiguiente, paneles solares más grandes. Esto aumentará aún más el peso del satélite. Además, un satélite más grande y pesado podría necesitar un dispositivo de lanzamiento mayor y la repercusión en los costes puede ser grande. El perfeccionamiento en el diseño de filtros puede mejorar este problema. La aplicación de filtros en este sistema es una tarea más realizable si se considera en la etapa de diseño del sistema.

Además la instalación de filtros en los satélites GLONASS ha dado lugar a la aparición de los siguientes problemas básicos:

- La sincronización de las emisiones transmitidas que constituyen la señal de navegación en una frecuencia es muy complicada. La falta de sincronización adecuada produce una distorsión en el diagrama de radiación de la antena y pérdidas en la potencia de emisión de la señal de navegación.
- Han aparecido pérdidas adicionales en los filtros paso banda que reducen el nivel de la señal de navegación emitida.
- Han aparecido retardos adicionales de la señal de modulación en la banda L1 que introducen el error adicional para compensar la imprecisión ionosférica percibida por los usuarios.

La Federación de Rusia considera que las condiciones previamente acordadas entre el IUCAF y la administración GLONASS se han satisfecho.

Los requisitos de supresión de emisión no deseada adicional en la banda de radioastronomía, más allá de la atenuación proporcionada por el filtro mostrado en la Fig. 39, agravarían los problemas indicados anteriormente. Si se excluyesen las señales de navegación de la solución de navegación, se degradarían las aplicaciones relativas a la seguridad de la vida humana del sistema GLONASS.

Como ya se ha iniciado la fabricación de satélites GLONASS equipados con filtros, las características de este filtro no cambiarán en un próximo futuro.

### **10.6 Resultados de los estudios**

En esta banda, se pueden satisfacer los niveles umbral para la interferencia perjudicial a las observaciones de radioastronomía como se indica en § 10.1.3 por el servicio activo para el caso de VLBI y raya espectral con antena parabólica única, cuando se tienen en cuenta los métodos de reducción de la interferencia. En esta banda no se efectúan observaciones del continuum con antena parabólica única. Los resultados de los análisis del § 10.4 demuestran que para un sistema existente, un sistema en desarrollo y otro sistema del SRNS previsto, todos los cuales funcionan o tienen previsto funcionar en la banda 1 559-1 610 MHz, los niveles de emisiones no deseadas que caen en la banda 1 610-1 613,8 MHz pueden satisfacer los criterios de protección del sistema de radioastronomía, como consecuencia de la aplicación de técnicas de reducción de la interferencia. También demuestran que ese no es el caso para otro sistema existente que funciona en la misma banda.

## **11 Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA que funcionan en la banda 1 610,6-1 613,8 MHz y sistemas del SMS (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 1 613,8-1 626,5 MHz**

### **11.1 SRA**

#### **11.1.1 Banda atribuida**

La banda 1 610,6-1 613,8 MHz está atribuida al SRA a título primario.

En el número 5.149 del RR se insta a las administraciones a tomar las medidas necesarias para proteger el SRA.

#### **11.1.2 Tipo de observaciones**

La banda 1 610,6-1 613,8 MHz se utiliza para efectuar observaciones de raya espectral del OH. La raya espectral OH, que tiene una frecuencia de reposo de 1 612 MHz, es una de las rayas espectrales más importantes para la radioastronomía, y se enumeran como tales en la Recomendación UIT-R RA.314. El OH fue el primer radical cósmico que se ha detectado en frecuencias radioeléctricas (1963), y continúa siendo una herramienta de investigación esencial. El OH produce cuatro rayas espectrales, en frecuencias de aproximadamente 1 612, 1 665, 1 667 y 1 720 MHz, las que han sido observadas en nuestra propia Galaxia, así como en galaxias externas. El estudio de las rayas espectrales OH proporciona información sobre una amplia gama de fenómenos astronómicos, por ejemplo la formación de protoestrellas y la evolución de las estrellas. Para interpretar mejor las observaciones efectuadas en las rayas espectrales OH, es necesario medir la intensidad relativa de diversas rayas de este tipo. La pérdida de la capacidad para observar cualquiera de ellas puede impedir el estudio de algunas clases de fenómenos físicos.

Estas líneas espectrales OH se producen a través de un proceso coherente, en el cual una concentración de radicales OH irradia «por pasos», creando una emisión en banda estrecha. Estas líneas están ligeramente ensanchadas debido a las condiciones físicas en esta concentración. El movimiento de estas concentraciones con respecto a la Tierra impone un desplazamiento Doppler en la emisión de rayas espectrales. La presencia de diversas concentraciones en la fuente, que se mueven a diferentes velocidades, da lugar a un espectro más complicado, conformado por un número de perfiles de líneas gaussianas superpuestas de diferentes anchuras y amplitudes y frecuencias ligeramente diferentes (debido a los distintos desplazamientos Doppler). Es necesaria

toda la anchura de la banda atribuida para dar cabida a la expansión y desplazamiento del espectro para movimientos diferenciales y totales de la fuente.

En algunas fases de su evolución, algunas clases de estrellas irradian sólo la raya de 1 612 MHz. El estudio de esta raya espectral permite a los astrónomos estimar algunas propiedades físicas de esas estrellas como la velocidad con la que se desprende el gas de las mismas y el reciclado en el medio interestelar. Algunas propiedades de estas estrellas no pueden ser inferidas de ninguna otra observación astronómica. Las mediciones de estrellas que emiten OH se han utilizado para estimar la distancia al centro galáctico, para medir la masa de la protuberancia central de nuestra Galaxia, y para estudiar la distribución espacial de la componente molecular en nuestra Galaxia y en galaxias externas. Por último, se han detectado emisiones de máser sumamente fuertes cerca de los núcleos de una serie de galaxias externas. Esta gran emisión de máser OH de los núcleos galácticos permiten a los astrónomos estudiar la temperatura y densidad del gas molecular en su centro.

La raya espectral del OH se observa también en cometas; en esta caso, hay poca flexibilidad para la programación de observaciones de esos cuerpos celestes.

Las observaciones de rayas espectrales se efectúan utilizando espectrómetros que pueden integrar simultáneamente la potencia en un gran número de canales de frecuencia (típicamente 256 a 4 096) distribuidos a través de la banda de frecuencias utilizada. La anchura y cantidad de canales debe ser lo suficientemente amplia para reproducir con exactitud el espectro de la emisión recibida por el radiotelescopio. Se utilizan anchuras de banda instantáneas de 0,2-20 kHz aproximadamente por canal de frecuencia, dependiendo del programa científico.

Las fuentes son pequeñas, y las mediciones de su tamaño y estructura requieren a menudo observaciones que utilizan la técnica de VLBI.

### 11.1.3 Criterios de protección requeridos

En la Recomendación UIT-R RA.769 se especifican los criterios de protección para las observaciones radioastronómicas e indica los niveles de umbral de la interferencia perjudicial para bandas primarias de radioastronomía. En la banda 1 610,6-1 613,8 MHz, el límite de dfp de umbral para observaciones de raya espectral con antena parabólica simple que utiliza una anchura de banda de canal (uno de los canales del espectrómetro) de 20 kHz, es de  $-194 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ . Esta banda sólo se utiliza para observaciones radioeléctricas de rayas espectrales y no para observaciones del continuum.

Para la interferencia perjudicial procedente de los sistemas no OSG, los criterios de protección y las metodologías pertinentes se describen en la Recomendación UIT-R RA.769 y UIT-R RA.1513, así como en la Recomendación UIT-R S.1586 para sistemas del SFS y en la Recomendación UIT-R M.1583 para sistemas del SMS y del SRNS.

Los umbrales de los niveles de interferencia perjudicial al SRA como se define y calcula en la Recomendación UIT-R RA.769 son criterios de protección por encima de los cuales los datos de radioastronomía se degradan y, finalmente, pueden ser destruidos. En principio, en circunstancias algo ideales, si esos niveles se exceden muy ligeramente puede ser posible compensarlos en el observatorio de radioastronomía aumentando el tiempo de observación. Al efectuar esto, la capacidad del canal del telescopio disminuye, con una reducción correspondiente del caudal científico. Si el nivel de interferencia, conforme a las hipótesis de la Recomendación UIT-R RA.769 (por ejemplo, característica de antena, etc.), alcanza un valor de 10 dB o más por encima de la definición de la Recomendación UIT-R RA.769, el incremento del tiempo de observación ya no es eficaz para asegurar que se proporcionen datos científicos válidos a los astrónomos. La estación de radioastronomía podrá funcionar en la banda de frecuencias afectada, y su capacidad de prestar servicios se perderá si no se aplican las técnicas de reducción de interferencia apropiadas.

#### 11.1.4 Características de funcionamiento

Las observaciones en la banda de 1 612 MHz se llevan a cabo en una serie de emplazamientos de radioastronomía en numerosos países en todo el mundo. Las observaciones en la banda de 1 612 MHz se efectúan a veces conforme a un objetivo oportuno, por ejemplo cuerpos celestes como cometas, que han sido observados para producir emisiones transitorias en esta línea. Las observaciones de VLBI son también frecuentes en esta banda, efectuada a veces entre redes de VLBI norteamericanas y europeas.

Las observaciones de VLBI, donde las señales de antenas ampliamente separadas se registran y correlacionan después de efectuadas las mismas, son mucho menos susceptibles a la interferencia. Esto se refleja en el nivel de dfp umbral para las observaciones de VLBI en esta banda,  $-166 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , para una anchura de banda de 20 kHz, que ha sido desarrollado para observaciones de VLBI, pero no incluido en la Recomendación UIT-R RA.769.

Las observaciones de raya espectral se efectúan utilizando espectrómetros multicanal que pueden integrar simultáneamente la potencia en muchos canales de frecuencias (típicamente 256 a 4 096) distribuidos en toda la banda. El número de canales y cada una de sus anchuras de banda se eligen para tomar adecuadamente una muestra del espectro de la emisión neta de la fuente o fuentes en el haz de antena.

En general, las observaciones se efectúan en forma diferencial; los espectros se registran en gamas de frecuencias que incluyen emisiones de la raya espectral de interés (espectros de rayas), y luego a una frecuencia que está desplazada de las emisiones de raya espectral, o a la misma frecuencia pero en una posición cercana en el cielo (espectros de referencia). Mediante la sustracción de los espectros de referencia de los espectros de rayas se pueden eliminar de los datos las contribuciones de ruidos no deseados y otros contaminantes.

Las observaciones de VLBI se efectúan mediante la reducción de las señales a una banda de base, que se digitaliza sin rectificación y se registra en cinta magnética u otro medio de almacenamiento, junto con señales de temporización precisas. Los datos se transfieren entonces a un centro de procesamiento de datos de VLBI, donde las señales se sincronizan y correlacionan. En consecuencia, la repercusión total de la interferencia podría no conocerse hasta que finalice el periodo de observación y los datos hayan sido procesados.

## 11.2 SMS

### 11.2.1 Banda de transmisión atribuida

La banda 1 613,8-1 626,5 MHz fue atribuida al SMS (espacio-Tierra) a título secundario, en todo el mundo en la CAMR-92. Esta Conferencia también tomó las siguientes medidas con respecto al SRA en la banda 1 610,6-1 613,8 MHz:

- a) mejoramiento de la atribución existente a la radioastronomía de título secundario a título primario en la banda 1 610,6-1 613,8 MHz, y
- b) la adopción del número 5.372 del RR, que establece «Las estaciones del servicio de radiodeterminación por satélite y del servicio móvil por satélite no causarán interferencia perjudicial a las estaciones del servicio de radioastronomía que utilicen la banda 1 610,6-1 613,8 MHz. (Se aplica el número **29.13** del RR.)» Esta nota se aplica a la banda 1 610-1 626,5 MHz.

### 11.2.2 Aplicación

La banda 1 610-1 626,5 MHz está atribuida a los enlaces ascendentes del SMS en todo el mundo a título primario, sujeta a algunas restricciones.



La banda 1 613,8-1 626,5 MHz está atribuida al servicio del SMS (espacio-Tierra) a título secundario en todo el mundo. El sistema HIBLEO-2 es actualmente el único sistema que utiliza esta atribución en ambos sentidos, es decir Tierra-espacio y espacio-Tierra, mientras que el sistema HIBLEO-4 utiliza la banda en el sentido Tierra-espacio. El HIBLEO-2 es un sistema de satélite con capacidad para funcionar en la banda 1 616-1 626,5 MHz, pero está autorizado para funcionar en la banda 1 621,35-1 626,5 MHz solamente.

### 11.2.3 Niveles basados en disposiciones reglamentarias

No hay límites reglamentarios en emisiones fuera de banda en el RR de la UIT. Sin embargo, en los números 5.28 a 5.31 del mismo se establece, entre otros, que las estaciones de un servicio secundario no deben causar interferencia perjudicial a las estaciones de un servicio primario a las que se le hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les puedan asignar en el futuro ni pueden reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones de un servicio primario. Esta disposición se aplica a la protección de emisiones en banda y fuera de banda y se aplicarían a enlaces descendentes del SMS a título secundario independientemente de los niveles de dfp especificados. De esta manera, no hay razones obvias para codificar los límites de dfp específicos.

En el número 29.13 del RR se establece que «Las administraciones deberán tener en cuenta las Recomendaciones UIT-R pertinentes, con el fin de limitar la interferencia causada por estaciones de otros servicios al servicio de radioastronomía».

## 11.3 Umbral de compatibilidad

Véase el § 11.1.3.

## 11.4 Evaluación de la interferencia

### 11.4.1 Metodología utilizada para determinar el nivel de interferencia

En el § 11.1.3 se indican las referencias a las Recomendaciones UIT-R pertinentes que se ocupan de sistemas no OSG.

### 11.4.2 Cálculo del nivel de interferencia

Las emisiones no deseadas en términos de densidad espectral de flujo de potencia combinada de transmisiones del satélite HIBLEO-2 en la banda 1610,6-1613,8 MHz han sido estimadas teóricamente entre  $-214 \text{ dB(W/(m}^2\text{/Hz))}$  y  $-223 \text{ dB(W/(m}^2\text{/Hz))}$  en algunos emplazamientos de radioastronomía, en condiciones totalmente cargadas.

### 11.4.3 Valores obtenidos

Un programa de prueba en colaboración efectuado en 1998 y conducido por el satélite HIBLEO-2 y el Observatorio Nacional de Radioastronomía (NRAO) de Estados Unidos, midió valores de densidad espectral de flujo de potencia que oscilaban entre  $-220$  y  $-240 \text{ dB(W/(m}^2\text{/Hz))}$  en dichos emplazamientos. Estos valores se refieren a los denominados canales vocales que están encendidos cuando tiene lugar la comunicación. Además, se determinó que el sistema HIBLEO-2 irradia señales de radiodifusión en todo momento. Los espectros de los canales de radiodifusión exhiben crestas estrechas de 9 a 10 (menor que la anchura de 40 kHz) dentro de la banda de radioastronomía. Los valores medios de cresta de la defp obtenidos están en  $-227 \text{ dB(W/(m}^2\text{/Hz))}$  en un tiempo de 90 ms. En razón de la discordancia entre la transmisión del sistema de satélite y otros parámetros y las características del receptor y antena de radioastronomía (por ejemplo, los radiotelescopios no están adaptados para seguir las trayectorias de satélites; las anchuras de banda disponibles del receptor son distintas de 20 kHz, etc.), fue difícil estimar la defp que podría resultar

en las condiciones indicadas en la Recomendación UIT-R RA.769, que especifica un nivel de interferencia perjudicial de  $-238 \text{ dB(W/(m}^2\text{/Hz))}$ .

## **11.5 Técnicas de mitigación de la interferencia**

### **11.5.1 SRA**

Existen varios métodos que se podrían utilizar para reducir las emisiones no deseadas de transmisores de satélite en un radiotelescopio. Cuando estos métodos son insuficientes, se pueden considerar otras soluciones, tal como un acuerdo entre el operador de un sistema de satélite y los observatorios de radioastronomía.

En el RR no se especifican disposiciones para dichos acuerdos de coordinación entre el servicio de radioastronomía y los servicios activos. Sin embargo, en el Artículo 9 del RR se establecen disposiciones generales para la coordinación y consulta.

Los acuerdos de coordinación sólo se pueden celebrar con el consentimiento mutuo explícito de las partes que intervienen, es decir, en principio el operador del satélite y el observatorio astronómico afectado. Para enlaces descendentes del satélite, la coordinación a nivel nacional entre un operador del sistema del satélite y los sitios de radioastronomía sólo es practicable cuando la zona de iluminación de la transmisión del satélite es menor que las dimensiones geográficas de la nación en la que se trata de obtener la coordinación y cuando la visibilidad de la estación espacial de transmisión desde una estación de radioastronomía no se extiende más allá del límite de la nación. Es necesario hallar soluciones internacionales cuando la densidad geográfica local de las estaciones de radioastronomía que funcionan en 1,6 GHz es tal que en un instante dado las estaciones de radioastronomía están en más de una nación dentro de la misma zona de iluminación o visibilidad del mismo satélite.

En general, las condiciones de dichos acuerdos no son inmutables en el tiempo, es necesario examinarlas convenientemente para determinar los puntos importantes que deben ser definidos. En caso de desacuerdo, se deben convenir previamente las disposiciones de arbitraje por acuerdo mutuo.

Se celebraron diversos acuerdos entre los operadores del sistema HIBLEO-2 y distintas partes de la comunidad de radioastronomía. El elemento común en esos acuerdos es que las emisiones combinadas del sistema HIBLEO-2 cumplen los niveles de umbral estipulados en la Recomendación UIT-R RA.769 para observaciones con antena parabólica simple en la banda 1 610,6-1 613,8 MHz en los observatorios interesados durante un periodo de tiempo diario, cuya duración varía entre 4 y 8 h. Algunos observatorios radioastronómicos acordaron en notificar por anticipado la intención de efectuar observaciones en esta banda.

### **11.5.2 SMS**

Existen diversos métodos, tales como filtrado, que se pueden emplear para reducir las emisiones no deseadas. Dichos métodos se deben considerar cuando se diseña una nueva estación espacial.

Cuando estos métodos son insuficientes, se pueden considerar otras soluciones tales como el acuerdo entre el operador de un sistema de satélite y los observatorios de radioastronomía (véase el § 5.1).

### **11.5.3 Repercusiones posibles**

#### **11.5.3.1 SRA**

Los acuerdos de coordinación entre el operador de un sistema de satélite y los observatorios radioastronómicos, si son totalmente viables, pueden tener una repercusión negativa sobre la programación de las observaciones, la flexibilidad del observatorio para atender las necesidades de

la comunidad de usuarios, y el incremento de los gastos administrativos. La repercusión neta de un acuerdo de coordinación sobre el funcionamiento de un observatorio no deberá presentar inconvenientes para encontrar los criterios de productividad requeridos.

### 11.5.3.2 SMS

Las soluciones de equipo físico como la instalación de filtros pueden ser difíciles de aplicar. Por ejemplo, en antenas de múltiples elementos, puede ser necesario instalar filtros para cada elemento de antena. Esto aumentará el peso del satélite. Las pérdidas de los filtros requerirán transmisores de mayor potencia, lo cual, a su vez, requerirán mayor potencia en el bus de alimentación y, por ende, paneles solares más grandes. Esto aumentará aún más el peso del satélite. Además, un satélite más grande y pesado podría necesitar un dispositivo de lanzamiento mayor y la repercusión en los costos puede ser grande. Las mejoras técnicas en el diseño de filtros pueden mejorar este problema. La aplicación de filtros en este sistema es una tarea más practicable si se considera en la etapa de diseño del sistema.

Sin embargo, se debe observar que conforme al acuerdo de coordinación celebrado entre el operador del sistema de satélite HIBLEO-2 y la comunidad europea de radioastronomía, el nivel de dfp del sistema HIBLEO-2 no ha de rebasar los niveles especificados en la Recomendación UIT-R RA.769 para estaciones de radioastronomía en toda Europa desde el 1 de enero de 2006. Esto indica que para esa fecha se espera aplicar técnicas adecuadas de mitigación de la interferencia.

No obstante, si la renovación de satélites se extiende más allá del 1 de enero de 2006 será difícil emplear mejores técnicas de filtrado en satélites aún en órbita con filtros inadecuados y la utilización de otras técnicas de mitigación podría tener una repercusión económica adversa.

## 11.6 Resultados de los estudios

### 11.6.1 Resumen

Se han abordado cuestiones de mitigación de la interferencia mediante la celebración de acuerdos entre los operadores del sistema HIBLEO-2 y los diversos operadores de los servicios de radioastronomía. Mediante estas técnicas de mitigación sería posible satisfacer los criterios de protección para las operaciones de rayas espectrales, como se describe en el § 1.3, y para las observaciones de VLBI. En esta banda no se efectúan observaciones del continuum con antena parabólica simple.

### 11.6.2 Conclusiones

Con la aplicación de técnicas de reducción de la interferencia puede ser posible efectuar observaciones efectivas de raya espectral y de VLBI en esta banda.

## 12 **Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA que funcionan en la banda 1 610,6-1 613,8 MHz y sistemas OSG del SMS (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 1 525-1 559 MHz**

### 12.1 SRA

#### 12.1.1 Banda atribuida

La banda 1 610,6-1 613,8 MHz está atribuida al SRA a título primario.

En el número 5.149 del RR se insta a las administraciones a tomar las medidas necesarias para proteger el SRA.

### 12.1.2 Tipo de observaciones

La banda 1 610,6-1 613,8 MHz se utiliza para efectuar observaciones de raya espectral del OH. La raya espectral OH, que tiene una frecuencia de reposo de 1 612 MHz, es una de las rayas espectrales más importantes para la radioastronomía, y se enumeran como tales en la Recomendación UIT-R RA.314. El OH fue el primer radical cósmico que se ha detectado en frecuencias radioeléctricas (1963), y continúa siendo una herramienta de investigación esencial. El OH produce cuatro rayas espectrales, en frecuencias de aproximadamente 1 612, 1 665, 1 667 y 1 720 MHz, las que han sido observadas en nuestra propia Galaxia, así como en galaxias externas. El estudio de las rayas espectrales OH proporciona información sobre una amplia gama de fenómenos astronómicos, por ejemplo la formación de protoestrellas y la evolución de las estrellas. Para interpretar mejor las observaciones efectuadas en las rayas espectrales OH, es necesario medir la intensidad relativa de diversas rayas de este tipo. La pérdida de la capacidad para observar cualquiera de ellas puede impedir el estudio de algunas clases de fenómenos físicos.

Estas líneas espectrales OH se producen a través de un proceso coherente, en el cual una concentración de radicales OH irradia «por pasos», creando una emisión en banda estrecha. Las líneas están ligeramente ensanchadas debido a las condiciones físicas en esta concentración. El movimiento de estas concentraciones con respecto a la Tierra impone un desplazamiento Doppler en la emisión de rayas espectrales. La presencia de diversas concentraciones en la fuente, que se mueven a diferentes velocidades, da lugar a un espectro más complicado, conformado por un número de perfiles de líneas gaussianas superimpuestas de diferentes anchuras y amplitudes y frecuencias ligeramente diferentes (debido a los distintos desplazamientos Doppler). Es necesaria toda la anchura de la banda atribuida para dar cabida a la expansión y desplazamiento del espectro para movimientos diferenciales y totales de la fuente.

En algunas fases de su evolución, algunas clases de estrellas irradian sólo la raya de 1 612 MHz. El estudio de esta raya espectral permite a los astrónomos estimar algunas propiedades físicas de esas estrellas como la velocidad con la que se desprende el gas de las mismas y el reciclado en el medio interestelar. Algunas propiedades de estas estrellas no pueden ser inferidas de ninguna otra observación astronómica. Las mediciones de estrellas que emiten OH se han utilizado para estimar la distancia al centro galáctico, para medir la masa de la protuberancia central de nuestra Galaxia, y para estudiar la distribución espacial de la componente molecular en nuestra Galaxia y en galaxias externas. Por último, se han detectado emisiones de máser sumamente fuertes cerca de los núcleos de una serie de galaxias externas. Esta gran emisión de máser OH de los núcleos galácticos permiten a los astrónomos estudiar la temperatura y densidad del gas molecular en su centro.

La raya espectral del OH se observa también en cometas; en esta caso, hay poca flexibilidad para la programación de observaciones de esos cuerpos celestes.

Las observaciones de rayas espectrales se efectúan utilizando espectrómetros que pueden integrar simultáneamente la potencia en un gran número de canales de frecuencia (típicamente 256 a 4 096) distribuidos a través de la banda de frecuencias utilizada. La anchura y cantidad de canales debe ser lo suficientemente amplia para reproducir con exactitud el espectro de la emisión recibida por el radiotelescopio. Se utilizan anchuras de banda instantáneas de 0,2 a 20 kHz aproximadamente por canal de frecuencia, dependiendo del programa científico.

Las fuentes son pequeñas, y las mediciones de su tamaño y estructura requieren a menudo observaciones que utilizan la técnica de VLBI.

### 12.1.3 Criterios de protección requeridos

En la Recomendación UIT-R RA.769 se especifican los criterios de protección para las observaciones radioastronómicas e indica los niveles de umbral de la interferencia perjudicial para bandas primarias de radioastronomía. El límite de dfp umbral para observaciones de raya espectral

con antena parabólica simple que utiliza una anchura de banda de canal (uno de los canales del espectrómetro) de 20 kHz, es de  $-194 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ .

Esta banda sólo se utiliza para observaciones radioeléctricas de rayas espectrales y no para observaciones del continuum.

Los umbrales de los niveles de interferencia perjudicial al SRA como se define y calcula en la Recomendación UIT-R RA.769 son criterios de protección por encima de los cuales los datos de radioastronomía se degradan y, finalmente, pueden ser destruidos. En principio, en circunstancias algo ideales, si esos niveles se exceden muy ligeramente puede ser posible compensarlos en el observatorio de radioastronomía aumentando el tiempo de observación. Al efectuar esto, la capacidad del canal del telescopio disminuye, con una reducción correspondiente del caudal científico. Si el nivel de interferencia, conforme a las hipótesis de la Recomendación UIT-R RA.769 (por ejemplo, característica de antena, etc.), alcanza un valor de 10 dB o más por encima de la definición de la Recomendación UIT-R RA.769, el incremento del tiempo de observación ya no es eficaz para asegurar que se proporcionen datos científicos válidos a los astrónomos. La estación de radioastronomía podrá funcionar en la banda de frecuencias afectada, y su capacidad de prestar servicios se perderá si no se aplican la técnicas de reducción de interferencia apropiadas.

#### 12.1.4 Características de funcionamiento

Las observaciones en la banda de 1612 MHz se llevan a cabo en una serie de emplazamientos de radioastronomía en numerosos países en todo el mundo. Las observaciones en la banda de 1612 MHz se efectúan a veces conforme a un objetivo oportuno, por ejemplo cuerpos celestes como cometas, que han sido observados para producir emisiones transitorias en esta línea. Las observaciones de VLBI son también frecuentes en esta banda, efectuada a veces entre redes de VLBI norteamericanas y europeas.

Las observaciones de VLBI, donde las señales de antenas ampliamente separadas se registran y correlacionan después de efectuadas las mismas, son mucho menos susceptibles a la interferencia. Esto se refleja en el nivel de  $d_{fp}$  umbral para las observaciones de VLBI en esta banda,  $-166 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , para una anchura de banda de 20 kHz, que ha sido desarrollado para observaciones de VLBI, pero no incluido en la Recomendación UIT-R RA.769.

Las observaciones de raya espectral se efectúan utilizando espectrómetros multicanal que pueden integrar simultáneamente la potencia en muchos canales de frecuencias (típicamente 256 a 4096) distribuidos en toda la banda. El número de canales y cada una de sus anchuras de banda se eligen para tomar adecuadamente una muestra del espectro de la emisión neta de la fuente o fuentes en el haz de antena.

En general, las observaciones se efectúan en forma diferencial; los espectros se registran en gamas de frecuencias que incluyen emisiones de la raya espectral de interés (espectros de rayas), y luego a una frecuencia que está desplazada de las emisiones de raya espectral, o a la misma frecuencia pero en una posición cercana en el cielo (espectros de referencia). Mediante la sustracción de los espectros de referencia de los espectros de rayas se pueden eliminar de los datos las contribuciones de ruidos no deseados y otros contaminantes.

Las observaciones de VLBI se efectúan mediante la reducción de las señales a una banda de base, que se digitaliza sin rectificación y se registra en cinta magnética u otro medio de almacenamiento, junto con señales de temporización precisas. Los datos se transfieren entonces a un centro de procesamiento de datos de VLBI, donde las señales se sincronizan y correlacionan. En consecuencia, la repercusión total de la interferencia podría no conocerse hasta que finalice el periodo de observación y los datos hayan sido procesados.

## 12.2 SMS

### 12.2.1 Banda de transmisión atribuida

1 525-1 559 MHz (espacio-Tierra).

### 12.2.2 Aplicación

SMS.

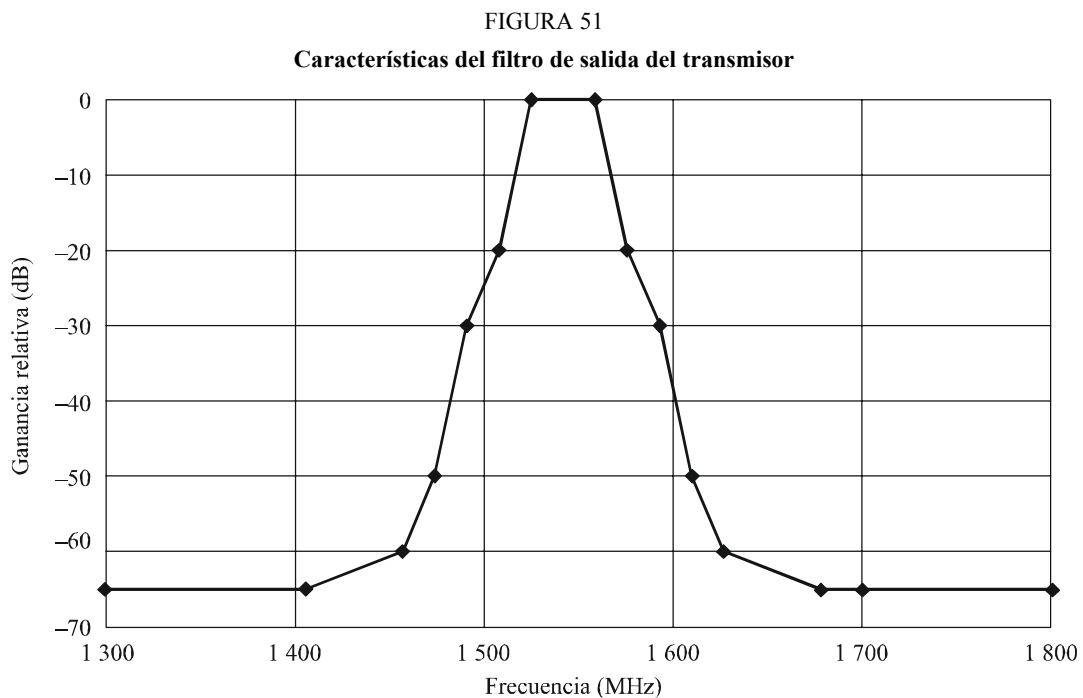
### 12.2.3 Niveles basados en disposiciones reglamentarias

Apéndice 3 del RR.

La atenuación requerida es  $43 + 10 \log P$  dBc o 60 dBc, cualquiera que sea la menos estricta, donde  $P$  es la potencia de cresta a la entrada de la antena (W) con una anchura de banda de 4 kHz.

### 12.2.4 Características del transmisor

La ganancia de antena es de 41 dBi. La característica del filtro de salida del transmisor se muestra en la Fig. 51.



I 2091-51

### 12.2.5 Características operacionales

La potencia de cresta típica en un haz puntual de satélite OSG del SMS a la entrada de la antena es de 16 dBW sobre una anchura de banda de 5 MHz.

### 12.2.6 Nivel de transmisión en banda

El nivel de transmisión en banda es  $-15$  dBW con una anchura de banda de 4 kHz.

## 12.3 Umbral de compatibilidad

Véase el § 12.1.3.

## 12.4 Evaluación de la interferencia

### 12.4.1 Metodología utilizada para determinar el nivel de interferencia

Para determinar la dfp en la superficie de la Tierra se utilizan la cresta de los parámetros de la densidad espectral de potencia dentro de la banda, la ganancia máxima de antena y la atenuación medida del filtro de salida en la banda 1 525-1 559 MHz en distintas frecuencias.

### 12.4.2 Cálculo del nivel de interferencia

En el Cuadro 11 se indican los niveles de potencia típicos a la salida del filtro en banda L del transmisor, utilizado para la banda 1 525-1 559 MHz, los niveles de densidad de la p.i.r.e. a la salida de la antena y la dfp en la superficie de la Tierra en diferentes frecuencias.

### 12.4.3 Valores obtenidos

El valor obtenido es  $-192 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  con una anchura de banda de 4 kHz.

Al transferir estos valores para observaciones de raya espectral con antena parabólica simple, se obtiene un valor de dfp de  $-185 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  con una anchura de banda de 20 kHz. En base a los parámetros precedentes de un sistema móvil por satélite OSG de un operador, se determina que el valor obtenido es 9 dB inferior a los criterios de protección en observaciones de raya espectral con antena parabólica simple.

CUADRO 38

**Valores esperados de la densidad espectral de potencia, densidad de la p.i.r.e. y dfp en la superficie de la Tierra de un satélite Inmarsat-4 en la banda de frecuencias 1 525-1 559 MHz**

Frecuencia (MHz)	Densidad espectral de potencia a la salida del filtro (dB(W/4 kHz))	Densidad de la p.i.r.e. a la salida de la antena (dB(W/4 kHz))	dfp en la superficie de la Tierra (dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz)))
1 300	-80	-39	-202
1 406	-80	-39	-202
1 457	-75	-24	-197
1 474	-65	-14	-187
1 491	-45	-4	-167
1 508	-35	6	-157
1 525	-15	26	-137
1 559	-15	26	-137
1 576	-35	6	-157
1 593	-45	-4	-167
1 610	-65	-14	-187
1 627	-75	-24	-197
1 678	-80	-39	-202
1 700	-80	-39	-202
1 800	-80	-39	-202

## 12.5 Técnicas de reducción de la interferencia

### 12.5.1 SRA

Existen diversos métodos, incluidos los que se describen más abajo, que se podrían considerar para reducir las emisiones no deseadas de transmisores de satélite en un radiotelescopio.

*Característica del lóbulo lateral de la antena:* La iluminación de la abertura de los radiotelescopios se optimiza generalmente para la relación  $G/T$ , es decir la ganancia del telescopio dividida por la temperatura de ruido del sistema. Esto se utiliza para maximizar la relación  $S/N$  para fuentes puntuales. Un elemento fundamental de este método es reducir la radiación terrestre que penetra a través de lóbulos laterales lejanos. Inevitablemente esto conduce a un determinado aumento en los niveles de lóbulos laterales cercanos. La experiencia ha indicado que la mayoría de los radiotelescopios satisface la máscara de lóbulo lateral de la envolvente que figura en la Recomendación UIT-R SA.509 sobre la mayor parte de las direcciones.

*Supresión en tiempo y/o frecuencia:* Esta técnica se puede aplicar en algunos casos en que la interferencia a la banda de frecuencias de radioastronomía se puede identificar plenamente y sin equívocos en tiempo y/o frecuencia.

### 12.5.2 SMS

A fin de mejorar los niveles indicados en el Cuadro 11, se deberían tener en cuenta las siguientes técnicas de reducción de la interferencia en el diseño de nuevas estaciones espaciales:

- la respuesta de frecuencia de banda ancha de la antena;
- las características de atenuación de los filtros intermedios;
- la respuesta ganancia/frecuencia de amplificadores de potencia de estado sólido;
- las características de modulación de cada portadora;
- la atenuación de los productos de intermodulación con respecto a la potencia de las portadoras.

### 12.5.3 Repercusiones posibles

#### 12.5.3.1 SRA

Sobre la base de los análisis efectuados en el § 12.4 y la naturaleza de las técnicas de mitigación enumeradas en el § 12.5.1, se podría producir alguna pérdida de tiempo de observación cuando el satélite se traslada a través de los lóbulos laterales principal o interno de la antena. La magnitud de esta pérdida dependerá de la antena del radiotelescopio y del número de satélites. La cuestión de pérdida de datos se trata en la Recomendación UIT-R RA.1513.

#### 12.5.3.2 SMS

La aplicación de las técnicas de reducción indicadas en el § 12.5.2 se consideran técnicamente viables para sistemas OSG.

## 12.6 Resultados de los estudios

### 12.6.1 Resumen

De acuerdo con los parámetros obtenidos para un sistema móvil por satélite OSG de un operador y teniendo en cuenta los factores de reducción de la interferencia enumerados en el § 12.5.2, es posible que se puedan satisfacer los criterios sobre niveles de emisiones no deseadas sobre este sistema de satélite indicados en el § 12.1.3. En esta banda no se efectúan observaciones del continuum con antena parabólica única.



### 12.6.2 Conclusiones

Se satisfacen los criterios de protección para el caso de raya espectral con antena parabólica única y para observaciones de VLBI.

## 13 **Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 2 690-2 700 MHz y sistemas de los SRS, y fijo por satélite (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 2 655-2 690 MHz**

### 13.1 SRA

#### 13.1.1 Banda atribuida

La banda 2 690-2 700 MHz fue atribuida a título primario a los SRA, SETS (pasivo) e SIE (pasivo). En el número 5.340 del RR se establece que en esta banda «se prohíben todas las emisiones».

#### 13.1.2 Tipo de observaciones

Esta banda tiene como interés fundamental el estudio de emisiones del continuum de fuentes radioeléctricas.

Una consideración general para el estudio de emisiones del continuum de fuentes radioeléctricas es la necesidad de efectuar observaciones de muestreo de esas fuentes a través de una gama de frecuencias muy amplia. Las observaciones en muchas frecuencias ayudan a definir la configuración del espectro de las emisiones de esas fuentes, que a su vez pueden dar información de los parámetros físicos de las fuentes radiantes tales como densidades, temperaturas y campos magnéticos, así como de su respectiva vida útil. El conocimiento de estos parámetros físicos es esencial para la comprensión de los procesos físicos que produce la radiación radioeléctrica. Muchas fuentes radioeléctricas extragalácticas presentan una «ruptura» en su espectro no térmico en la región entre 1 y 3 GHz y las mediciones del continuum en 2,7 GHz aproximadamente son esenciales para definir con exactitud estas características espectrales.

Esta es una buena banda de frecuencias para efectuar mediciones del continuum debido en parte a que la radiación galáctica de fondo es baja y también en razón que los receptores de radioastronomía son de excelente calidad y tienen muy bajo ruido en esas frecuencias.

Esto es útil para realizar estudios galácticos de nubes de hidrógeno ionizadas y la radiación difusa general de la Galaxia. Teniendo en cuenta que en estas frecuencias los radiotelescopios disponibles tienen resoluciones angulares adecuadas (haces estrechos, del orden de 10 min de arco para grandes telescopios), se han efectuado muchos estudios útiles del plano galáctico, incluidas las regiones del centro galáctico, que es invisible a las longitudes de onda óptica debido a la absorción interestelar por partículas de polvo. El centro de nuestra Galaxia es quizás su región más importante y sólo se pueden observar aun en longitudes de ondas radioeléctricas e infrarrojas, pues estas longitudes de ondas no están afectadas por partículas de polvo en el espacio interestelar (las longitudes de onda ópticas son absorbidas y esparcidas por dichas partículas de polvo). El estudio de los núcleos de galaxias, incluido el núcleo de nuestra propia Galaxia, surge como un tema sumamente importante y fundamental en astronomía.

Los problemas que se pueden estudiar en esos objetos incluyen el estado de la materia y las posibilidades de la existencia de agujeros negros en los núcleos galácticos; las actividades explosivas y la producción de fuentes radioeléctricas dobles intensas provenientes de núcleos galácticos; la influencia de núcleos galácticos en la estructura morfológica de las galaxias; la formación de galaxias y cuásares; y muchos otros temas astrofísicos importantes.

Un estudio esencial en longitudes de ondas radioeléctricas es la polarización de la radiación que se observa de radiofuentes. Se encuentra a menudo que las radiofuentes tienen una polarización rectilínea débil, con un ángulo de posición que depende de la frecuencia. Este efecto es debido al hecho que el medio de propagación en el cual se desplazan las ondas radioeléctricas se compone de partículas cargadas, electrones y protones, en presencia de campos magnéticos. La determinación del grado y ángulo de polarización permite tener datos sobre campos magnéticos y densidades electrónicas del medio interestelar y, en ciertos casos, sobre la naturaleza de las propias fuentes de emisión. El grado de polarización de las ondas radioeléctricas es elevado en altas frecuencias. La banda de frecuencias 2 690-2 700 MHz es importante para efectuar mediciones de polarización.

### 13.1.3 Criterios de protección del servicio requerido

En la Recomendación UIT-R RA.769 se especifican los criterios de protección para observaciones radioastronómicas y se indican los niveles umbral de la interferencia perjudicial para bandas primarias de radioastronomía. En la banda 2 690-2 700 MHz, el límite de la d<sub>f</sub>p umbral es  $-177 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  para observaciones del continuum con una sola parábola utilizando la anchura de banda total de 10 MHz.

La banda se utiliza solamente para observaciones del continuum, y no para observaciones de raya espectral.

Las observaciones de VLBI, en las que las señales de antenas ampliamente separadas se registran y correlacionan después de las mismas, son mucho menos susceptibles a la interferencia. Esto se refleja en el nivel de d<sub>f</sub>p umbral para observaciones de VLBI en esta banda,  $-161 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , para una anchura de banda de 20 kHz.

Para la interferencia perjudicial de sistemas no OSG, los criterios de protección y las metodologías pertinentes se describen en las Recomendaciones UIT-R RA.769 y UIT-R RA.1513, así como también en la Recomendación UIT-R S.1586 para sistemas del SFS.

Los umbrales de los niveles de interferencia perjudicial al SRA como se define y calcula en la Recomendación UIT-R RA.769 son criterios de protección por encima de los cuales los datos de radioastronomía se degradan y, finalmente, pueden ser destruidos. En principio, en circunstancias algo ideales, si esos niveles se exceden muy ligeramente puede ser posible compensarlos en el observatorio de radioastronomía aumentando el tiempo de observación. Al efectuar esto, la capacidad del canal del telescopio se reduce, con una reducción correspondiente del caudal científico. Si el nivel de interferencia, conforme a las hipótesis de la Recomendación UIT-R RA.769 (por ejemplo, características de antena, etc.), alcanza un valor de 10 dB o más por encima de la definición de la Recomendación UIT-R RA.769, el incremento del tiempo de observación ya no es eficaz para asegurar que se proporcionen datos científicos válidos a los astrónomos. La estación de radioastronomía podrá funcionar en la banda de frecuencias afectada, y su capacidad de prestar servicios se perderá si no se aplican las técnicas de reducción de interferencia apropiadas.

### 13.1.4 Características de funcionamiento

Las observaciones en la banda 2 690-2 700 MHz se efectúan en una serie de observatorios de radioastronomía en numerosos países en todo el mundo. Las observaciones en esta banda a veces se efectúan sobre objetivos ocasionales, por ejemplo, cometas. Las observaciones de VLBI se llevan también a cabo frecuentemente en esta banda, a veces entre las redes de VLBI norteamericanas y europeas.

Las mediciones radioastronómicas se efectúan generalmente en forma diferencial, la región del cielo que contiene la fuente se puede cartografiar, y eliminar la emisión de fondo, o mediciones efectuadas de la potencia que proviene de la dirección de la emisión (en la fuente) y una o más posiciones cercanas en el cielo (fuera de la fuente). Mediante la sustracción de los valores fuera de

la fuente de los valores en la fuente, la emisión que tiene origen en la fuente está separada de otras contribuciones a la salida del receptor.

Se pueden cartografiar zonas extensas de emisiones radioeléctricas mediante el registro de la emisión de una cuadrícula de puntos que abarca la región de interés. En el caso de radiotelescopios de una sola antena, cada observación de la cuadrícula de puntos es una indicación de la potencia total que proviene de esa posición en el cielo; la separación entre los puntos de la cuadrícula no debe ser mayor que la mitad de la anchura de banda de la antena. Cuando se efectúan observaciones mediante un radiotelescopio de síntesis, donde la zona que ha de ser explorada supera el campo cartográfico instantáneo, los puntos de la cuadrícula no deben estar separados a una distancia mayor de la anchura de haz de una de las antenas del radiotelescopio.

Las observaciones de VLBI se efectúan mediante la reducción de las señales a una banda de base, que se digitaliza sin rectificación y se registra en cinta magnética u otro medio de almacenamiento, junto con señales de temporización precisas. Los datos se transfieren entonces a un centro de procesamiento de datos de VLBI, donde las señales se sincronizan y correlacionan. En consecuencia, la repercusión total de la interferencia podría no conocerse hasta que finalice el periodo de observación y los datos hayan sido procesados.

## **13.2 Banda activa**

### **13.2.1 Banda de transmisión atribuida**

La subbanda 2 655-2 670 MHz fue atribuida al SRS a título primario.

La subbanda 2 670-2 690 MHz fue atribuida a título primario al SMS (Tierra-espacio), al SFS (Tierra-espacio) en las Regiones 2 y 3, y al SFS (espacio-Tierra) en la Región 2.

Las siguientes notas pertinentes se aplican a la subbanda 2 655-2 670 MHz: números 5.149, 5.413, 5.415, 5.416 y 5.420 del RR, y las siguientes notas se aplican a la sub-banda 2 670-2 690 MHz: números 5.149, 5.419 y 5.420 del RR. Las notas más destacadas son las siguientes:

En el número 5.149 del RR «Se insta a las administraciones a que, al hacer asignaciones a estaciones de otros servicios a los que están atribuidas las bandas: ... tomen todas las medidas prácticamente posibles para proteger el contra las interferencias perjudiciales.»

El número 5.413 del RR establece que «Al proyectar sistemas del servicio de radiodifusión por satélite, funcionando en las bandas situadas entre 2 500 MHz y 2 690 MHz, se insta a las administraciones a que tomen todas las medidas necesarias para proteger el servicio de radioastronomía en la banda 2 690-2 700 MHz».

El número 5.415 del RR establece que en esta banda, para el servicio fijo por satélite que funciona en las Regiones 2 y 3 «En el sentido espacio-Tierra, la densidad de flujo de potencia en la superficie de la Tierra no excederá los valores indicados en el Artículo 21, Cuadro 21-4».

### **13.2.2 Aplicación**

En esta banda hay SRS que sirven en especial a India. Estos servicios están incluidos en la definición de distribución del SRS.

### **13.2.3 Nivel basado en disposiciones reglamentarias**

Los límites de dfp para el SRS están establecidos para los sistemas de recepción comunitaria y para el SFS, como se determina en el Cuadro 21-4 del RR.

### **13.2.4 Características del transmisor**

#### **13.2.4.1 Sistemas del SFS/SMS**

Conforme a las características típicas de los sistemas que funcionan en esta banda, se supone que los sistemas del SFS/SMS utilizan una anchura de banda necesaria de 20 MHz y que funcionan de acuerdo con el límite de dfp establecido en el Artículo 21 del RR:  $-137 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$  (es decir,  $-100 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ MHz))}$ ).

#### **13.2.4.2 Sistemas del SRS**

Conforme a las características típicas de los sistemas que funcionan en esta banda, se supone que los sistemas del SFS/SMS utilizan una anchura de banda necesaria de 18 MHz y que funcionan según el límite de dfp establecido en el Artículo 21 del RR:  $-137 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$  (es decir,  $-100,5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ MHz))}$ ).

### **13.2.5 Características de funcionamiento**

En los siguientes cálculos sólo se abordan sistemas OSG.

### **13.2.6 Nivel de transmisión en banda**

La recepción comunitaria del SRS y los niveles de dfp del SFS se ajustan a los niveles indicados en el Cuadro 21-4 del RR.

### **13.3 Umbral de compatibilidad**

Véase el § 13.1.3.

### **13.4 Evaluación de la interferencia**

#### **13.4.1 Metodología utilizada para determinar el nivel de interferencia**

##### **13.4.1.1 Casos del SMS/SFS**

La Recomendación UIT-R SM.1541 proporciona una máscara para emisiones no deseadas dentro del dominio fuera de banda que abarca el caso de sistemas del SFS/SMS.

##### **13.4.1.2 Caso del SRS**

El SRS es un servicio permanente que suministra señales en todo momento a las zonas servidas con el mismo espectro y potencia. Por otra parte no hay estaciones de radioastronomía que utilizan la banda en estudio todo el tiempo. Si surgen problemas de interferencia, los sistemas de satélite OSG serán emisores estables en posiciones invariables en el cielo, mientras que las fuentes radioeléctricas celestes serán llevadas más allá de ellos por la rotación de la Tierra, de modo tal que la interferencia no puede impedir completamente la observación de las fuentes.

La interferencia a radiotelescopios de una sola antena degradará las observaciones en una magnitud que es función del ángulo entre el satélite o satélites y el eje de puntería de la antena, y se puede determinar utilizando metodologías tales como la dfpe (véase el § 13.1.3).

El cálculo de los niveles de emisiones no deseadas que utilizan la máscara fuera de banda para sistemas del SRS están contenidos en la Recomendación UIT-R SM.1541 han indicado que, siguiendo esta máscara de dBc, el nivel de emisiones dentro del dominio fuera de banda puede ser en algunos casos mayor que los niveles de las emisiones dentro de la anchura de banda necesaria. Por lo tanto se elaboró una nueva máscara fuera de banda para el sistema SRS.

Las emisiones fuera de banda de una estación que funciona en las bandas atribuidas al SRS deben estar atenuadas por debajo de la densidad espectral de potencia máxima en una anchura de banda de

referencia de 4 kHz (para sistemas que funcionan por encima de 15 GHz se puede utilizar un anchura de banda de referencia de 1 MHz en lugar de 4 kHz) dentro de la anchura de banda necesaria, por el siguiente valor:

$$32 \log \left( \frac{F}{50} + 1 \right) \quad \text{dBsd}$$

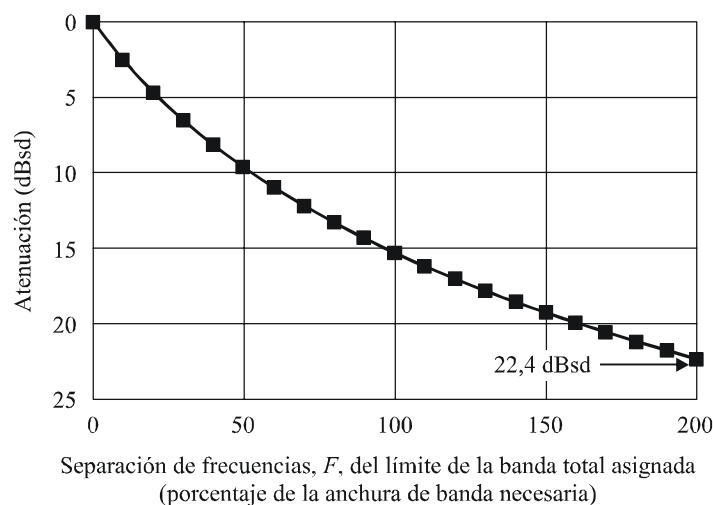
donde  $F$  es el desplazamiento de frecuencia del extremo de la banda total asignada, expresado como porcentaje de anchura de banda necesaria. Se observa que el dominio de la emisión fuera de banda comienza en los bordes de la banda total asignada.

La máscara de emisión fuera de banda tiene una caída hacia el límite de emisiones no esenciales o el punto en el que es igual al límite de emisiones no esenciales que estipula el Apéndice 3 del RR, cualquiera que sea la atenuación menor. La atenuación de la emisión no esencial para servicios espaciales es  $43 + 10 \log P$  o 60 dBc con una anchura de banda de referencia de 4 kHz, cualquiera que sea la atenuación menor, o equivalente,  $19 + 10 \log P$  o 36 dBc con una anchura de banda de referencia de 1 MHz, cualquiera que sea la atenuación menor.

FIGURA 52

#### Máscara fuera de banda para sistemas del SRS

(Atenuación dentro del dominio fuera de banda para sistemas del SRS (dBsd))



I 2091-52

### 13.4.2 Cálculo del nivel de interferencia

En los casos en que la aplicación del número 1.153 del RR proporciona mejoras en el estudio de compatibilidad, se debe tener en cuenta la siguiente nota:

«1.153 *anchura de banda ocupada*: Anchura de la banda de frecuencias tal que, por debajo de su frecuencia límite inferior y por encima de su frecuencia límite superior, se emitan *potencias medias* iguales cada una a un porcentaje especificado,  $\beta/2$ , de la *potencia media* total de una *emisión* dada.

En ausencia de especificaciones en una Recomendación UIT-R para la *clase de emisión* considerada, se tomará un valor  $\beta/2$  igual a 0,5%.»

Si el borde inferior de la anchura de banda ocupada estuviera en el límite inferior o encima de este valor de la atribución del servicio de satélite, la potencia total de las emisiones no deseadas en frecuencias por debajo de la anchura de banda atribuida no ha de ser mayor que 0,5% de  $P$ , donde  $P$  es la potencia dentro de la banda. Por tanto, la potencia total de la emisión no deseada en frecuencias dentro de la banda 50,2-50,4 GHz no debiera ser mayor que  $P - 23$  dB.

### 13.4.3 Valores obtenidos

#### 13.4.3.1 Caso del SFS/SMS

La aplicación de la Recomendación UIT-R SM.1541 para los sistemas del SFS/SMS que utilizan una anchura de banda necesaria produce una dfp integrada sobre toda la banda del SRA de 108,5 dB(W/(m<sup>2</sup> · 10 MHz)). La aplicación del número 1.153 del RR da como resultado una dfp total de -123 dB(W/(m<sup>2</sup> · 10 MHz)). Esto significa que no se satisfacen los criterios de protección para observaciones del continuum.

La dfp integrada sobre 20 kHz, en el borde de la banda del SRA, es igual a -130 dB (W/(m<sup>2</sup> · 20 kHz)), es decir unos 30 dB por encima de los criterios de protección de VLBI.

#### 13.4.3.2 Caso del SRS

Conforme al límite de dfp que figura en el Artículo 21 del RR (-137 dB(W/(m<sup>2</sup> · 4 kHz))), suponiendo una anchura de banda necesaria de 18 MHz y la aplicación de la máscara descrita en el § 4.1.2 para un sistema del SRS que funciona por debajo de 2 670 MHz, la dfp máxima que cae dentro de una anchura de banda de referencia de 10 MHz es igual a -121 dB(W/(m<sup>2</sup> · 10 MHz)), es decir unos 56 dB por encima de los criterios dados para observaciones del continuum. La aplicación del número 1.153 del RR da como resultado una dfp de -123,5 dB(W/(m<sup>2</sup> · 10 MHz)). Esto significa que no se satisfacen los criterios de protección para las observaciones del continuum.

La dfp debida al sistema del SRS que funciona por debajo de 2 670 MHz e integrada sobre 20 kHz en el borde de la banda del SRA, es igual a -146 dB(W/(m<sup>2</sup> · 20 kHz)), que es de unos 15 dB por encima de los criterios de protección de VLBI.

## 13.5 Técnicas de reducción de la interferencia

### 13.5.1 SRA

Existen varios métodos, incluidos los que se describen más adelante, que se podrían considerar para reducir las emisiones no deseadas de transmisores de satélite en un radiotelescopio.

*Característica del lóbulo lateral de la antena:* La iluminación de la abertura de los radiotelescopios se optimiza generalmente para la relación  $G/T$ , es decir la ganancia del telescopio dividida por la temperatura de ruido del sistema. Esto se efectúa para maximizar la relación  $S/N$  para fuentes puntuales. Un elemento fundamental de este método es reducir la radiación terrestre que penetra a través de lóbulos laterales lejanos. Inevitablemente esto produce un aumento correspondiente en los niveles de lóbulos laterales cercanos. La experiencia ha indicado que la mayoría de los radiotelescopios satisfacen la máscara de lóbulo lateral de la envolvente que se indica en la Recomendación UIT-R SA.509 en la mayor parte de las direcciones.

*Supresión en tiempo y/o frecuencia:* Esta técnica se puede aplicar en casos en que la interferencia en la banda de frecuencias de radioastronomía se puede identificar totalmente y sin equívocos en tiempo y/o frecuencia.

*Banda de guarda:* La banda de guarda es una técnica para proporcionar la separación apropiada en frecuencias entre los servicios activo y pasivo. En general, la frontera entre las bandas de frecuencias de los servicios activo y pasivo se fijarán equitativamente.

*Separación geográfica:* La separación geográfica de emplazamientos de radioastronomía específicos puede ser un factor en favor de las observaciones de protección de esos lugares, vista la posición orbital de un satélite del SRS/SFS específico, pues habrá relativamente pocos satélites.

### 13.5.2 SFS/SRS

Estos servicios tienen la particularidad de transmitir señales en forma continua o durante largos periodos de tiempo, con potencia y espectro constantes. Los procedimientos de reducción de la interferencia posibles son evitar la transmisión de señales no deseadas en la dirección de las estaciones de radioastronomía que utilizan esta banda, o emplear filtros para suprimir apropiadamente las emisiones no deseadas a un nivel en que no se cause interferencia perjudicial a las observaciones radioastronómicas en la banda 2 690-2 700 MHz.

### 13.5.3 Repercusiones posibles

#### 13.5.3.1 SRA

*Característica del lóbulo lateral de la antena:* Las tentativas para disminuir la sensibilidad de la antena de radioastronomía a emisiones no deseadas que provienen de estaciones espaciales aumentarán posiblemente la sensibilidad del telescopio de radioastronomía a radiaciones terrestres, y reducirá posiblemente su ganancia de haz principal. Estos dos efectos reducirán la capacidad de canal del telescopio y producirán así un incremento del tiempo de integración total requerido.

*Supresión en tiempo y/o frecuencia:* La supresión implica el riesgo de comprometer la integridad de los datos y puede conducir a errores en su interpretación científica. Asimismo, produce un aumento concomitante en el tiempo de integración total requerido para efectuar la observación, que es equivalente a una pérdida en la capacidad de canal del telescopio.

*Banda de guarda:* En el caso de mediciones de banda ancha del continuum, el empleo de una banda de guarda produciría efectivamente una pérdida de la capacidad de canal, pues sería necesario aumentar el tiempo de integración para compensar la pérdida de anchura de banda.

*Separación geográfica:* Cuando se hace un estudio caso por caso es probable que hubiera escasa repercusión en los emplazamientos de radioastronomía afectados. Sin embargo, esto no proporciona necesariamente protección de la radioastronomía como servicio.

#### 13.5.3.2 SFS/SRS

Los filtros constituyen un medio evidente para suprimir emisiones no deseadas, pero la instalación de dichos filtros puede afectar el diseño del satélite de manera sustancial. Si se utiliza un sistema de antenas controlado por fase, será necesario colocar filtros para cada elemento de antena primario. Esto aumentará el peso del satélite. La compensación de las pérdidas producidas por el filtro requerirá transmisores de mayor potencia que, a su vez, exigirá mayor potencia de alimentación y, por consiguiente, paneles de energía solar más grandes. El aumento de peso sería suficiente para requerir un dispositivo de lanzamiento mayor y la repercusión en los costos sería grande. En consecuencia, la instalación de filtros sólo se puede considerar en la fase de diseño de un sistema. Sin embargo, las continuas mejoras técnicas en el diseño de filtros y de antenas activas pueden reducir más adelante el problema de aplicar estas soluciones a proporciones practicable.

En razón que algunos sistemas de satélite de haces múltiples se planifican para funcionar en la gama de frecuencias de interés, el número de haces en el sistema de haces múltiples o la cantidad de elementos multiplica el costo y las consecuencias del peso del filtrado de RF adicional en el sistema de antenas controlado por fase. Esto se debe al hecho que en un sistema de haces múltiples los amplificadores de salida no están generalmente compartidos entre haces y, por consiguiente, se deberían filtrar separadamente. En un sistema de antenas controlado por fase típico la etapa final de amplificación tiene lugar en los diversos elementos del conjunto, cada uno de los cuales sería

filtrado separadamente. De esta manera la repercusión del peso de cada filtro se multiplica por el número de haces en el sistema o la cantidad de elementos en el sistema de antenas controlado por fase. La pérdida de inserción del filtro podría repercutir en la capacidad del sistema.

La separación geográfica implicaría la utilización del factor de corte del diagrama de antena del satélite para obtener la separación requerida que se ajuste a los criterios de compartición acordados en un emplazamiento de receptor de radioastronomía particular. Esta técnica supone tácitamente que un sistema del SFS no tendrá una zona de cobertura global, o aun regional, que es una hipótesis de limitación en sí misma. Muchos sistemas tienen haces regionales o subregionales donde la separación geográfica no es viable. Otros sistemas de haz restringido pueden ser capaces de utilizar separación geográfica; sin embargo, ésta no es una solución atractiva desde la perspectiva del sistema del satélite pues se podrían producir zonas de indisponibilidad de la Tierra al servicio del satélite. Estas limitaciones de la zona del servicio del SFS podrían tener serias repercusiones en la producción de ingresos. No obstante, esta solución tiene el beneficio de tener en cuenta los requisitos de protección reales de emplazamientos de radioastronomía específicos sin necesidad de recurrir a los criterios para el caso más desfavorable en cada emplazamiento de radioastronomía.

### **13.6 Resultados de los estudios**

#### **13.6.1 Resumen**

El cálculo de interferencias efectuado indica que, de acuerdo con los criterios de protección tratados en el § 13.1.3, si no se aplican técnicas de reducción existirá la posibilidad de interferencia perjudicial en las observaciones de radioastronomía efectuadas en la banda 2 690-2 700 MHz por servicios en la banda adyacente, y en un nivel que realmente impediría que se efectúe cualquier medición astronómica útil en esta banda.

Los operadores de satélite continuarán trabajando estrechamente con la comunidad de radioastronomía para reducir al mínimo las repercusiones de las emisiones fuera de banda del satélite. En muchos casos el filtrado normal del transpondedor de satélite sería suficiente para asegurar que no hayan repercusiones perjudiciales en las bandas de radioastronomía. Cuando éste no es el caso, se considerará el efecto del filtrado adicional del satélite junto con otras técnicas de mitigación de la interferencia tales como diagramas de separación geográfica y aislación de la estación terrena de radioastronomía. Esto se puede llevar a cabo en una base caso por caso que depende del lugar de emplazamiento de la estación de radioastronomía y de la posición orbital.

#### **13.6.2 Conclusiones**

Los criterios de protección no se satisfacen para operaciones de raya espectral o del continuum con antena parabólica única, o para observaciones de VLBI.

## **14 Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA que funcionan en la banda 10,6-10,7 GHz y sistemas del SFS (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 10,7-10,95 GHz**

### **14.1 SRA**

#### **14.1.1 Banda atribuida**

La banda 10,6-10,7 GHz está atribuida a los SRA, SETS (pasivo) y SIE (pasivo) a título primario; la sub-banda 10,68-10,7 GHz está atribuida exclusivamente a estos servicios en todo el mundo.

Las siguientes Notas son pertinentes a esas bandas: número 5.149 del RR para la banda 10,6-10,68 GHz y número 5.340 del RR para la banda 10,68-10,7 GHz.



## 14.1.2 Tipo de observaciones

### 14.1.2.1 Observaciones con antena parabólica única

El empleo de la banda con fines astronómicos incluye la observación de fuentes sincrotrónicas no térmicas que son exactamente detectables en esta gama de frecuencias. Esas observaciones proporcionan información en la frecuencia más elevada en la que dichas fuentes se pueden detectar fácilmente, y esto permite la determinación de algunos parámetros físicos de las mismas. La banda 10,6 GHz es sumamente importante para supervisar la variación de intensidad de las radiogalaxias, incluidos los quásares. Estos objetos, considerados como los cuerpos celestes más distantes que los astrónomos pueden detectar, varían en intensidad en periodos comprendidos entre horas y años y se ha descubierto que producen de modo sorprendente grandes cantidades de energía. La energía emitida durante una explosión procedente de un quásar es equivalente a la destrucción completa de algunos cientos de millones de estrellas durante un periodo de unas semanas o meses. La física fundamental que puede producir tales eventos no está aun totalmente comprendida y las observaciones sobre la magnitud y variabilidad de dichas fuentes son cruciales para resolver esos enigmas. Estas observaciones se efectúan mejor en la gama de frecuencias de 10 a 15 GHz.

La variabilidad de los quásares es pronunciada en esas frecuencias, y su observación facilita el descubrimiento y la supervisión de tales eventos, cuyos fenómenos físicos están aún escasamente comprendidos por los astrónomos. Las observaciones permiten estimar las magnitudes de dichas fuentes, que resultan ser muy pequeñas frente a la cantidad de energía que producen. La banda 10,6 GHz proporciona una de las mejores resoluciones angulares (2 min de arco aproximadamente) para muchos radiotelescopios con una antena parabólica de gran tamaño.

### 14.1.2.2 Observaciones de VLBI

Las observaciones de VLBI revelan el tamaño extremadamente pequeño de los quásares (del orden de milisegundos de arco). Estas observaciones también se efectúan en la banda de frecuencias 10,6-10,7 GHz, si bien la banda de 8,4 GHz es la que se utiliza en la actualidad más frecuentemente para observaciones de VLBI. La gama 8-10 GHz proporciona una mejor resolución angular que las observaciones efectuadas en frecuencias más bajas y permite a los científicos determinar con mayor precisión las dimensiones y la estructura en pequeña escala de las radiogalaxias.

### 14.1.3 Criterios de protección requeridos

En la Recomendación UIT-R RA.769 se especifican los criterios de protección para las observaciones radioastronómicas e indica niveles umbral de la interferencia perjudicial para bandas primarias del servicio de radioastronomía. En la banda 10,6-10,7 GHz, el límite de  $dfp$  umbral para observaciones del continuum con antena parabólica simple que utiliza la anchura de banda total de 100 MHz es de  $-160 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ . Esta banda se utiliza únicamente para observaciones del continuum y no para observaciones de rayas espectrales.

Las observaciones de VLBI, en las que las señales procedentes de antenas ampliamente separadas se registran y correlacionan, son mucho menos susceptibles a la interferencia. Esto se refleja en el nivel de  $dfp$  umbral de  $-145 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  para las observaciones de VLBI en esta banda, con una anchura de banda de 50 kHz.

Para la interferencia perjudicial de sistemas no OSG, los criterios de protección y las metodologías pertinentes se describen en la Recomendación UIT-R RA.769 y UIT-R RA.1513, así como en la Recomendación UIT-R S.1586 para sistemas del SFS y en la Recomendación UIT-R M.1583 para sistemas del SMS y SRNS.

Los umbrales de los niveles de interferencia perjudicial al SRA como se define y calcula en la Recomendación UIT-R RA.769 son criterios de protección por encima de los cuales los datos de radioastronomía se degradan y, finalmente, pueden ser destruidos. En principio, en circunstancias

algo ideales, si esos niveles se exceden muy ligeramente puede ser posible compensarlos en el observatorio de radioastronomía aumentando el tiempo de observación. Al efectuar esto, la capacidad del canal del telescopio disminuye, con una reducción correspondiente del caudal científico. Si el nivel de interferencia, conforme a las hipótesis de la Recomendación UIT-R RA.769 (por ejemplo, características de antena, etc.), alcanza un valor de 10 dB o más por encima de la definición de la Recomendación UIT-R RA.769, ya no es eficaz el incremento del tiempo de observación para asegurar que se proporcionen datos científicos válidos a los astrónomos. La estación de radioastronomía no podrá funcionar en la banda de frecuencias afectada, y su capacidad de prestar servicios se perderá si no se aplican las técnicas de reducción de interferencia apropiadas.

#### **14.1.4 Características de funcionamiento**

Las observaciones en la banda 10,6-10,7 GHz se llevan a cabo en numerosos emplazamientos de radioastronomía en el plano mundial. Estas observaciones se efectúan empleando radiotelescopios de una sola antena y radiotelescopios de síntesis.

En general, las observaciones se efectúan en forma diferencial. En el caso de emisiones del continuum, se puede cartografiar la zona del cielo que contiene la fuente y sustraer la emisión de fondo o las mediciones efectuadas de la potencia que proviene de la dirección de la fuente (en la fuente) y en una o más posiciones cercanas en el cielo (fuera de la fuente). Mediante la sustracción de los valores «fuera de la fuente» de los valores «en la fuente» la emisión originada en la fuente se separa de otras contribuciones a la salida del receptor.

Se pueden trazar mapas de extensas zonas de emisiones radioeléctricas registrando las mismas de una cuadrícula de puntos que cubren la región de interés. En el caso de radiotelescopios de una sola antena, la observación de cada punto de la cuadrícula es una indicación de la potencia total que proviene de esa posición en el cielo; la separación entre los puntos de la cuadrícula no debe ser mayor que la mitad de la anchura de haz de la antena. Cuando se efectúan observaciones utilizando un radiotelescopio de síntesis, donde la zona cuyo mapa se ha de trazar rebasa el campo de cartografía instantáneo, los puntos de la cuadrícula no deben estar apartados en una distancia mayor a la mitad de la anchura del haz de una de las antenas del radiotelescopio.

Las observaciones de VLBI se efectúan mediante la reducción de las señales a una banda de base, que se digitaliza sin rectificación y se registra en cinta magnética u otro medio de almacenamiento, junto con señales de temporización precisas. Los datos se transfieren entonces a un centro de procesamiento de datos de VLBI, donde las señales se sincronizan y correlacionan. En consecuencia, la repercusión total de la interferencia podría no conocerse hasta que finalice el periodo de observación y los datos hayan sido procesados.

## **14.2 SFS**

### **14.2.1 Banda de transmisión atribuida**

La banda del servicio activo considerado se extiende de 10,7 a 10,95 GHz.

### **14.2.2 Aplicación**

La banda 10,7-10,95 GHz está atribuida a título primario al SFS. Esta atribución está regulada por el Apéndice 30B del RR que utiliza un plan para asignar y garantizar la capacidad a todos los estados miembros. Dada la política general de «primero en llegar, primero en ser servido» en bandas no planificadas, la creación del Plan del Apéndice 30B del RR permite a los países en desarrollo resguardar el acceso al arco de la órbita de los satélites OSG. Cualquier imposición de restricciones tales como bandas de guarda o filtrado en el SFS afectaría las adjudicaciones del Plan del Apéndice 30B del RR.

### 14.2.3 Niveles basados en disposiciones reglamentarias

Los niveles de emisiones no deseadas en la banda 10,6-10,7 GHz del SFS se basan en límites de densidad de flujo de potencia reglamentarios dentro de la banda. La conversión de la potencia en la banda a la potencia fuera de la banda se efectúa utilizando los niveles de emisiones no esenciales estipulados en el Apéndice 3 del RR y los niveles de emisiones fuera de banda que figuran en la Recomendación UIT-R SM.1541. El nivel de emisiones no deseadas que se podría recibir en la banda 10,6-10,7 GHz basado en disposiciones reglamentarias es de  $-154 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ . El nivel fijado de  $-166 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$  está basado en la experiencia práctica.

### 14.2.4 Características de transmisión

Los sistemas del SFS OSG que funcionan en esta banda están regulados en el Apéndice 30B del RR y los sistemas del SFS no OSG por el Artículo 22 del RR.

### 14.2.5 Características de funcionamiento

Con fines de compartición con el servicio terrenal fijo, el límite de dff dentro de la banda que figura en el Cuadro 21-4 del RR para el SFS oscila entre  $-116$  y  $-126 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$  que representa una gama de  $-176$  a  $-186 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$  entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$  por encima del plano horizontal.

## 14.3 Umbral de compatibilidad

Véase el § 14.1.3.

## 14.4 Evaluación de la interferencia

### 14.4.1 Metodología utilizada para determinar el nivel de interferencia

En base a la experiencia adquirida por algunos emplazamientos de radioastronomía y algunos sistemas de satélite en esas bandas, la comunidad de radioastrónomos y los operadores de satélite proporcionaron información sobre los niveles no deseados que se podrían esperar en la banda 10,6-10,7 GHz.

### 14.4.2 Cálculo del nivel de interferencia

Los cálculos efectuados están todos basados en la información suministrada en el § 14.4.3 como se indica en el § 14.4.1.

### 14.4.3 Valores obtenidos

#### 14.4.3.1 Ejemplo europeo para sistemas de satélite OSG

En Europa, el SRA en la banda de frecuencias 10,6-10,7 GHz experimenta una fuerte interferencia perjudicial por emisiones fuera de banda de un sistema de SFS. Esta interferencia perjudicial ha hecho completamente imposible las observaciones en esta banda en el observatorio de radioastronomía de Effelsberg, Alemania. Esta cuestión ha sido señalada a la atención de la administración alemana, que confirmó la interferencia observada mediante observaciones efectuadas en la estación de comprobación técnica de sistemas satelitales de la administración alemana en Leeheim y, soportada por esta evidencia, se señaló también a la atención del operador.

A título de ejemplo, se describe a continuación un caso real de interferencia a las operaciones del SRA con un determinado sistema de satélite del SFS GEO que funciona a la frecuencia central nominal inferior de 10,714 MHz con una anchura de banda de transpondedor de 26 MHz.

La Fig. 53 ilustra los resultados de la medición del SRA en 10,6 GHz por el radiotelescopio de 100 m del observatorio de Effelsberg que apunta hacia el objeto galáctico 3C84, una de las fuentes de radiación cósmica de tipo puntual más intensas. Esta medición se efectuó con anterioridad a 1995. El tamaño del campo es  $30' \times 12'$ , siendo el flujo de la fuente de 20,5 Jy ( $\sim -247 \text{ dB}(\text{W}/(\text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1}))$ ).

FIGURA 53

Mapa del objeto galáctico «3C84» en la banda 10,6-10,7 GHz con el radiotelescopio de 100 m de Effelsberg\*



\* La fuente 3C84 tiene un diámetro angular mucho más pequeño que la anchura de haz de la antena, de modo tal que la imagen muestra el perfil de haz de la antena, incluidos los lóbulos laterales. En razón que el mapa fue trazado para medir el brillo de la fuente y no su estructura, esto no constituyó un problema.

I 2091-53

En el año 1995 se puso en funcionamiento un satélite del SFS OSG en una determinada posición orbital, en la que otros satélites habían estado funcionando durante algún tiempo. El satélite tiene la frecuencia central de transmisión de 10,714 GHz y una anchura de banda de transpondedor de 26 MHz. La fluctuación del ruido resultante generado por emisiones del SFS no deseadas de dicha posición orbital en la banda del SRA adyacente de 10,6-10,7 GHz fue tan intensa que enmascaraba totalmente toda señal astronómica.

La Fig 54 muestra el mapa consecuente en el mismo campo de  $30' \times 12'$  del cielo como se ilustra en la Fig. 53, pero con posterioridad a la puesta en funcionamiento del satélite en el año 1995, estando su posición orbital espaciada en  $10^\circ$  con respecto a la extensión del cielo explorada. A título de comparación, se ha agregado al mapa de la Fig. 54 la imagen del objeto galáctico 3C84 que se muestra en la Fig. 53. Sin embargo, esta fuente puntual muy intensa ya no es visible en razón del flujo causado por las emisiones del satélite.

FIGURA 54

Mapa de la misma extensión del cielo que se muestra en la Fig. 19, captada por el radiotelescopio de Effelsberg, ahora afectado por la interferencia causada por el satélite en la banda adyacente



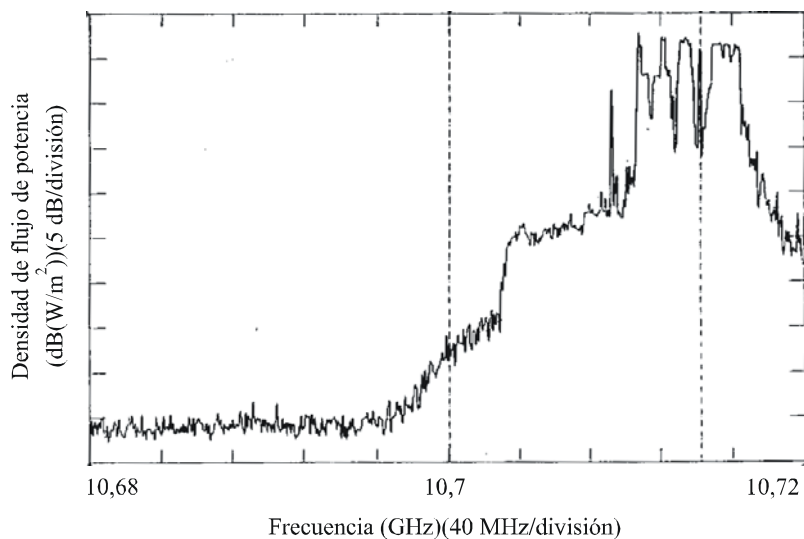
I 2091-54

Para investigar este caso de interferencia, la estación de comprobación técnica de sistemas satelitales en Leeheim de la Autoridad de Reglamentación de Alemania midió un espectro de las transmisiones del SFS provenientes de la posición orbital del satélite correspondiente (véase la Fig. 55), a fin de determinar el nivel de las emisiones no deseadas en la banda del SRA. No obstante se debe señalar que la sensibilidad y la gama dinámica de la estación de comprobación técnica no son suficientes para verificar la interferencia en los niveles que figuran como criterios de protección en la Recomendación UIT-R RA.769 para el SRA.

NOTA 1 – En la Fig. 54, el objeto galáctico ya no es visible debido a la interferencia recibida.

FIGURA 55

Medición de la fuente de interferencia efectuada en la estación de comprobación técnica de Leeheim (año 1995)



I 2091-55

En la Fig. 55 se puede observar que en el borde de 10,7 GHz de la atribución del SRA, en la banda pasiva exclusiva, el nivel de emisión no deseado medido es de  $-151 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  con una anchura de banda de referencia de 100 kHz. Esto corresponde a  $-201 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ , mientras que en la Recomendación UIT-R RA.769 figura un valor de 39 dB inferior, es decir  $-240 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ , como umbral de interferencia, y, asimismo, considera conveniente que se apliquen límites de 15 dB más estrictos en el caso de satélites OSG. Esta enorme discrepancia se produce en el borde superior de la banda 10,6-10,7 GHz, y es menor en el resto de la banda.

En frecuencias inferiores al borde de 10,7 GHz hasta 10,69 GHz aproximadamente, en el que la señal interferente alcanza el umbral mínimo de ruido de la estación de comprobación técnica de Leeheim (dfp  $-160 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  aproximadamente), su régimen de caída es de unos 10 dB por 4 MHz. Si se supone que este régimen de caída continúa descendiendo a 10,6 GHz, la potencia total estimada emitida desde dicha posición orbital en la banda 10,6-10,7 GHz sería de  $-145,6 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , es decir 14,4 dB por encima del umbral de  $-160 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  que figura en la Recomendación UIT-R RA.769 para la banda 10,6-10,7 GHz, siendo completamente inutilizable para efectuar observaciones de radioastronomía, como se muestra en la Fig. 54.

Si bien el operador de satélite mejoró el sistema en alguna medida, incluida la instalación de filtros, no ha sido posible aún encontrar una solución efectiva de este problema en el radiotelescopio de Effelsberg.

Los valores que se indican a continuación se suministran como niveles de emisiones no deseadas de sistemas del SFS típicos que caen dentro de la banda del SRA. Dos operadores señalaron que cualquier límite inferior a los que figuran en el Cuadro 39 impondrían restricciones indebidas en los sistemas del SFS que actualmente funcionan en la banda de frecuencias 10,7-10,95 GHz.

CUADRO 39

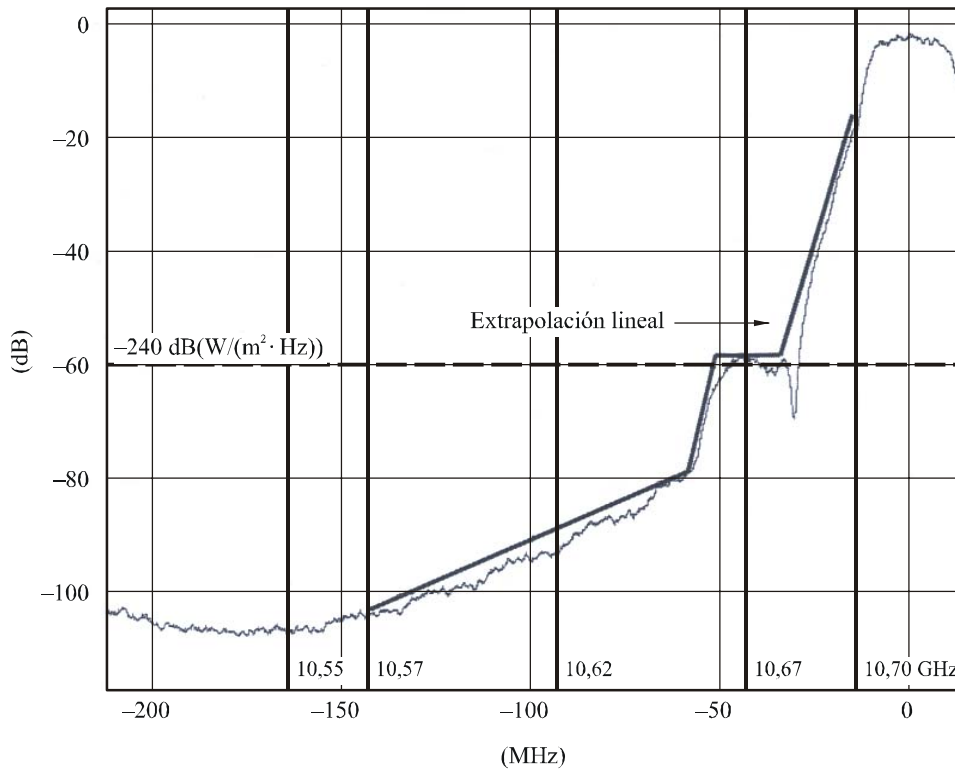
**Niveles de emisiones no deseadas que caen dentro de la banda de frecuencias 10,57-10,7 GHz en puntos determinados**

<b>Frontera (GHz)</b>	<b>Nivel de defp de la emisión no deseada (dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz)))</b>
10,570	-285
10,656	-256
10,662	-237
10,680	-237
10,700	-195

La Fig. 56 muestra los niveles de defp de una modulación digital con una velocidad de símbolos de 22 Msímbolos/s, un régimen de caída del 35% y una anchura de banda de transpondedor de 26 MHz y que funciona en la frecuencia de 10714 MHz. Por razones prácticas, se extrapoló la disminución de la potencia real por una disminución de la potencia lineal a fin de estimar la potencia que cae dentro de la banda completa de radioastronomía de 100 MHz que depende del desplazamiento de frecuencia.

Debido a las características de la modulación digital, la anchura de banda necesaria de una modulación digital es muy cercana a la anchura de banda de transpondedor. Por consiguiente, los niveles de la defp que caen en la parte superior de la banda de frecuencias del SRA es mucho mayor que los niveles de defp observados para una modulación analógica (véase la Fig. 57).

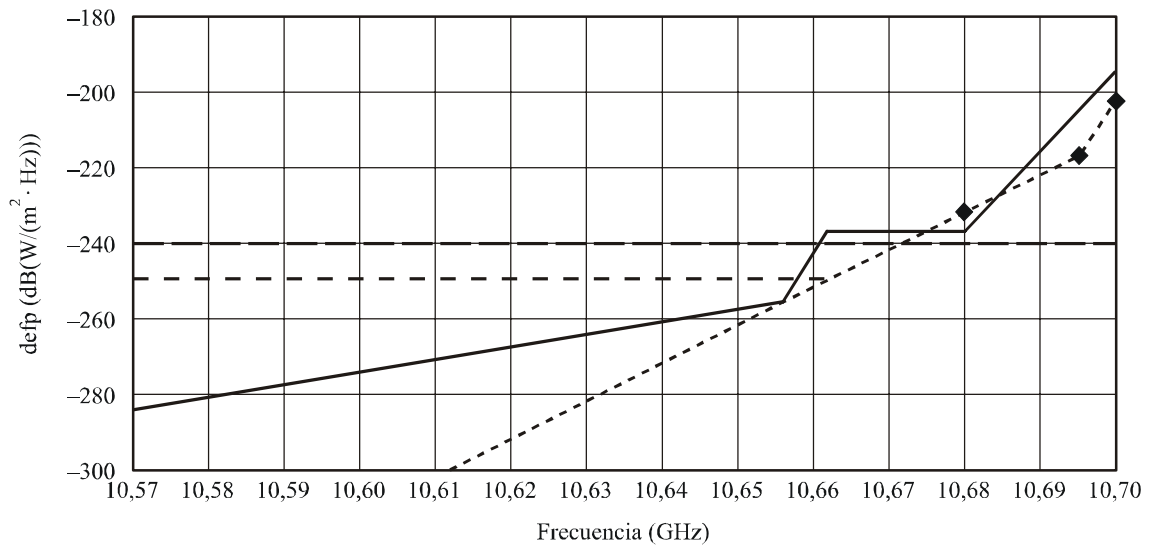
FIGURA 56  
Máscara de emisión fuera de banda digital



Velocidad de símbolos: 22 Msímbolo/s, régimen de caída 35%

I 2091-56

FIGURA 57  
Comparación de niveles de defp conforme al tipo de modulación



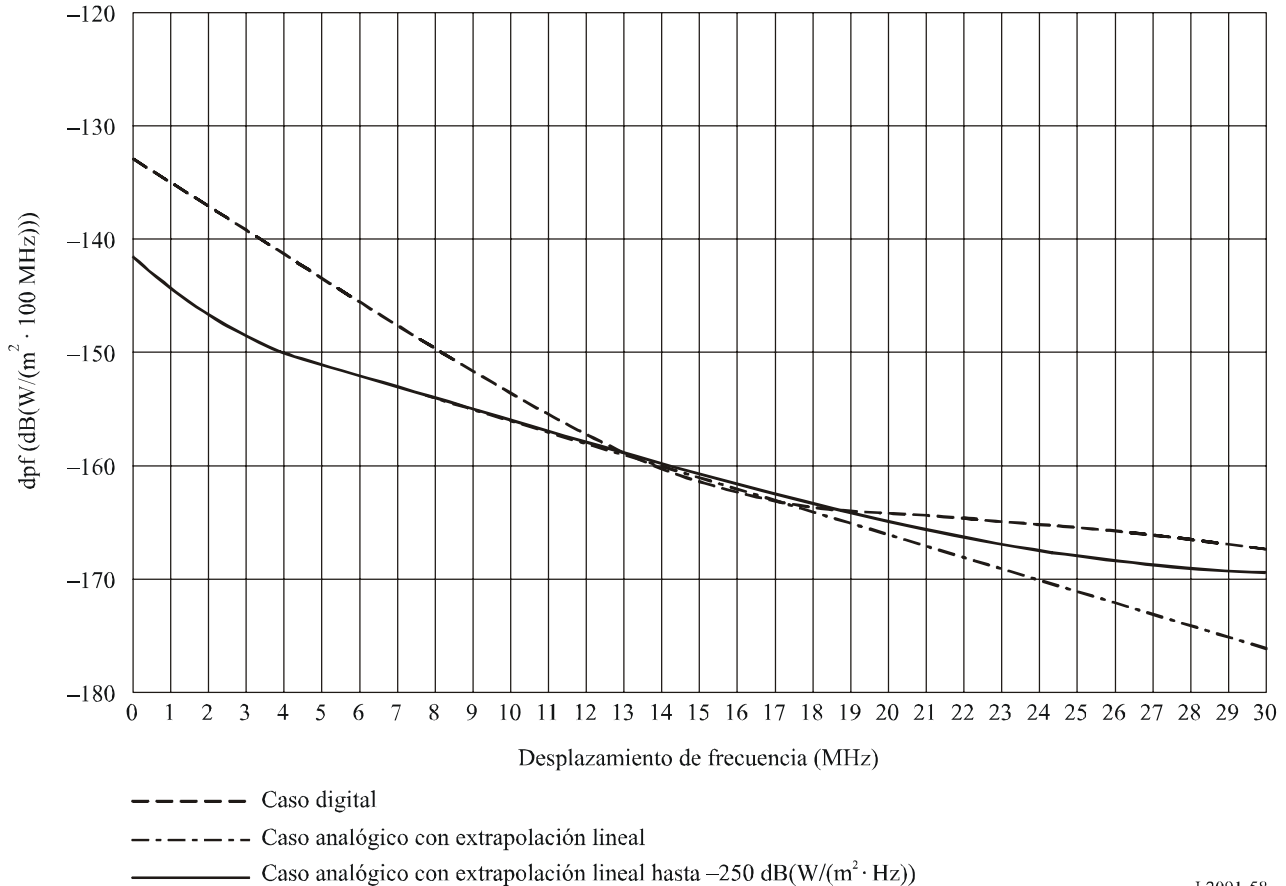
- Disminución de potencia digital
- - - ◆ - - - Niveles analógicos fuera de banda iniciales
- - - - - Disminución de potencia analógica con interpolación lineal
- - - - - Disminución de potencia analógica con interpolación lineal -250 dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz))

I 2091-57

Mediante la Fig. 57 es posible calcular la potencia que cae en una anchura de banda de referencia de 100 MHz que depende de la frecuencia en la que se inicia la integración (véase la Fig. 58).

FIGURA 58

dpf integrada sobre una anchura de banda de 100 MHz conforme al tipo de modulación



I 2091-58

En la Fig. 58 un desplazamiento de frecuencia de 0 MHz significa que la integración sobre 100 MHz comienza en 10,7 GHz (y así termina en 10,6 GHz). En forma similar un desplazamiento de frecuencia de 30 MHz significa que la integración sobre 100 MHz se inicia en 10,67 GHz (y así concluye en 10,57 GHz).

De acuerdo con la Fig. 58 y de conformidad con las hipótesis establecidas con relación a la disminución de la señal, el nivel de umbral para efectuar observaciones del continuum, es decir 160 dB(W/(m<sup>2</sup> · 100 MHz)), se alcanzaría con la utilización de una banda de guarda de al menos -15 MHz entre los dos servicios. Una hipótesis diferente con relación a la disminución de la señal podría dar como resultado una banda de guarda requerida mayor.

Por consiguiente, para arribar a una conclusión sobre una separación de frecuencias posible que pudiera lograr la compatibilidad de ambos servicios en este ejemplo, se deberían validar las hipótesis en términos de disminución de la señal.

#### 14.4.3.2 Ejemplo de la Región 2 para sistemas de satélites OSG

En noviembre de 1993 el Observatorio Nacional de Radioastronomía (NRAO) de Estados Unidos de América efectuó una exploración de la órbita de los satélites geostacionarios desde 152° W a 7° W en la banda 10,68-10,7 GHz utilizando su telescopio de 43 m de Green Bank, West Virginia (desde entonces fuera de servicio), para determinar los niveles de emisión que pudieran estar



presentes y comprobar que esta porción del cielo esté libre de emisiones con un nivel de  $-250 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$  como mínimo.

Un caso en la Región 2 concierne a dos satélites OSG idénticos que funcionan en la banda 10,75-10,95 GHz y que utilizan la banda 10,75-10,95 GHz conforme al Apéndice 30B del RR para proporcionar enlaces de conexión para una aplicación del SMS. En otro caso, un operador proporcionó datos sobre el desempeño esperado de su estación espacial en la banda 10,6-10,7 GHz.

En el caso de los dos satélites OSG idénticos mencionados anteriormente se instalaron filtros especiales que proporcionaron atenuación de más de 40 dB en la banda 10,6-10,7 GHz con importantes gastos para los operadores para satisfacer los requisitos de protección de los servicios pasivos. Los satélites generaron interferencia en la banda 10,68-10,7 GHz de dos fuentes independientes:

- El ruido térmico radiado generado en un amplificador de tubo de ondas progresivas (ATOP). El caso más desfavorable de la p.i.r.e. de ruido térmico del tubo se midió en  $-27 \text{ dB(W/4 kHz)}$  en la cresta del diagrama de antena de la banda 10,68-10,7 GHz, que produce una densidad espectral de flujo de potencia de  $-226,2 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ , después de una sustracción de una pérdida geométrica de  $-163,2 \text{ dB(W/m}^2)$ .
- Los productos de intermodulación entre portadoras generados por no linealidades en el ATOP. La banda del enlace descendente de 10,75 a 10,95 GHz se subdivide en 27 subbandas, cada una de las cuales contiene un número variable de portadoras radioeléctricas. En condiciones máximas de carga habrá unas 600 portadoras que funcionan simultáneamente y que están distribuidas a través de las sub-bandas. Para estimar el nivel de productos de intermodulación que caen en la banda de radioastronomía, se efectuó una simulación para el caso más desfavorable en la que las sub-bandas contenían ruido gaussiano para simular la presencia de muchas portadoras, y el ATOP funcionando en su nivel de carga máximo. La simulación utilizada midió las características de transferencia de entrada/salida del ATOP y dio por resultado un nivel de cresta de la defp de los productos de intermodulación (incluidos los productos de intermodulación de todos los órdenes) en la banda 10,69-10,70 GHz de  $-223,0 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ . El valor medio de la densidad espectral de flujo de potencia de los productos de intermodulación para el caso más desfavorable a través de esta banda es de  $-231 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ . Los valores para el resto de la banda del SRA son 5 dB menos aproximadamente (es decir, un valor de cresta de  $-228,0$  y un valor medio de  $-236,0 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ ).

Los productos de intermodulación se generan por medio de cientos de portadoras radioeléctricas independientes moduladas por trenes de bits aleatorios independientes. Cada modulador aplica una secuencia de ruido pseudoaleatorio máxima de 24 bits en la parte superior del tren de información, asegurando así correlación cruzada mínima entre las portadoras. Hay miles de productos independientes distribuidos a través de la banda de radioastronomía. Las propias portadoras radioeléctricas se activan sólo en presencia de señales vocales, añadiendo así mayor aleatoriedad a la señal de intermodulación compuesta. Se comprueba así que los productos de intermodulación se comportan de manera muy similar al ruido gaussiano de banda ancha.

La emisión de las portadoras radioeléctricas se efectúa según demanda pues, en caso contrario, dejan de estar en el aire. Como resultado, las condiciones para el caso más desfavorable se producirán durante las horas cargadas de un día laborable normal que generalmente ocurren en un periodo de doce horas durante el día. En horas nocturnas, en fines de semana y días festivos la carga máxima se reducirá considerablemente. Esta reducción de la carga desplaza el funcionamiento del ATOP en un región más lineal, reduciendo así el nivel de productos de intermodulación. Algunas portadoras radioeléctricas redujeron también el número de productos de intermodulación.

Durante esos periodos fuera de los valores máximos la defp de la intermodulación se reduce en 40 dB como mínimo, o en valores cercanos a  $-260 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ .

*Interferencia total estimada:* el ruido del ATOP y el ruido de intermodulación combinados es ruido gaussiano distribuido de banda ancha. El valor medio de defp para el caso más desfavorable a través de la banda 10,6 a 10,69 GHz se estima en  $-225,6 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ , aumentando a  $-221,3 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$  en 10,7 GHz. Durante los periodos de baja carga de tráfico el valor medio de la defp en toda la banda se estima en  $-226,2 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ .

#### 14.4.3.2.1 Simulación por ordenador

Un estudio basado en una simulación por computadora demostró que la puesta en funcionamiento de cualquier adjudicación conforme al Apéndice 30B del RR produciría interferencia sobre el nivel de umbral de la dfp del continuum indicado en el § 14.1.3 a todos los radiotelescopios que tienen visibilidad de la estación espacial. El estudio destacó que la mayor parte de la potencia de la emisión no deseada que cae dentro de la banda 10,6-10,7 GHz se produce sobre el borde de la banda. Se debe señalar que la utilización de la Recomendación UIT-R SM.1541 para determinar el nivel fuera de banda sobreestima el nivel de la emisión no deseada, pues esto representa la integración sobre una máscara para el caso más desfavorable. Es necesario encarar nuevos estudios para obtener una máscara que represente las características típicas de las emisiones no deseadas.

#### 14.4.3.3 Sistemas de satélites no OSG

Hasta el presente no hay sistemas de Satélites no OSG que funcionan en la banda 10,7-10,95 GHz pero se prevé que varios de ellos se pondrán en funcionamiento en un futuro inmediato. Se efectuaron cálculos preliminares para uno de dichos sistemas (F-SATMULTI B), empleando el método de dfpe (véanse las Recomendaciones UIT-R RA.1513 y UIT-R S.1586). Estos cálculos mostraron que utilizando las hipótesis que figuran en la Recomendación UIT-R RA.769, se requerirían valores de filtrado entre 30 dB y 40 dB para proteger el SRA en la banda de 10,7 GHz de las emisiones no esenciales de este sistema al nivel de  $-240 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$  dentro de una anchura de banda de 100 MHz. Este resultado concuerda con el primer ejemplo de OSG descrito anteriormente.

### 14.5 Técnicas de reducción de la interferencia

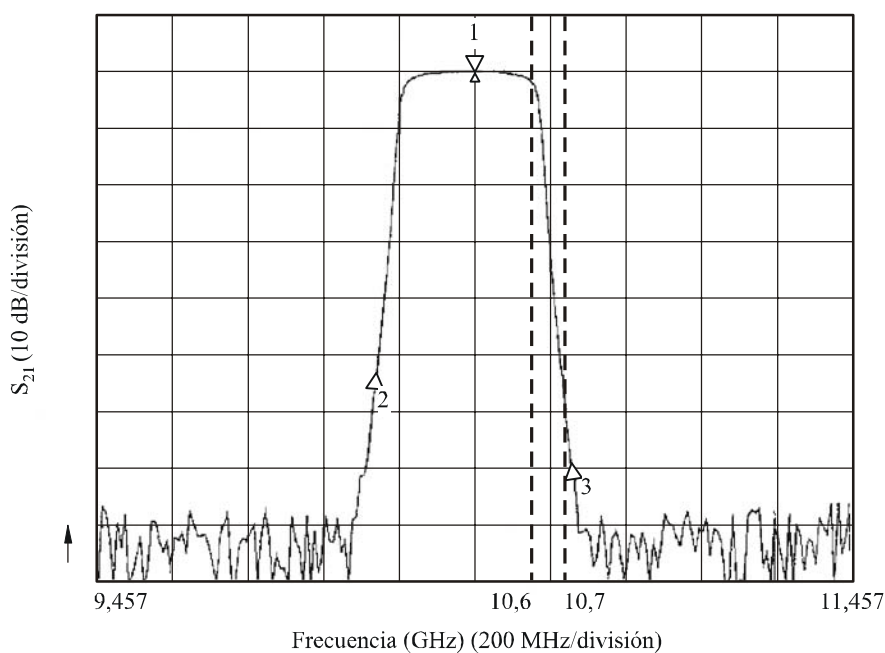
#### 14.5.1 SRA

Para continuar las observaciones del SRA en la situación de interferencia descrita en el § 14.4.3.1, se introdujo un filtro en el paso de entrada del receptor del radiotelescopio. El diseño del filtro es tal que debe suprimir la transmisión principal de la fuente de interferencia en 70 dB, mientras permite suficiente banda de paso con pérdida de inserción mínima.

Los amplificadores basados en transistores de efecto de campo se podrían resintonizar a una frecuencia algo inferior sin pérdida de ganancia o incremento del factor de ruido. Se puede hallar un buen diseño de filtro disponible comercialmente. La Fig. 59 muestra la función de transferencia para el filtro según datos del fabricante.

FIGURA 59

Curva de atenuación del filtro de rechazo de banda utilizado en el radiotelescopio mencionado en el punto 4.3.1



I 2091-59

La marca 3 en la Fig. 59 indica la frecuencia central nominal de la transmisión del satélite interferente, es decir 10,714 GHz. La atribución de la banda del SRA, 10,6-10,7 GHz, viene indicada con líneas de rayas.

Se puede observar que el filtro descrito anteriormente, que ha sido diseñado para proteger el receptor del SRA, proporciona pérdidas de inserción mínima en una separación de frecuencias de 200 MHz aproximadamente de la frecuencia central de una señal rechazada. A medida que progresa la tecnología en la elaboración de filtros, se podrán obtener mejores valores, pero la instrumentación que actualmente se dispone requiere que se efectúe un desplazamiento de frecuencia de 100 MHz como mínimo.

Asimismo, cabe señalar que se podrían efectuar observaciones útiles en el SRA en la estación de Effelberg en una banda de frecuencias cercana a 10,5 GHz, que está atribuida al servicio terrenal fijo, en la cual se informa que la interferencia sólo se produce ocasionalmente. Esto puede no ser aplicable en otros países debido a su utilización particular del servicio fijo en esta banda.

#### 14.5.2 Servicio activo

Se pueden aplicar diversos métodos de mitigación de la interferencia posibles para reducir al mínimo la repercusión sobre el servicio pasivo. Estos métodos figuran en la Recomendación UIT-R SM.1542. A continuación se indican algunos casos específicos que han sido aplicados para proteger los servicios pasivos que funcionan en la banda 10,6-10,7 GHz:

- Una administración llegó a la conclusión que si bien los límites de interferencia que figuran en la Recomendación UIT-R RA.769 están indicados para proteger las operaciones del SRA contra interferencias, se obtendría mayor flexibilidad requiriendo que los proveedores del SFS no OSG coordinen y lleguen a un acuerdo mutuamente aceptable con los medios

del SRA que utiliza la banda 10,6-10,7 GHz, que asegure que esos medios estén adecuadamente protegidos de la interferencia. A tal fin, se agregó una Nota al Cuadro nacional de atribuciones pertinentes. El texto de dicha Nota es el siguiente:

«En la banda 10,7-11,7 GHz, los titulares de licencias de órbitas de satélites no geostacionarios en el servicio fijo por satélite (espacio-Tierra), antes de comenzar las operaciones, deberán coordinar con los siguientes observatorios de radioastronomía para obtener un acuerdo mutuamente aceptable referente a la protección de los medios e instalaciones de radiotelescopios que funcionan en la banda 10,6-10,7 GHz».

NOTA 1 – Se indica aquí un Cuadro con los sitios de radioastronomía.

- En una contribución se sugiere la posibilidad de considerar la utilización de una banda de guarda entre la banda del SFS y la banda del SRA (véanse las consideraciones sobre este tema en el § 14.4.3.1). Los resultados de los estudios de cada banda pueden concluir que la única opción es obtener la aplicación de una banda de guarda entre el SFS y el SRA. Sin embargo, es necesario considerar la distribución de la carga de la banda de guarda entre los servicios.

Se debe tener en cuenta que cualquier banda de guarda impuesta sobre el SFS tendría repercusiones en el Plan del Apéndice 30B del RR. En forma similar, cualquier banda de guarda impuesta en el SRA daría por resultado una aumento del tiempo de medición, reduciendo así la utilización de las estaciones del SRA.

Asimismo, si una extensión de la atribución al SRA por debajo de 10,6 GHz, considerada para permitir que el servicio del SRA funciona adecuadamente en una anchura de banda de 100 MHz, podría repercutir en los servicios que funcionan por debajo de 10,6 GHz.

### 14.5.3 Repercusiones posibles

#### 14.5.3.1 SRA

Desde el punto de vista de la radioastronomía, no es técnicamente posible filtrar la interferencia mencionada en el § 14.4.3.1. Aun con un sistema del SRS/SFS bien diseñado obligaría a los observatorios de radioastronomía a insertar filtros en la etapa de entrada del receptor. La etapa de entrada en los receptores que se utilizan en la actualidad en los observatorios de radioastronomía contienen normalmente amplificadores con transistores de alta movilidad electrónica refrigerados, que inherentemente son de banda ancha. La banda de paso de la primera etapa amplificadora cae lentamente fuera del borde de la anchura de banda diseñada. Los transmisores de satélite con frecuencias cercanas a la dirección de observación pueden producir la no linealidad del sistema de recepción y, por tanto, será necesario colocar filtros antes de la primera etapa amplificadora del paso de entrada del receptor. No obstante, en el diseño de receptores de radioastronomía se procura siempre evitar pérdidas de transmisión que elevan la temperatura de ruido del receptor. Esta pérdida se puede producir cuando se prevén bandas de guarda insuficientes para proteger las observaciones de radioastronomía y, asimismo, en razón que la tecnología para el diseño de filtros no está suficientemente desarrollada para las frecuencias en estudio.

#### 14.5.3.2 SFS

Se pueden utilizar filtros para suprimir las emisiones no deseadas, pero la instalación de estos dispositivos puede afectar el diseño del satélite de manera considerable:

- La pérdida de inserción introducida por el filtro puede producir pérdida de capacidad. Para compensar esta pérdida es necesario aumentar el tamaño del amplificador de alta potencia, con la consiguiente repercusión en el diseño de la estación espacial (costo, peso, potencia, fiabilidad).

- La inserción de un filtro influye en la respuesta en fase de la señal dentro de la banda. Si los niveles de tolerancia de fase del receptor se rebasan, se afectará la calidad de funcionamiento del enlace aun cuando haya suficiente potencia en el receptor.
- El agregado de un filtro aumenta la complejidad del diseño y del programa de pruebas en la estación espacial.

Asimismo, si se utiliza una antena activa de elementos en fase, será necesario colocar filtros para cada elemento de la antena.

Para sistemas de satélite de haces múltiples diseñados para funcionar en la gama de frecuencias de interés, el número de haces o el número de elementos en el sistema de antenas controlado por fase multiplica los factores de costo y peso del filtrado de RF adicional en el sistema de haces múltiples. Esto se debe al hecho que en un sistema de múltiples haces los amplificadores de salida generalmente no están compartidos entre haces y, por tanto, deberían estar filtrados separadamente. En un sistema controlado por fase la etapa final de amplificación tiene lugar en los diversos elementos del conjunto, cada uno de los cuales debería estar filtrado separadamente. De esta manera el número de haces multiplica el peso de cada filtro en el sistema o el número de elementos radiantes en fase. La pérdida de inserción del filtro puede repercutir en la capacidad del sistema.

La separación geográfica implicaría la utilización de técnicas de reducción del diagrama de antena del satélite para obtener la separación requerida que se ajuste al criterio de compartición acordado en un determinado emplazamiento de recepción de radioastronomía. Esta técnica supone tácitamente que un sistema del SFS no tiene una zona de cobertura mundial o aun regional, que es una hipótesis de limitación en sí misma. Muchos de los sistemas en la banda 10-14 GHz tienen haces regionales o subregionales en el que la separación geográfica no es viable. Otros sistemas de haces puntuales pueden estar capacitados para utilizar separación geográfica; sin embargo, ésta no es una solución atractiva en lo que se refiere al sistema de satélite pues podría dar como resultado zonas de la Tierra indisponibles para el servicio de satélite. Estas limitaciones de la zona del servicio del SFS podrían tener graves consecuencias en la producción de ingresos. Sin embargo, esta solución tiene la ventaja de tener en cuenta los requisitos de protección reales de un determinado emplazamiento de radioastronomía sin tener necesidad de recurrir a los criterios para el caso más desfavorable en cada emplazamiento de radioastronomía.

## **14.6 Resultados de los estudios**

### **14.6.1 Resumen**

En la Región 2, las prácticas de diseño y los métodos de mitigación de la interferencia disponibles al presente han protegido al SRA en la banda 10,6-10,7 GHz del número limitado de estaciones espaciales del SFS que funcionan en la actualidad. En los casos en que la utilización del Plan del Apéndice 30B del RR puede haber interferido con las observaciones de radioastronomía, la presión nacional en otro país aseguró que la situación fuera correcta. Sin embargo, el despliegue de futuras estaciones espaciales que no buscan intencionalmente proteger las señales captadas por los radiotelescopios, podrían afectar adversamente sus operaciones.

En la Región 1, la yuxtaposición de bandas atribuidas al SRA y al SFS o al SRS, para utilización en señales transmitidas en el sentido espacio-Tierra, ha dado lugar a dificultosas situaciones de interferencia en algunos países, que en algunos casos sólo se puede resolver a través de la aplicación de una banda de guarda entre los dos servicios. En esta banda los criterios de protección que figuran en el § 14.1.3 se satisfacen por el servicio activo para el caso de VLBI, pero no para el caso del continuum con una sola antena parabólica. Se han utilizado métodos de mitigación de la interferencia en la Región 2 para satisfacer el nivel del continuum con una sola antena parabólica. Sin embargo, en la Región 1 existen casos permanentes de interferencia perjudicial.

No se han recibido ni se han efectuado estudios para la Región 3.

#### 14.6.2 Conclusiones

En la Región 1, se satisfacen los criterios de protección para el caso de VLBI, pero no para las observaciones de rayas espectrales o del continuum con antena parabólica simple. En la Región 2 se satisfacen los criterios de protección para el caso de VLBI.

### 15 Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA que funcionan en la banda 22,21-22,5 GHz y sistemas del SRS (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 21,4-22 GHz

#### 15.1 Radioastronomía

##### 15.1.1 Banda atribuida

La banda 22,21-22,5 GHz está atribuida a título primario al SRA.

El número 5.149 del RR establece que en esta banda «Se insta a las administraciones a que, al hacer asignaciones a estaciones de otros servicios..., tomen todas las medidas prácticamente posibles para proteger el servicio de radioastronomía contra las interferencias perjudiciales».

##### 15.1.2 Tipo de observaciones

Esta banda de frecuencias es utilizada por el SRA par efectuar observaciones del continuum así como observaciones de raya espectroscópica de la molécula de agua, cuya banda espectroscópica en esta gama de frecuencias es una de las más importantes para la radioastronomía (véase la Recomendación UIT-R RA.314, el Cuadro 31 y la lista de rayas espectrales de máxima importancia para la radioastronomía de la Unión Astronómica Internacional).

Las transiciones de las moléculas de agua en esta banda se observan empleando técnicas VLBI y de antena parabólica simple.

##### 15.1.3 Criterios de protección requeridos

En la Recomendación UIT-R RA.769 se especifican los criterios de protección para las observaciones radioastronómicas y se determinan los niveles umbral de la interferencia perjudicial para bandas primarias de la radioastronomía.

Para la banda 22,21-22,5 GHz, el límite umbral de  $dfp$  que figura en la Recomendación UIT-R RA.769 para observaciones de rayas espectrales con antena parabólica simple que utiliza una anchura de banda de canal (uno de los canales del espectrómetro de 250 kHz) es de  $-162 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ . Asimismo, se define el límite umbral de  $dfp$  de  $-146 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  para las observaciones del continuum con antena parabólica simple, que utiliza toda la anchura de banda de 290 MHz.

Las observaciones VLBI, en que las señales procedentes de antenas ampliamente separadas entre sí se registran y correlacionan después de las mismas, son mucho menos susceptibles a la interferencia. Esto se refleja en el nivel de  $dfp$  umbral para observaciones VLBI en esta banda,  $-128 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , para una anchura de banda de 250 kHz.

Para la interferencia perjudicial procedente de sistemas no OSG, los criterios de protección y las metodologías pertinentes se describen en las Recomendaciones UIT-R RA.769 y UIT-R RA.1513, así como en la Recomendación UIT-R S.1586 para sistemas del SFS y en la Recomendación UIT-R M.1583 para sistemas del SMS y del SRNS.

Los umbrales de los niveles de interferencia perjudicial al SRA como se define y calcula en la Recomendación UIT-R RA.769 son criterios de protección por encima de los cuales los datos de radioastronomía se degradan y, finalmente, pueden ser destruidos. En principio, en circunstancias algo ideales, si esos niveles se exceden muy ligeramente puede ser posible compensarlos en el observatorio de radioastronomía aumentando el tiempo de observación. Al efectuar esto, la capacidad del canal del telescopio disminuye, con una reducción correspondiente del caudal científico. Si el nivel de interferencia, conforme a las hipótesis de la Recomendación UIT-R RA.769 (por ejemplo, características de antena, etc.), alcanza un valor de 10 dB o más por encima de la definición de la Recomendación UIT-R RA.769, el incremento del tiempo de observación ya no es eficaz para asegurar que se proporcionen datos científicos válidos a los astrónomos. La estación de radioastronomía podrá funcionar en la banda de frecuencias afectada, y su capacidad de prestar servicios se perderá si no se aplican las técnicas apropiadas de reducción de la interferencia.

#### **15.1.4 Características de funcionamiento**

Las observaciones en la banda 22,21-22,5 GHz se efectúan en diversos sitios de radioastronomía de numerosos países en el plano mundial. En esta banda se pueden observar emisiones del continuum, rayas espectrales, o experimentos de VLBI. Las observaciones en esta banda son a veces ocasionales, como por ejemplo la observación de cometas. Además, en esta banda se efectúan frecuentes observaciones de raya espectral con la técnica VLBI.

Las observaciones de raya espectral se efectúan utilizando espectrómetros multicanal que pueden integrar simultáneamente la potencia en muchos canales de frecuencia (generalmente 256 a 4 096) distribuidos en toda la banda. El número de canales y sus respectivas anchuras de banda se seleccionan para tomar una muestra adecuada del espectro de la emisión neta de las fuentes en el haz de antena.

En general las observaciones se efectúan en forma diferencial. En el caso de emisiones del continuum, se puede trazar un mapa de la zona celeste que contiene la fuente y se elimina la emisión de ruido de fondo. Se efectúan, entonces, mediciones de la potencia que proviene de la dirección de la fuente (valor en la fuente) y en una o varias posiciones más cercanas en la esfera celeste (valor fuera de la fuente). Mediante la sustracción de los valores «fuera de la fuente» de los valores «en la fuente», la emisión que se origina en la fuente se separa de las otras contribuciones a la salida del receptor.

En el caso de observaciones de rayas espectrales, dos espectros se registran en gamas de frecuencias que incluyen emisiones de rayas de interés (espectros de rayas), y luego a una frecuencia que está desplazada de las emisiones de raya o en la misma frecuencia pero en una posición cercana en el cielo (espectros de referencia). Mediante la sustracción del espectro de referencia del espectro de rayas, las contribuciones de ruido no deseadas y otras emisiones contaminantes se pueden eliminar de los datos.

Se pueden trazar extensos mapas de zonas de emisiones radioeléctricas mediante el registro de la emisión a partir de una cuadrícula de puntos que cubre la región de interés. Se pueden efectuar observaciones de rayas espectrales y del continuum. En el caso de radiotelescopios con antena parabólica simple, la observación de cada punto de la cuadrícula es una indicación de la potencia total (en el caso del continuum) o del espectro de emisión (en el caso de raya espectral), que procede de esa posición en el cielo; la separación entre los puntos de la cuadrícula no debe ser mayor que la mitad de la anchura de haz de la antena. Cuando se efectúan observaciones mediante un radiotelescopio de síntesis, en el que la zona que se ha de trazar excede el campo cartográfico instantáneo, los puntos de la cuadrícula no deben estar apartados más de la mitad de la anchura del haz de una de las antenas del radiotelescopio.

Las observaciones de VLBI se efectúan mediante la reducción de las señales a una banda de base, que se digitaliza sin rectificación y se registra en cinta magnética u otro medio de almacenamiento,

junto con señales de temporización precisas. Los datos se transfieren entonces a un centro de procesamiento de datos de VLBI, donde las señales se sincronizan y correlacionan. En consecuencia, la repercusión total de la interferencia podría no conocerse hasta que finalice el periodo de observación y los datos hayan sido procesados.

## 15.2 SRS

### 15.2.1 Banda de transmisión atribuida

La gama de frecuencias de la atribución destinada al servicio activo se extiende de 21,4 a 22 GHz.

### 15.2.2 Servicio

La CAMR-92 ha reatribuido la banda 21,4-22,0 GHz al SRS televisión de alta definición, (TVAD) en las Regiones 1 y 3, reatribución que entrará en vigor el 1 de abril de 2007. Esta banda ha sido identificada para elaborar un futuro plan de adjudicaciones.

### 15.2.3 Niveles basados en disposiciones reglamentarias

Anexo a la Resolución 525 (Rev. CMR-03), Sección III – Procedimiento provisional relativo a la introducción de los sistemas operacionales del SRS de TVAD antes del 1 de abril del 2007.

Con el propósito de introducir los sistemas operacionales del SRS de TVAD en la banda 21,4-22,0 GHz en las Regiones 1 y 3 antes del 1 de abril del 2007, se aplicarán los procedimientos contenidos en la Resolución 33 (CAMR-79), si la densidad de flujo de potencia en la superficie de la Tierra producida por las emisiones procedentes de una estación espacial en el territorio de otro país excede de:

- $-115 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en cualquier banda de 1 MHz para ángulos de llegada entre  $0^\circ$  y  $5^\circ$  sobre el plano horizontal; o
- $-105 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en cualquier banda de 1 MHz para ángulos de llegada entre  $25^\circ$  y  $90^\circ$  sobre el plano horizontal; o
- valores obtenidos por interpolación lineal entre estos límites para ángulos de llegada entre  $5^\circ$  y  $25^\circ$  sobre el plano horizontal.

Anexo a la Resolución 525 (Rev. CMR-03), Sección IV – Procedimiento provisional relativo a la introducción de los sistemas del SRS de TVAD después del 1 de abril del 2007.

Con el fin de introducir y poner en servicio los sistemas del SRS de TVAD en la banda 21,4-22,0 GHz en las Regiones 1 y 3 después del 1 de abril del 2007 pero antes de que una futura conferencia haya tomado las decisiones sobre los procedimientos reglamentarios definitivos, se aplicarán todas las disposiciones pertinentes de los artículos 9 a 14 del RR, salvo el número 9.11.

### 15.2.4 Características del transmisor

Se formularon las siguientes hipótesis:

- la ganancia de la antena del sistema del SRS es la misma en la banda del SRS y en la banda del SRA;
- se utilizan niveles de defp/dfp máximos para las emisiones no deseadas procedentes de sistemas del SRS que caen dentro de la banda de radioastronomía;
- recrecimiento espectral de la señal con modulación digital debido a la no linealidad del transpondedor;
- el ruido del TOP cae dentro de la banda del SRA; y
- los filtros OMUX presentan características mejoradas.



**15.2.5 Características de funcionamiento**

Este punto 15 sólo trata el caso de sistemas OSG. El caso de sistemas no OSG será objeto de ulterior estudio.

**15.2.6 Nivel de transmisión dentro de banda**

Véase el § 15.2.3.

**15.3 Umbral de compatibilidad**

Véase el § 15.1.3.

**15.4 Evaluación de la interferencia****15.4.1 Metodología utilizada para determinar el nivel de interferencia**

Véase el § 15.2.4.

**15.4.2 Cálculo del nivel de interferencia**

Los niveles máximos de las emisiones no deseadas procedentes de los sistemas del SRS en estudio que funcionan en la banda 21,4-22 GHz y que caen dentro de la banda de radioastronomía de 22,21 a 22,5 GHz vienen dados en el Cuadro 40.

CUADRO 40

**Niveles máximos de emisiones no deseadas de sistemas del SRS**

<b>Banda (GHz)</b>	<b>Nivel máximo de densidad espectral de flujo de potencia de la emisión de banda estrecha no deseada (dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz)))</b>	<b>Nivel máximo de dfp de la emisión de banda ancha no deseada (dB(W/(m<sup>2</sup> · 290 MHz)))</b>
22,21-22,5	-199	-145

**15.4.3 Valores obtenidos**

La comparación entre los niveles de dfp umbral para la protección del SRA en la banda 22,21-22,5 GHz conforme a la Recomendación UIT-R RA.769 (véase el § 15.1.3) y los niveles de las emisiones no deseadas producidas por sistemas del SRS indicados en el Cuadro 40 conducen a los resultados que aparecen en el Cuadro 41.

CUADRO 41

**Discrepancia entre los niveles de dfp umbral del SRA que figuran en la Recomendación UIT-R RA.769 y los niveles de emisiones no deseadas del SRS**

<b>Tipo de observación</b>	<b>Observaciones del continuum</b>	<b>Observaciones de raya espectral</b>	<b>Observaciones VLBI</b>
Discrepancia entre niveles de dfp umbral del SRA conforme a la Recomendación UIT-R RA.769 y niveles de emisiones no deseadas del SRS (dB)	-1	-17	+15

De estos resultados se desprende que para las observaciones del continuum y de raya espectral con antena de parábola única y las observaciones VLBI, no se satisfacen los niveles umbral que figuran en la Recomendación UIT-R RA.769.

## 15.5 Métodos de reducción de la interferencia

### 15.5.1 SRA

Existen varios métodos, incluidos los que se describen a continuación, que se podrían considerar para reducir las emisiones no deseadas en un radiotelescopio procedentes de transmisores de satélite.

*Característica del lóbulo lateral de la antena:* La iluminación de la abertura de los radiotelescopios se optimiza generalmente para la relación  $G/T$ , es decir la ganancia del telescopio dividida por la temperatura de ruido del sistema. Esto se efectúa para maximizar la relación  $S/N$  para fuentes puntuales. Un factor esencial de este método es reducir la radiación terrestre que se introduce a través de los lóbulos laterales lejanos. Esto produce inevitablemente un aumento correlativo en los niveles de los lóbulos laterales cercanos. La experiencia ha indicado que la mayor parte de los radiotelescopios se ajustan a la máscara de la envolvente de los lóbulos laterales que figura en la Recomendación UIT-R SA.509 sobre la mayoría de las direcciones.

*Supresión en tiempo y/o frecuencia:* Esta técnica se puede aplicar en los casos en que la interferencia a la banda de frecuencias de radioastronomía se puede identificar total e inequívocamente en tiempo y/o frecuencia.

### 15.5.2 SRS

Filtros: Esto podría suponer la aplicación de filtrado de RF adicional en el sistema activo.

### 15.5.3 Repercusiones posibles

#### 15.5.3.1 SRA

*Característica del lóbulo lateral de la antena:* Las tentativas para disminuir la sensibilidad de la antena de radioastronomía a las emisiones no deseadas que proceden de estaciones espaciales pueden incrementar la sensibilidad del telescopio de radioastronomía a las radiaciones terrestres y reducir, posiblemente, su ganancia de haz principal. Ambos efectos reducirán la capacidad de canal del telescopio y producirán así un aumento del tiempo de integración total requerido.

*Supresión en tiempo y/o frecuencia:* La supresión lleva consigo el riesgo de comprometer la integridad de los datos y puede causar errores en su interpretación científica. Asimismo, produce un incremento concomitante en el tiempo de integración total requerido para efectuar la observación, el cual es equivalente a una pérdida de la capacidad de canal del telescopio.

#### 15.5.3.2 SRS

Para los sistemas de satélite de múltiples haces proyectados para funcionar en la gama de frecuencias de interés, el número de haces en el sistema de haces múltiples, o el número de elementos, multiplica la incidencia del costo y peso adicional del filtrado de RF en el sistema de antena controlado por fase. Esto se debe a que en un sistema de haces múltiples los amplificadores de salida no son generalmente compartidos por los haces, y tendrían que estar filtrados separadamente. En un sistema de elementos radiantes en fase la etapa final de amplificación tiene lugar en los diversos elementos del conjunto, y cada uno de ellos debe estar filtrado separadamente. De esta manera el número de haces o número de elementos en un sistema de antenas controlado por fase multiplica la incidencia del peso de cada filtro en el sistema. La pérdida de inserción del filtro puede afectar la capacidad del sistema.

## 15.6 Resultados de los estudios

Los cálculos indican que los criterios de protección examinados en el § 15.1.3 se satisfacen para todos los modos de observación (VLBI, continuum con antena de parábola única y raya espectral).

## 16 Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA que funcionan en la banda 42,5-43,5 GHz y sistemas del SFS y del SRS (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 41,5-42,5 GHz

### 16.1 SRA

#### 16.1.1 Banda atribuida

El SRA comparte la banda 42,5-43,5 GHz a título primario con los servicios fijo, SFS (Tierra-espacio) y móvil (salvo móvil aeronáutico).

#### 16.1.2 Tipo de observaciones

El SRA utiliza la banda 42,5-43,5 GHz para observaciones del continuum y de raya espectral. Esta banda es muy importante para la radioastronomía en razón que aproximadamente el doble de la frecuencia de la banda del continuum 23,6-24,0 GHz, proporciona un punto efectivo para el muestreo de emisiones del continuum en intervalos por octava, necesarios para la determinación del índice espectral de las fuentes radioeléctricas. Las observaciones de la emisión del continuum proporcionan información esencial del estado físico del medio interestelar asociado con las regiones de formación de estrellas. La banda de 43 GHz se utiliza también ampliamente para los estudios del ruido de fondo de microondas debido a los rayos cósmicos. Esta banda también incluye las rayas espectrales asociadas con la molécula de monóxido de silicio (SiO) en las frecuencias de reposo de 42,519, 42,821, 43,122 y 43,424 GHz que se encuentran entre las líneas espectrales más importantes en astrofísica, pero que no están enumeradas en la Recomendación UIT-R RA.314.

Estas rayas espectrales son indispensables para estudiar los fenómenos cósmicos, tales como nacimiento y muerte de las estrellas.

#### 16.1.3 Criterios de protección requeridos

La Recomendación UIT-R RA.769 especifica los criterios de protección para las observaciones radioastronómicas e indica los niveles umbral de la interferencia perjudicial para las bandas primarias de radioastronomía. En la banda 42,5-43,5 GHz, en observaciones de raya espectral con antena parabólica simple que se efectúan con una anchura de banda de canal (uno de los canales del espectrómetro) de 500 kHz, la dfp umbral para la interferencia perjudicial es de  $-153$  dB(W/m<sup>2</sup>). Para efectuar observaciones del continuum con antena parabólica única que utilizan la anchura de banda total de 1 GHz, el límite de dfp umbral es de  $-137$  dB(W/m<sup>2</sup>).

Las observaciones de VLBI, en las que se registran y correlacionan las señales procedentes de antenas ampliamente separadas después de las observaciones, son mucho menos susceptibles a la interferencia. Esto se refleja en el nivel de dfp umbral para las observaciones de VLBI en esta banda,  $-116$  dB(W/m<sup>2</sup>), para una anchura de banda de 500 kHz.

Para la interferencia perjudicial de sistemas no OSG, los criterios de protección y las metodologías pertinentes se describen en las Recomendaciones UIT-R RA.769 y UIT-R RA.1513, así como en la Recomendación UIT-R S.1586 para sistemas del SFS. Los umbrales de niveles de interferencia perjudicial para el SRA, como se define y calcula en la Recomendación UIT-R RA.769, son criterios de protección por encima del cual los datos de radioastronomía se degradan y posteriormente pueden ser destruidos. En principio y en circunstancias algo ideales, si esos niveles se exceden muy levemente puede ser posible encontrar una compensación en el observatorio de radioastronomía

aumentando el tiempo de observación. Si se adopta esta solución se reduce la capacidad de canal del telescopio con una disminución pertinente del caudal científico. Si el nivel de interferencia, conforme a las hipótesis formuladas en la Recomendación UIT-R RA.769 (por ejemplo, comportamiento de la antena, etc.), es de 10 dB o más por encima del nivel especificado en la Recomendación UIT-R RA.769, el incremento del tiempo de observación ya no será eficaz para asegurar la entrega de datos científicos válidos. La estación de radioastronomía no podrá funcionar en la banda de frecuencias afectada, y se perderá sus capacidad de prestar servicios si no se aplican técnicas apropiadas de reducción de la interferencia.

Las Recomendaciones UIT-R siguientes tratan directamente, o pueden estar relacionadas, con la protección de las estaciones de radioastronomía que efectúan observaciones en la banda 42,5-43,5 GHz:

Recomendación UIT-R RA.314 – Bandas de frecuencias preferidas para las mediciones radioastronómicas.

Recomendación UIT-R RA.517 – Protección del servicio de radioastronomía contra los transmisores que funcionan en bandas adyacentes.

Recomendación UIT-R RA.611 – Protección del servicio de radioastronomía contra las emisiones no esenciales.

Recomendación UIT-R RA.769 – Criterios de protección para las mediciones radioastronómicas.

Recomendación UIT-R RA.1237 – Protección del servicio de radioastronomía contra las emisiones no deseadas, provocadas por aplicaciones de la modulación digital de banda ancha.

Recomendación UIT-R RA.1513 – Niveles de las pérdidas de datos en las observaciones de la radioastronomía y criterios sobre el porcentaje de tiempo como resultado de la degradación causada por la interferencia en las bandas de frecuencias atribuidas a título primario al servicio de radioastronomía.

Recomendación UIT-R S.1586 – Cálculo de los niveles de emisión no deseada producidos por un sistema del servicio fijo por satélite no geoestacionario en localizaciones de radioastronomía.

Los números 5.149, 5.547, 5.551AA y 5.551G del RR también se aplican a esta banda.

#### **16.1.4 Características de funcionamiento**

Las observaciones de radioastronomía en la banda 42,5-43,5 GHz se efectúan en todas las Regiones de la UIT. En el Cuadro 42 figura una lista de observatorios radioastronómicos que funcionan o están proyectados para funcionar en la banda 42,5-43,5 GHz. Las instalaciones proyectadas son las que se encuentran en construcción en México (el gran telescopio de observación de señales milimétricas, un proyecto conjunto de Estados Unidos y México), Chile (el gran sistema de observación de señales milimétricas de Atacama) e Italia (telescopio de Cerdeña) o la aplicación de esta banda de frecuencias en el dispositivo interferométrico UK MERLIN.

CUADRO 42

## Estaciones de radioastronomía que funcionan en la banda 42,5-43,5 GHz

Región 1						
País	Localización	Longitud	Latitud	Altura (m)	Diámetro (m)	Observaciones
Finlandia	Metsähovi	24° 23' 17"	60° 13' 04"	61	13,7	S
Francia	Bordeaux Plateau de Bure	-00° 31' 37"	44° 50' 10"	73	2,5	S
		05° 54' 26"	44° 38' 01"	2 552	6 × 15	S
Alemania	Effelsberg	06° 53' 00"	50° 31' 32"	369	100	S
Italia	Medicina	11° 38' 43"	44° 31' 14"	44	32	S
	Noto	15° 03' 00"	36° 31' 48"	85 570	32	S
	Cagliari	09° 14' 40"	39° 29' 50"		64	S
Federación de Rusia	Dmitrov	37° 27' 00"	56° 26' 00"	200	32	S
España	Pico Veleta Yebes	-03° 23' 34"	37° 03' 58"	2 870	30	S
		-03° 06' 00"	40° 31' 30"	931	40	S
Suecia	Onsala	11° 55' 35"	57° 23' 45"	10	20	S
Reino Unido (proyecto)	Cambridge	00° 02' 20"	52° 09' 59"	24	32	S
	Darnhall	-02° 32' 03"	53° 09' 21"	47	47	S
	Jodrell Bank	-02° 18' 26"	53° 14' 10"	78	76	S
	Knockin	-02° 59' 45"	52° 47' 24"	66	25	S
	Pickmere	-02° 26' 38"	53° 17' 18"	35	25	S
Brasil	Atibaia, SP	-46° 33' 28"	-23° 11' 05"	805	13,7	S
Chile	San Pedro de Atacama	-67° 44' 00"	-23° 02' 00"	5 000	64 × 12	S
México	Sierra Negra	-97° 18' 00"	18° 59' 00"	4 500	50	S
Estados Unidos de América	Goldstone, CA	-116° 47' 40"	35° 14' 50"	[]	34	S
	Green Bank, WV	-79° 50' 24"	38° 25' 59"	1 071	100	S
	Socorro, NM	-107° 37' 06"	34° 04' 44"	946	27 × 25	S
	St. Croix, VI	-64° 35' 01"	17° 45' 24"	16	25	VLBI
	Hancock, NH	-71° 59' 12"	42° 56' 01"	309	25	VLBI
	North Liberty, IA	-91° 34' 27"	41° 46' 17"	241	25	VLBI
	Ft. Davis, TX	-103° 56' 41"	30° 38' 06"	1 615	25	VLBI
	Los Alamos, NM	-106° 14' 44"	35° 46' 31"	1 967	25	VLBI
	Pie Town, NM	-108° 07' 09"	34° 18' 04"	2 371	25	VLBI
	Kitt Peak, AZ	-111° 36' 45"	31° 57' 23"	1 916	25	VLBI
	Owens Valley, CA	-118° 16' 37"	37° 13' 54"	1 207	25	VLBI
	Brewster, WA	-119° 41' 00"	48° 07' 52"	255	25	VLBI
	Mauna Kea, HI	-155° 27' 19"	19° 48' 05"	3 720	25	VLBI
	Kitt Peak, AZ	-111° 36' 50"	31° 57' 10"	1 916	12	S
	Mauna Kea, HI	-155° 28' 20"	19° 49' 33"	3 720	10,4	S
Westford, MA	-71° 29' 19"	42° 37' 23"	[122]	36	S	

CUADRO 42 (Fin)

Región 3						
País	Localización	Longitud	Latitud	Altura (m)	Diámetro (m)	Observaciones
Australia	Parkes	148° 15' 44"	-33° 00' 00"	415	64	S
	Mopra	149° 05' 58"	-31° 16' 04"	866	22	S
	Narrabri, NSW	149° 32' 56"	-30° 59' 52"	237	6 × 22	S
	Tidbinbilla	148° 58' 59"	-35° 24' 18"	677	34	S
Japón	Nobeyama	138° 28' 32"	35° 56' 29"	1 350	45	S
	Kashima	140° 39' 46"	35° 57' 15"	50	34	S
	Mizusa	141° 07' 57"	39° 08' 01"	117	20	S
	Ogasawara	130° 26' 25"	31° 44' 53"	569	20	S
	Ishigakijima	142° 13' 00"	27° 05' 30"	273	20	S
			124° 10' 06"	24° 24' 38"	60	20
Corea (República de)	Taejon	127° 22' 18"	36° 23' 54"	120	13,7	S
	Yonsei U.	126° 56' 35"	37° 33' 44"	260	20	S
	Ulsan U.	129° 15' 04"	35° 32' 33"	120	20	S
	Tamna U.	126° 27' 43"	33° 17' 18"	100	20	S
Otros						
Financiado por Estados Unidos de América	Antártida	N/A	-90° 00' 00"	3 000	Diversos	S

NOTA 1 – S significa estaciones en las que se efectuaron operaciones con antena parabólica simple, y VLBI estaciones utilizadas exclusivamente para VLBI.

El interés científico en la banda de 43 Hz es sumamente alto. El mayor interés se encuentra en las observaciones de fuentes radioeléctricas muy débiles que extienden los límites tecnológicos, correspondientes a temperaturas de ruido de antena del orden de 2 a 20  $\mu$ K, que implica integraciones del orden de 2 000 a 4 000 s. Los tiempos de integración largos son esenciales para medir las fuentes radioeléctricas débiles que los científicos están interesados en observar. Se ha establecido la correlación y diferenciación de los modos de observación y se utilizan con éxito para contar fluctuaciones atmosféricas que permitan estos tiempos de integración largos.

El sistema de antenas muy grande (VLA) del Observatorio Nacional de Radioastronomía de Estados Unidos de América, posiblemente sea el radiotelescopio más intensamente utilizado en el mundo, pues emplea casi el 20% del tiempo total de observación en esta banda en los últimos años. Una estadística similar es válida para el sistema con línea de base muy larga (VLBA) de la NRAO. Los sistemas VLA y VLBA reciben de dos a tres veces más pedidos de tiempo de observación que los que pueden atender.

El porcentaje de tiempo que cada estación emplea en 42 GHz varía en cada una de ellas y de año en año. Muchos radiotelescopios tienen ahora flexibilidad de frecuencia, que le permiten conmutar las operaciones de una banda de frecuencias a otra en una escala de tiempo de un minuto o menor. Esto facilita una programación flexible para aprovechar mejor las condiciones de observación (condiciones climáticas, etc.). Desde el punto de vista de los estudios de compatibilidad entre servicios, es más seguro suponer que cualquier estación de radioastronomía que figura en el Cuadro 42 podría efectuar observaciones en la banda de 43 GHz en cualquier momento.

## 16.2 SFS y SRS

### 16.2.1 Banda de transmisión atribuida

El servicio activo considerado funciona en la banda 41,5-42,5 GHz.

### 16.2.2 Aplicación

En base a las inscripciones registradas en la UIT, se proyectaron 250 sistemas del SFS y SRS para funcionar dentro de la banda de 40 GHz y la banda del enlace ascendente correspondiente de 47 GHz. Los parámetros típicos de los sistemas del SFS proyectados para funcionar en las bandas 50/40 GHz se indican en el Cuadro 43.

CUADRO 43

**Características típicas del enlace descendente de sistemas del SFS OSG  
y no OSG proyectados para funcionar en la banda 37,5-42,5 GHz  
(Recomendación UIT-R S.1557)**

Parámetros	SFS OSG	SFS no OSG (MEO)
Tamaño del haz de la antena del satélite (grados)	0,3 a 0,6	0,6 a 1,8 de acuerdo con la altitud del satélite
Potencia de CC típica de la estación espacial (kW)	10 a 15	3 a 5
Potencia de RF de transmisión típica del satélite en la antena	2,5 kW a 3,5 kW	700 W a 1,1 kW
Número de haces	30 a 60	10 a 20
Anchura de banda (GHz)	2,0 a 5,0 Incluido el servicio fijo por satélite de gran densidad (HDFSS) y cabecera/centro	
Esquema de reutilización de frecuencia	4 ó 7 veces (la mayoría de los sistemas utiliza 4 veces el esquema de reutilización de frecuencia)	
Disponibilidad de enlace: – Cabecera/centro – HDFSS (VSAT)	– > 99,9% – 99,5% a 99,7%	
Carga útil	Transpondedor transparente o procesamiento de carga útil	
Ángulo de elevación de operación mínimo (grados)	> 15	> 20
Modulación	MDP-4/MDP-8/MAQ-16	
BER	$1 \times 10^{-8}$ a $1 \times 10^{-10}$	
Codificación	Código concatenado	
Relación $E_b/N_0$ requerida (dB)	6 a 12,5 en función de la modulación y codificación	
Degradación de la interferencia (dB)	2 a 4	
Margen del sistema (dB)	1 a 3	

CUADRO 43 (*Fin*)

Parámetros	SFS OSG	SFS no OSG (MEO)
Tamaño de la antena de la estación terrena terminal:		
– Cabecera/centro (m)	– 1,8 a 2,7	– 1,5 a 2,7
– HDFSS (VSAT) (m)	– 0,3 a 0,6	– 0,3 a 0,6
Temperatura de ruido del sistema de la estación terrena terminal (K)	600 a 800	

VSAT: terminales de muy pequeña apertura.

### 16.2.3 Niveles basados en documentos de la UIT existentes

Las Recomendaciones UIT-R pertinentes son las siguientes:

Recomendación UIT-R S.1557 – Requisitos de explotación y características de los sistemas del servicio fijo por satélite que funcionan en las bandas de 50/40 GHz para su utilización en estudios de compartición entre el servicio fijo por satélite y el servicio fijo.

Recomendación UIT-R SF.1484 – Máximos valores admisibles de la densidad de flujo de potencia en la superficie de la Tierra producida por satélites no geoestacionarios del servicio fijo por satélite que funcionan en las bandas 37,5-42,5 GHz para proteger al servicio fijo.

Recomendación UIT-R SF.1573 – Valores máximos admisibles de la densidad de flujo de potencia en la superficie de la Tierra creada por satélites geoestacionarios del servicio fijo por satélite que funcionan en la banda 37,5-42,5 GHz para proteger al servicio fijo.

Recomendación UIT-R SM.1540 – Emisiones no deseadas en el dominio de las emisiones fuera de banda que caen dentro de las bandas atribuidas adyacentes.

Recomendación UIT-R SM.1541 – Emisiones no deseadas en el dominio fuera de banda.

### 16.2.4 Características del transmisor

La mayoría de los sistemas del SFS proyectados para funcionar en las bandas 50/40 GHz tienen previsto ofrecer velocidades de transmisión de datos desde la calidad de videoconferencia, hasta muy alta velocidad de transmisión STM-1 (155 bit/s) o superiores a  $10 \times$  STM-4 (6,22 Gbit/s). Como las degradaciones de la propagación son muy intensas en esta gama de frecuencias se aplican consideraciones de diseño especiales a esta banda, que no se aplican necesariamente a frecuencias más bajas. A fin de obtener disponibilidad de enlace y elevada velocidad de datos en la banda de 40 GHz, la mayoría de los sistemas del SFS propuestos funcionarán con antenas de satélite de alta ganancia. La anchura de haz de 3 dB de las antenas de transmisión y recepción están en la gama de  $0,3^\circ$  a  $0,65^\circ$ . Asimismo, en razón de las limitaciones de potencia y peso, el número de haces activos en cualquier instante del campo de visión del satélite de todos los sistemas del SFS planificados para operar en estas bandas será muy pequeño, típicamente menor que 5%. En el estudio pertinente (Recomendación UIT-R S.1557), los sistemas del SFS y del SRS proyectados para funcionar en la banda de 40 GHz se supone que tienen parámetros de sistema similares.

En el Cuadro 43 se indica que los sistemas del SFS más proyectados prevén utilizar 2 GHz de espectro como mínimo en el sentido espacio-Tierra y que la mayoría de los sistemas utilizará un esquema de reutilización de frecuencia cuatro veces mayor. Esto significa que a cada haz se atribuirán 500 MHz. Sin embargo, algunos sistemas proyectados prevén utilizar un espectro de 2 GHz para cada haz. La anchura de banda real para cada haz dependerá de la aplicación y de la separación entre haces.



### 16.2.5 Características de funcionamiento

Véase la Recomendación UIT-R S.1557 y el § 16.2.4.

### 16.2.6 Nivel de transmisión dentro de la banda

Los sistemas del SFS y del SRS proyectados para funcionar en la banda de 40 GHz sólo podrán transmitir en los límites de dfp consignados en el Cuadro 21-4 del RR para un porcentaje de tiempo muy pequeño. Los niveles de dfp reales del enlace descendente en condiciones de atmósfera despejada dependerán del diseño de cada sistema de satélite tales como transpondedor transparente, tratamiento de la carga útil a bordo, modulación, codificación, etc. En el estudio se tomó como premisa que los sistemas del SFS funcionan normalmente en el nivel de dfp de  $-117 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  para ángulos de elevación de  $25^\circ$  a  $90^\circ$  en condiciones de atmósfera despejada.

El valor de  $-117 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$  representa un nivel de atmósfera despejada de 12 dB por debajo del nivel de dfp máximo indicado en el Cuadro 21-4 del RR. Debido a las limitaciones de potencia de la estación espacial, sólo se alcanza la potencia total durante periodos de tiempo muy breves en haces en que los efectos de la propagación deben ser superados. Además, el nivel en atmósfera despejada proporciona protección a determinados sistemas del SF sensibles desplegados en esta banda. En las Recomendaciones UIT-R S.1557 y UIT-R SF.1572 se pueden obtener mayores detalles.

### 16.3 Umbral de compatibilidad

Véase el § 16.1.3.

### 16.4 Evaluación de la interferencia

#### 16.4.1 Metodología utilizada para determinar el nivel de interferencia

En la Fig. 60 se muestra un ejemplo para el caso más desfavorable basado en una anchura de banda necesaria de 500 MHz y una reducción espectral en el nivel máximo identificado en la Recomendación UIT-R SM.1541. Este ejemplo supone también que la anchura de banda necesaria se extiende hasta el borde de la atribución del SFS.

#### 16.4.2 Cálculo del nivel de interferencia

La curva de la característica espectral que se ilustra en la Fig. 60 fue integrada numéricamente para calcular la potencia de la emisión no deseada global con el objeto de determinar la repercusión de las observaciones del continuum en la banda de 1 GHz.

Los valores se tomaron directamente de la curva (con una reducción de 3 dB para reflejar el cambio de la anchura de banda de 1 MHz a 500 kHz) a fin de verificar la conformidad con el umbral de raya espectral con antena parabólica simple y con el nivel VLBI.

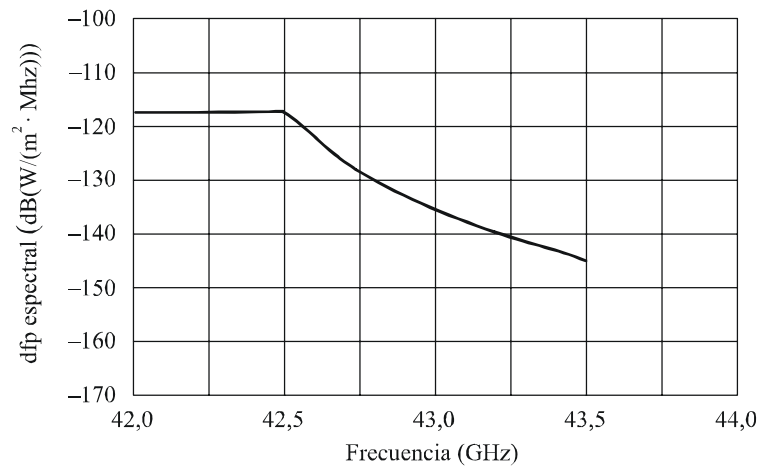
El cálculo supone un haz en el punto de proyección del satélite sobre la superficie de la Tierra. Como resultado, los valores reales de dfp serían inferiores para radiotelescopios en el que el ángulo de elevación al satélite es menor que  $90^\circ$ .

El cálculo no tiene en cuenta la repercusión de la atenuación atmosférica<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Véase la Recomendación UIT-R P.676. El valor variará entre 1 y 2 dB a nivel del mar.

FIGURA 60

**Característica espectral**

I 2091-60

**16.4.3 Valores obtenidos**

En base a esta curva, se obtuvieron los siguientes niveles para el caso más desfavorable en la banda 42,5 a 43,5 GHz:

- $-97 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{GHz))}$ , que es de 37 dB por encima del umbral del continuum para la banda 42,5-43,5 GHz;
- $-120 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 500 \text{ kHz))}$  en 42,5 GHz, que es de 36 dB por encima del umbral de raya espectral.

Como resultado, la conformidad con los criterios de radioastronomía requeriría la aplicación de uno o más métodos de reducción de la interferencia.

**16.5 Técnicas de reducción de la interferencia****16.5.1 SRA**

Los métodos posibles de reducción de la interferencia para el SRA son:

- una banda de guarda; o bien
- otros métodos de mitigación conforme a la Recomendación UIT-R SM.1542.

**16.5.2 SFS y SRS****16.5.2.1 Filtrado del satélite**

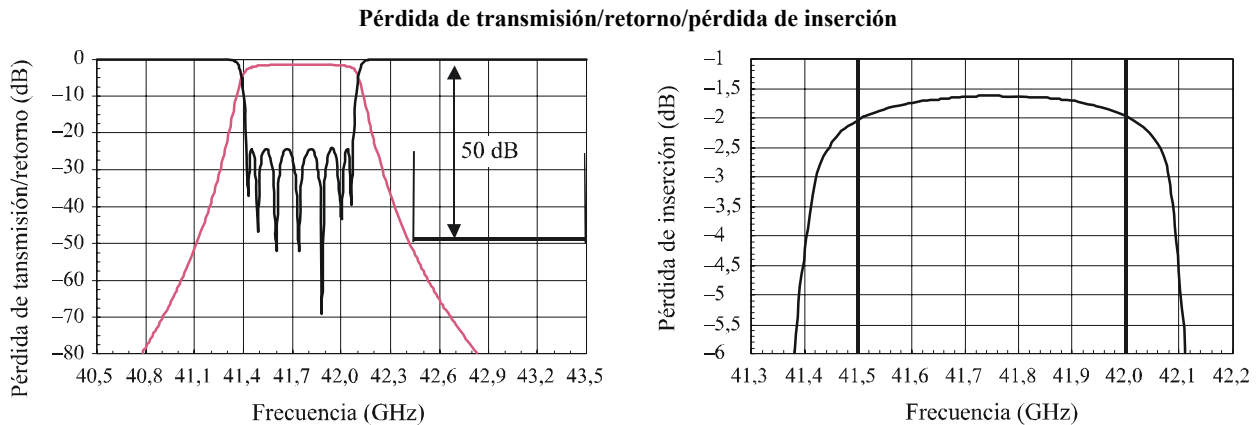
*Caso 1 – Estación espacial de haces múltiples*

Para portadoras de banda ancha, la curva de la Fig. 61 muestra un ejemplo de las características de diseño de filtrado típico en esta banda con un filtro de 7 polos.

*Caso 2 – Estación espacial con sistema de antenas controlado por fase*

En la Fig. 62 se muestra la característica de diseño de filtrado típico en esta banda con un filtro de 15 polos para portadoras de banda ancha con un sistema de antenas controlado por fase.

FIGURA 61

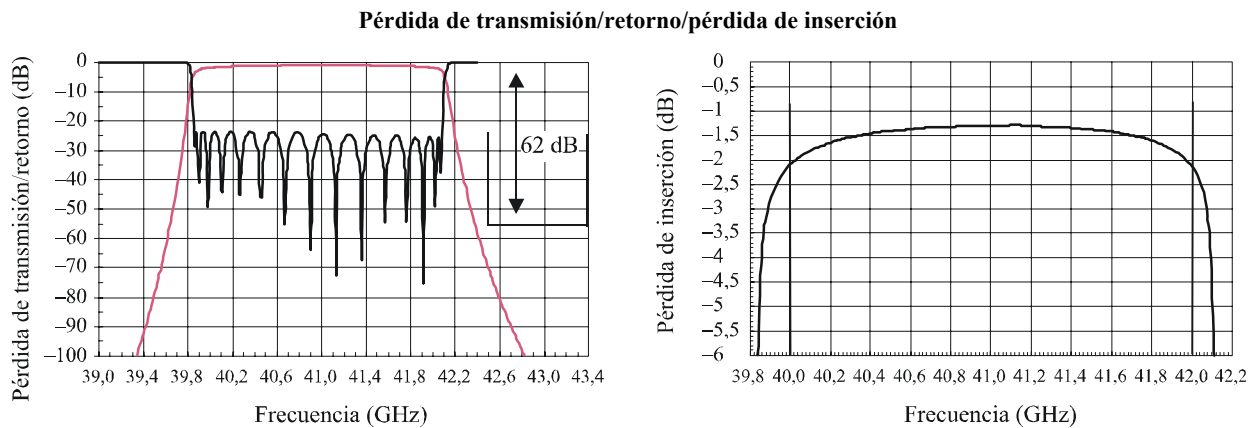


$N = 7$ , filtro TE101

Tamaño (W × H × L): 1,125" × 1,125" × 3,80"/Peso: 0,24 lb (cobre)

I 2091-61

FIGURA 62



$N = 15$ , filtro pasabanda TE101 en cascada con un filtro de paso bajo WR22/filtros guiaondas WR22

Tamaño: (W × H × L): 1,125" × 1,125" × 5,50"/Peso: 0,33 lb (cobre)

I 2091-62

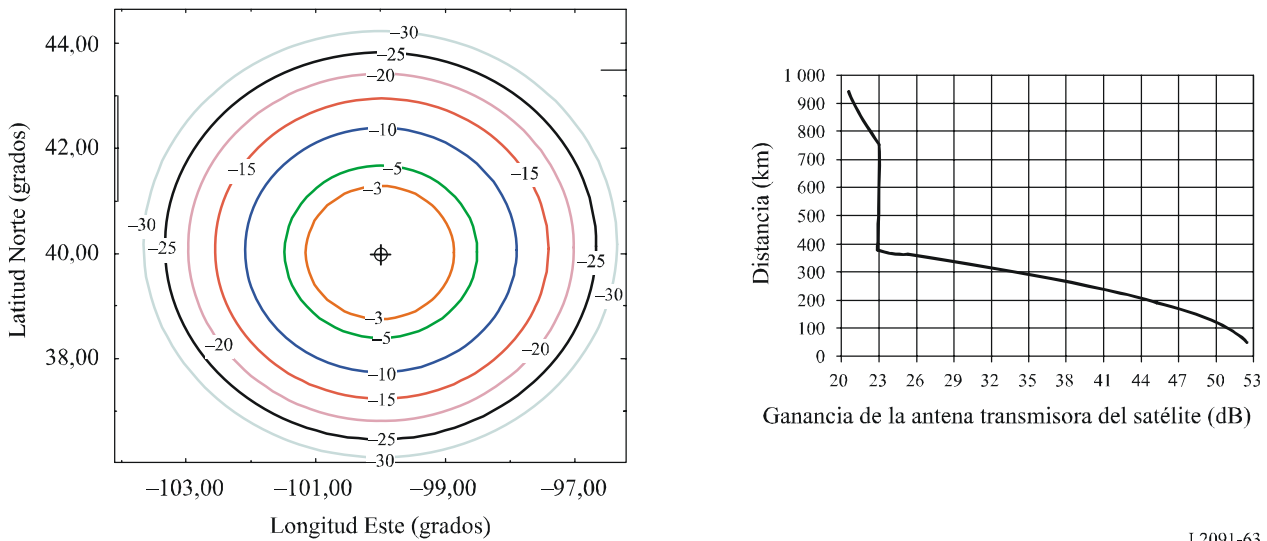
### 16.5.2.2 Separación geográfica

Si los sistemas del SFS y SRS que funcionan en la banda 40,5-42,5 GHz no pueden emplear los filtros de transmisión adicionales necesarios para satisfacer los criterios de interferencia perjudicial de las estaciones del SRA que funcionan en la banda 42,5-43,5 GHz, se debe considerar la separación geográfica como una técnica de reducción de la interferencia.

Conforme al Cuadro 43 el tamaño del haz de antena de transmisión del satélite oscila entre 0,3° y 0,6°. En el diagrama que se ilustra a la izquierda de la Fig. 63 se indican los contornos de ganancia para una antena de estación espacial OSG que tiene una ganancia de cresta de 53 dB*i* y una anchura de haz de 3 dB de 0,4°. La curva que aparece a la derecha de la Fig. 63 permite establecer la ventaja que tiene la separación geográfica con relación a la ganancia de cresta para cualquier distancia.

FIGURA 63

Contornos de la antena de satélite y distancia entre el centro del haz y el borde de la zona de cobertura en función de la ganancia de la antena de transmisión del satélite



I 2091-63

### 16.5.2.3 Forma del espectro de la señal del SFS/SRS

La forma de onda utilizada por el SFS/SRS para la transmisión de información se puede seleccionar de forma tal que se reduzca al mínimo el espectro para limitar la cantidad de emisiones no deseadas transmitidas. Asimismo, puede ser posible diseñar o hacer funcionar el amplificador de alta potencia de modo de reducir al máximo el nivel de emisiones no deseadas de la señal del SFS/SRS.

### 16.5.2.4 Banda de guarda

La aplicación de una banda de guarda entre los dos servicios permitiría la reducción de la señal y el régimen de caída del filtro.

### 16.5.2.5 Métodos de mitigación adicionales

En la Recomendación UIT-R SM.1542 se indican métodos adicionales de reducción de la interferencia.

## 16.5.3 Repercusiones posibles

### 16.5.3.1 SRA

*Banda de guarda en el borde de la banda del SRA* – En el caso de mediciones de banda ancha del continuum, el empleo de una banda de guarda en la banda de radioastronomía podría dar origen a una pérdida de datos, pues sería necesario aumentar el tiempo de integración para compensar la pérdida de anchura de banda. Este método tiene viabilidad limitada como se indica en el § 1.3.

Esta banda también incluye las rayas espectrales asociadas con la molécula de SiO en las frecuencias de reposo de 42,519, 42,821, 43,122 y 43,424 GHz que constituyen una de las líneas espectrales más importantes de la astrofísica, que no están enumeradas en la Recomendación UIT-R RA.314. De este modo, la banda de guarda tiene un campo limitado dentro de la banda de radioastronomía sin influir en la capacidad de observar una o más líneas espectrales de SiO.

### **16.5.3.2 SFS y SRS**

#### **16.5.3.2.1 Filtrado en el satélite**

En el ejemplo de haces múltiples precedente, basado en un filtro de transmisión de 7 polos, la pérdida de inserción es de 2,0 dB, que corresponde a una degradación de 37% en la capacidad del sistema. Este filtrado puede incrementar el peso de la estación espacial en unos 120 gr o más por haz, de acuerdo con la potencia del transmisor.

En el ejemplo del sistema de antenas controlado por fase, basado en un filtro de transmisión de 15 polos, la pérdida de inserción es de 2,0 dB, que corresponde a una degradación del 37% de la capacidad del sistema. Este filtrado puede aumentar la masa de la estación espacial en unos 160 gr o más por elemento, de acuerdo con la potencia del transmisor. Para una estación espacial con un sistema de antenas de 2 818 elementos radiantes en fase, se agregaría un peso adicional de 450 kg a la masa de la carga útil con la consiguiente desventaja en el costo y calidad del funcionamiento.

Asimismo, la mayoría de los sistemas que funcionan con sistemas de antenas de elementos en fase prefieren utilizar amplificadores de potencia de estado sólido. Se requieren filtros de transmisión individuales que dependen de la potencia de transmisión real en razón de una pérdida adicional, se pueden requerir amplificadores ATOP. Es muy difícil utilizar sistemas de antenas de elementos en fase con amplificadores de tubo de ondas progresivas.

#### **16.5.3.2.2 Separación geográfica**

Este método de reducción de la interferencia sólo se utiliza si el número de radiotelescopios en la zona de servicio del satélite es pequeño y sus emplazamientos son tenidos en cuenta en la etapa de diseño del subsistema de antena de la estación espacial. Además, este método de mitigación limita la capacidad de la estación espacial para ser reubicada o para reorientar el haz a otras porciones del campo de visión del satélite.

#### **16.5.3.2.3 Forma del espectro de la señal del SFS/SRS**

La linealidad del amplificador de alta potencia y el punto en la gama dinámica en el cual funciona este amplificador determinan la forma del espectro de la emisión de la estación espacial. Se puede obtener la reducción de las emisiones no deseadas haciendo funcionar al amplificador en una potencia de entrada menor o mejorando la linealidad del mismo. Sin embargo, el hecho de mantener el funcionamiento del amplificador en la gama lineal reduce las emisiones no deseadas a costa de una menor eficacia del mismo. Ambos métodos tienen repercusiones en el comportamiento de la estación espacial así como en su peso y costo.

#### **16.5.3.2.4 Banda de guarda**

El empleo de una banda de guarda impone una reducción de capacidad en el SFS/SRS si se aplica dentro de su atribución.

## **16.6 Resultados de los estudios**

### **16.6.1 Resumen**

La mayoría de los emplazamientos del SRA en todo el mundo utilizan esta banda para mediciones con antena parabólica simple.

Para satisfacer los niveles de protección en mediciones con antena parabólica simple se ha de requerir una combinación de las técnicas apropiadas de reducción de la interferencia. Un estudio consideró la separación de frecuencias sin utilizar ningún método de reducción de la interferencia. Este estudio supone sistemas del SFS y SRS que funcionan en frecuencias de hasta 42 GHz y niveles de emisiones no deseadas conforme a la Recomendación UIT-R SM.1541. El estudio

muestra que se satisface el nivel de interferencia perjudicial para observaciones VLBI consignado en la Recomendación UIT-R RA.769. Sin embargo, no se satisfacen los límites de d<sub>fp</sub> umbral para observaciones del continuum o de raya espectral con antena parabólica simple, y la interferencia sería lo suficientemente fuerte como para impedir la utilización de las mediciones astronómicas, salvo que se utilicen métodos de mitigación adicionales.

El escenario para el caso más desfavorable presentado en el § 16.4.1, que no utiliza métodos de reducción de la interferencia, se basa en una anchura de banda necesaria de 500 MHz y un régimen de caída del espectro conforme a la Recomendación UIT-R SM.1541. Asimismo, en este ejemplo se supone que la anchura de banda necesaria se extiende hasta el borde de la atribución al SFS a 42,5 GHz.

Las emisiones no deseadas que resultan del ejemplo considerado para el caso más desfavorable rebasan los límites estipulados en el número 5.551G del RR así como los criterios para las observaciones del continuum y de raya espectral con antena de parábola única que figuran en la Recomendación UIT-R RA.769. Sin embargo, el criterio para VLBI se cumple para toda la banda 42,5 a 43,5 GHz. La diferencia puede ser subsanada mediante el empleo de métodos de reducción de la interferencia. En sistemas prácticos se puede considerar la aplicación de una diversidad de métodos de reducción; es posible que se requiera una combinación de dichos métodos.

Si, para algunos sistemas, se considera la representación espectral del SFS provisional como se describe en el Apéndice técnico al Anexo 1 en lugar de la Recomendación UIT-R SM.1541, la diferencia con los criterios del continuum se reduce. Esto no reducirá necesariamente la diferencia en los borde de la banda a menos que se consideren métodos adicionales de mitigación de la interferencia. No obstante, se indicó que esta representación espectral está basada en experiencias en bandas de frecuencias inferiores.

Se espera que, utilizando uno o más métodos de reducción de la interferencia indicados en este Anexo, los sistemas del SFS/SRS pueden satisfacer el criterio de protección especificado en la Recomendación UIT-R RA.769 para mediciones del continuum. Además, puede ser difícil para los sistemas del SFS satisfacer el criterio de rayas espectrales en algunas porciones de la banda 42,5-43,5 GHz. Es incierto determinar si los sistemas del SFS que se requieren para satisfacer los criterios establecidos en el número 5.551G del RR fueran prácticos, pues dichos requisitos impondrían severas limitaciones operacionales que aumentarían considerablemente los costos del sistema de satélite.

Como resultado, es improbable que se cumplan todas las necesidades de ambos servicios. Es necesario continuar investigando para perfeccionar el estudio.

### **16.6.2 Conclusiones**

En esta banda, el SFS y el SRS pueden satisfacer el nivel umbral de la interferencia perjudicial a las observaciones radioastronómicas conforme a la Recomendación UIT-R RA.769 para el caso VLBI. Para observaciones del continuum, puede ser posible en sistemas del SFS/SRS satisfacer el umbral con el empleo de métodos de reducción de la interferencia. Puede ser posible satisfacer el umbral de raya espectral en una parte de la banda. No se puede determinar si los métodos de reducción de la interferencia serán suficientes para satisfacer los criterios de raya espectral en el borde inferior de la atribución al SRA.

En razón que casi dos tercios de los emplazamientos del SRA en todo el mundo (véase el Cuadro 42) utilizan esta banda para mediciones con antena parabólica simple, es, por tanto, importante que se aplique una combinación de técnicas apropiadas de reducción de la interferencia para satisfacer dichos niveles de protección para mediciones con antena de parábola única.

---