

## RECOMENDACIÓN UIT-R SM.1633-0\*

**Análisis de compatibilidad entre un servicio pasivo y un servicio activo atribuidos en bandas adyacentes y cercanas**

(2003)

**Alcance**

Esta Recomendación sirve de base para la metodología del análisis de compatibilidad entre un servicio pasivo y un servicio activo atribuidos en bandas adyacentes y cercanas.

**Palabras clave**

Compatibilidad, emisiones no deseadas, umbral, banda de servicio activo, banda de servicio pasivo

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que los servicios de radioastronomía (SRA), exploración de la Tierra por satélite (SETS) (pasivo) y de investigación espacial (SIE) (pasivo) se basan en la recepción de emisiones naturales de niveles de potencia menores que los que generalmente se utilizan en otros servicios de radiocomunicación;
- b) que, en razón de los bajos niveles de potencia recibidos, estos servicios pasivos son generalmente más susceptibles a la interferencia de emisiones no deseadas que otros servicios;
- c) que los límites generales para las emisiones no esenciales consignados en el Apéndice 3 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) pueden no proteger de la interferencia los servicios pasivos en la medida deseada; sin embargo, de acuerdo con la separación entre las bandas atribuidas a los servicios activos y pasivos, los niveles reales de emisiones no esenciales que afectan a una banda pasiva pueden ser menores;
- d) que los niveles generales de emisiones en el dominio fuera de banda que figuran en la Recomendación UIT-R SM.1541 pueden no proteger de la interferencia las operaciones de los servicios pasivos;
- e) que existen diversas prácticas operativas y técnicas de reducción de la interferencia que pueden ser empleadas por los servicios pasivos y activos para minimizar las repercusiones de la interferencia sobre los servicios pasivos;
- f) que podrían existir limitaciones prácticas y económicas para la aplicación de estas medidas de reducción de la interferencia;
- g) que las medidas para obtener la compatibilidad entre los servicios activos y pasivos se han de conducir de manera equitativa;
- h) que en el *recomienda* 5 de la Recomendación 66 (Rev.CMR-2000) se solicita al UIT-R «que estudie las bandas de frecuencias y los casos en los cuales, por razones técnicas u operacionales, se pueden necesitar límites más estrictos para las emisiones no esenciales que los límites generales consignados en el Apéndice 3, para proteger a los servicios de seguridad y los servicios pasivos tales como el de radioastronomía, y las consecuencias de la aplicación o falta de aplicación de esos límites sobre todos los servicios interesados»;

---

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

j) que en el *recomienda* 6 de la Recomendación 66 (Rev.CMR-2000) se solicita al UIT-R «que estudie las bandas de frecuencias y los casos en los cuales, por razones técnicas u operacionales, se pueden necesitar límites de las emisiones fuera de banda para proteger a los servicios de seguridad y los servicios pasivos tales como el de radioastronomía, y el impacto de la aplicación o falta de aplicación de esos límites sobre todos los servicios interesados»;

k) que las situaciones de mayor dificultad posible para los servicios pasivos son los que figuran en el Cuadro 1,

*recomienda*

1 que para efectuar el análisis entre un servicio pasivo y un servicio activo en las bandas atribuidas que figuran en el Cuadro 1 se utilice la metodología indicada en el Anexo 1;

2 que, cuando fuera apropiado, se utilicen otras metodologías que conduzcan a una solución de compatibilidad;

3 que para obtener soluciones a los problemas de interferencias entre los servicios indicados se tengan en cuenta los resultados de los estudios en cada banda descritos en los Anexos 2 al 21.

CUADRO 1

**Lista de referencia de las bandas de frecuencias pertinentes para estudios en cada banda**

Banda del servicio pasivo	Banda del servicio activo	Anexo
1 400-1 427 MHz (SRA)	1 452-1 492 MHz (SRS)↓	2
1 400-1 427 MHz (SETS)	1 350-1 400 MHz (Radiolocalización)	3
1 400-1 427 MHz (SETS/SRA)	1 525-1 559 MHz (SMS)↓	4
1 610,6-1 613,8 MHz (SRA)	1 559-1 610 MHz (SRNS)↓	5
1 610,6-1 613,8 MHz (SRA)	1 613,8-1 626,5 MHz (SMS)↓	6
1 610,6-1 613,8 MHz (SRA)	1 525-1 559 MHz (SMS)↓	7
2 690-2 700 MHz (SRA)	2 655-2 690 MHz (SRS, SFS)↓	8
10,6-10,7 GHz (SETS)	10,7-10,95 GHz (SFS)↓	9
10,6-10,7 GHz (SRA)	10,7-10,95 GHz (SFS)↓	10
21,2-21,4 GHz (SETS)	20,2-21,2 GHz (SMS, SFS)↓	11
22,21-22,5 GHz (SRA)	21,4-22 GHz (SRS)↓	12
23,6-24 GHz (SETS)	22,55-23,55 GHz (SES)	13
31,3-31,5 GHz (SETS)	30-31 GHz (SFS, SMS)↑	14
31,3-31,5 GHz (SETS)	31,0-31,3 GHz (SF)	15
31,5-31,8 GHz (SETS)	31,8-33,4 GHz (SF)	16
31,5-31,8 GHz (SETS)	31,8-33,4 GHz (RN)	17
42,5-43,5 GHz (SRA)	41,5-42,5 GHz (SRS, SFS)↓	18
50,2-50,4 GHz (SETS)	47,2-50,2 GHz (SFS)↑	19
50,2-50,4 GHz (SETS)	50,4-51,4 GHz (SFS, SMS)↑	20
52,6-52,8 GHz (SETS)	51,4-52,6 GHz (SF)	21

SRNS: servicio de radionavegación por satélite

SES: servicio entre satélites

## Anexo 1

### Metodología

#### 1 Generalidades

La siguiente metodología general define un medio sistemático para formular criterios de compatibilidad mutuamente aceptables entre operadores que utilizan servicios activos y pasivos en sus bandas atribuidas. En el diagrama de flujos (Fig. 1) se resume la metodología, cuyo detalle particular se describe en el § 2 de este Anexo. Como el procedimiento es iterativo, podría ser necesario que se requieran varias etapas para hallar la solución.

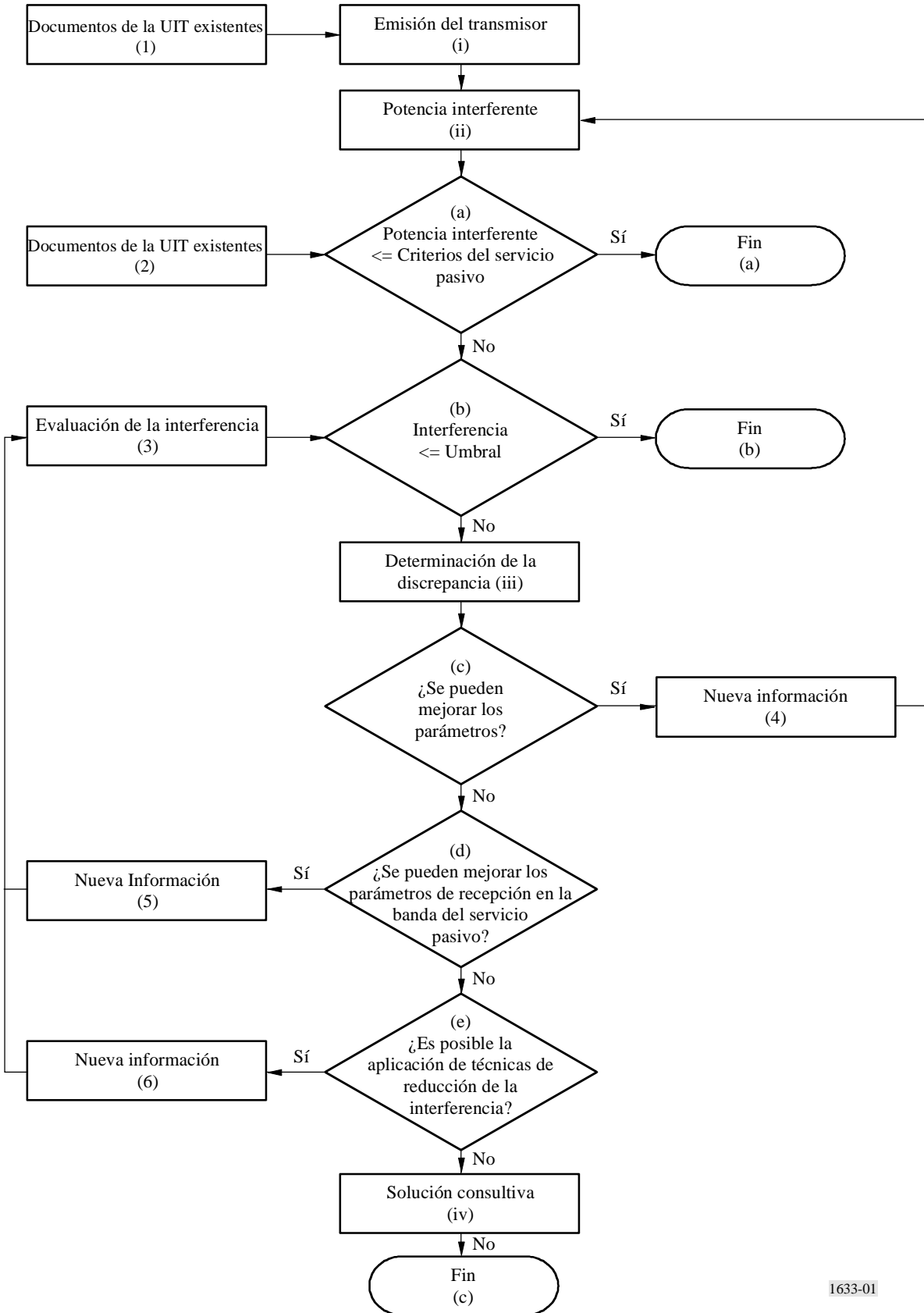
El primer paso es determinar los parámetros de transmisión del servicio activo (casilla (i)). El punto inicial es el escenario para el caso más desfavorable que se utiliza para determinar si existe la posibilidad de interferencia perjudicial a los servicios pasivos por alguno o todos los tipos de servicios activos que funcionan en una banda adyacente o cercana. Este nivel de potencia para el caso más desfavorable se puede determinar a menudo conforme a los límites reglamentarios existentes (casilla (1)), tal como las densidades de flujo de potencia que figuran en el Artículo 21 del RR. En consecuencia, se han de utilizar los límites reglamentarios para la potencia transmitida por el servicio activo para determinar el nivel del caso más desfavorable de emisiones no deseadas en bandas del servicio pasivo (casilla (ii)).

El siguiente paso es determinar si este nivel de interferencia para el caso más desfavorable es mayor que el umbral de interferencia del servicio pasivo para la banda en estudio (rombo (a)). Estos niveles de umbral figuran en diversas Recomendaciones UIT-R (casilla (2)) tales como las Recomendaciones UIT-R RA.769, o UIT-R SA.1029. Si este umbral de interferencia es mayor que el nivel para el caso más desfavorable de emisiones no deseadas en la banda, no habrá repercusiones adversas en las operaciones del servicio pasivo. En este caso la metodología sigue la rama «SI» y el proceso finaliza. En este punto, como en otros puntos terminales de la metodología, las hipótesis utilizadas para obtener el punto final establecen la base técnica para una disposición de trabajo compatible entre los servicios activos y pasivos pertinentes. El modo de utilizar estas hipótesis técnicas y sus conclusiones resultantes es una práctica reglamentaria y está fuera del alcance técnico de esta Recomendación. Sin embargo, para el caso del rombo (a), si se determina que la interferencia es mayor que los criterios del servicio pasivo, es necesario entonces seguir por la rama «NO» hacia el rombo (b). En la primera iteración, no se dispone de nueva información de modo que el trayecto continúa hacia la casilla (iii). En las últimas iteraciones, el umbral en el rombo (b) puede ser diferente de los criterios del servicio pasivo utilizados en el rombo (a) como consecuencia de los parámetros modificados o adicionales y la compartición de las cargas. Esos parámetros modificados o adicionales pueden surgir de los rombos (c), (d) o (e). El rombo (b) permite efectuar una nueva estimación para determinar si se ha obtenido la compatibilidad.

Si éste es el caso, el proceso sigue por la rama «SÍ» y el procedimiento termina. Si éste no fuera el caso, se deberá determinar la discrepancia, según la cual, al llegar a los rombos (c), (d) o (e), se deberán investigar las siguientes alternativas:

- mejorar los parámetros de emisión del servicio activo tal 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).

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



Cuando durante la estimación de discrepancias, como se indica en la casilla (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 SETS (pasivo) puede recibir interferencia simultánea de múltiples servicios, podría ser necesario efectuar un estudio para determinar los efectos combinados de los múltiples servicios activos.

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

### **2.1 Casilla (1): Documentos de la UIT existentes**

Esta casilla se refiere a los documentos que pueden ser pertinentes para determinar las señales emitidas. Los Artículos del RR y las Recomendaciones UIT-R e Informes 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 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: Espectros y anchuras de banda de las emisiones.
- UIT-R SM.329: Emisiones no deseadas en el dominio no esencial.
- 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 los dominios de emisión fuera de banda y no esencial requerida para la aplicación de las Recomendaciones UIT-R SM.1541 y UIT-R SM.329.

UIT-R SM.1540: Emisiones no deseadas en el dominio de las emisiones fuera de banda que caen dentro de las bandas atribuidas adyacentes.

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.

No todos los datos enumerados anteriormente pueden estar disponibles 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 Casilla (2): Documentos de la UIT existentes

Esta casilla 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 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.

## 2.3 Casilla (3): Evaluación de la interferencia

La función de esta casilla es la de permitir que el servicio pasivo genere un nuevo criterio de compartición basado en la información proporcionada en las casillas (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 la casilla (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 SRNS a estaciones del SRA, se debe utilizar la metodología que figura en la Recomendación UIT-R M.1583.

## **2.4 Casillas (4), (5) y (6): Nueva información**

La función de estas casillas 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 presentada a la Oficina de Radiocomunicaciones (BR) en la casilla (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 las casillas (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 UIT-R específicas, Recomendaciones regionales o Normas regionales. Los ejemplos para las casillas correspondientes son los siguientes:

### **Casilla (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 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 40-42,5 GHz, la 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, contiene parámetros que pueden ser utilizados para estudios pertinentes a esta banda.

### **Casilla (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.

### **Casilla (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.

## **2.5 Casilla (i): Emisión del transmisor**

El propósito de esta casilla es establecer la densidad de potencia en banda del transmisor en la conexión de antena.

### 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 (dB(W/Hz))
- $p.i.r.e.densidad$ : densidad de la p.i.r.e. transmitida (dB(W/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:

- $p_t$ : potencia nominal máxima 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.

### 2.5.2 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 dfp, 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.

### 2.5.3 Densidad de potencia basada en la potencia de RF 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; 1000 MHz para la banda 12/14 GHz, etc.

$N_{frec}$ : diagrama de reutilización de frecuencia

$OBO$ : reducción de la potencia de salida (dB).

### 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.

## 2.6 Casilla (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 dfp dentro de la banda determinada en la casilla (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:

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

donde:

$dfp(\text{emisiones no deseadas})$ : nivel de dfp en los puntos de recepción del SRA

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

### 2.6.1 Receptor del SETS

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.

#### 2.6.1.1 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 (P-MP). Teniendo en cuenta que los terminales del servicio fijo están orientados en dirección cercana al horizonte, la probabilidad de tener un sistema del servicio fijo 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 servicio fijo 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 servicio fijo una ganancia que es la calculada para un ángulo de 90° con respecto al eje.

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

- la disposición de los canales (si la 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 servicio fijo, se debe considerar que la anchura de banda necesaria tiene el mismo valor que la anchura de banda ocupada» y que la potencia del servicio fijo 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.

### 2.6.1.2 Transmisor orientado hacia algunos 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.

### 2.6.1.3 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 la dirección de la Tierra;
- la altitud del sistema espacial o de la dfp en la Tierra.

## 2.6.2 Receptor del SRA

### 2.6.2.1 Emisiones no deseadas del servicio fijo

El SRA puede tener interferencia procedente de sistemas de estaciones situadas en plataformas a gran altitud (HAPS, *high altitude platform stations*). Ninguna otra cuestión relacionada con fuentes de interferencia terrenales en las bandas de radioastronomía han sido identificadas en la Recomendación UIT-R SM.1542.

### 2.6.2.2 Emisiones no deseadas de los sistemas espaciales

La potencia interferente que incide en estaciones del SRA tiene origen en enlaces descendentes de servicios OSG o no OSG. 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.

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

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

$$I = \int_{f_1}^{f_2} \frac{p(f) \cdot g(f)}{SL \cdot ATM} df \quad (6)$$

donde:

- $I$ : potencia interferente en la estación del SRA ( $\text{W/m}^2$ )
- $f_1, f_2$ : 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:

$$I = \frac{P \cdot g}{SL \cdot ATM} \quad (7)$$

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

#### 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 del SMS y del SRNS no OSG a estaciones del SRA, se debe utilizar el método indicado en la Recomendación UIT-R M.1583.

### 2.7 Casilla (iii): Determinación de la discrepancia

El objetivo de esta casilla 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 esta casilla, 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 esta casilla se hayan identificado los puntos de cambios posibles en el próximo paso, la casilla de decisión apropiada efectuará el cambio y conducirá a una nueva evaluación de la interferencia.

### 2.8 Casilla (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.

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

La potencia interferente determinada en la casilla (ii) se compara con los criterios de protección del servicio pasivo apropiados de la casilla (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.

## **2.10 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.

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

Siguiendo el análisis indicado en la casilla (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 corriente pueden reemplazar hipótesis para el caso más desfavorable y futuros sistemas planificados. Estas hipótesis modificadas pueden entonces tenerse en cuenta en iteraciones subsiguientes.

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

Siguiendo el análisis efectuado en la casilla (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.

## 2.13 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).

### 2.13.1 Sistema activo

#### 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.

#### 2.13.1.2 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 a uno o ambos servicios.

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

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

donde:

- $I$ : potencia interferente recibida por el servicio pasivo dentro de su anchura de banda de recepción ( $W/m^2$ )
- $f_1, f_2$ : 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 ( $m^2$ )
- $ATM(f)$ : absorción atmosférica en la banda en función de la frecuencia
- $r(f)$ : características de transferencia de los filtros del receptor del servicio pasivo en función de la frecuencia.

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.

### **2.13.1.3 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.

### **2.13.2 Sistema pasivo**

Véase la Recomendación UIT-R SM.1542.

## **2.14 Círculos 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.

## **Apéndice 1 al Anexo 1**

Este Apéndice técnico al Anexo 1 recopila información sobre temas técnicos. Este material será útil para cálculos futuros (por ejemplo los coeficientes de propagación en el § 3), o pueden ser objeto de ulteriores estudios.

### **1 Cálculos de la potencia interferente**

La utilización del número 1.153 del RR y la Recomendación UIT-R SM.1541 permiten la evaluación de la interferencia para sensores pasivos en bandas del servicio pasivo de servicios activos que funcionan en bandas del servicio activo adyacentes o cercanas. Suponiendo que la anchura de banda de una emisión, como se define en el número 1.153 del RR, no se superpone a la banda del servicio pasivo, la potencia de la emisión no deseada de la banda del servicio pasivo se limitaría a un valor no mayor que el 0,5% de la potencia media total de la emisión. La Recomendación UIT-R SM.1541 proporciona un análisis para el caso más desfavorable en que las emisiones fuera de banda del servicio activo presentan valores en exceso.

En la ecuación (9), se proporciona una representación espectral que sirve como guía de emisiones no deseadas en el SFS. La representación espectral está referida a la anchura de banda necesaria en términos de porcentaje. Si la máscara está integrada para determinar la magnitud de la potencia más allá de una determinada gama desde la frecuencia central, proporcionará una curva como se muestra en la Fig. 2. (La Figura supone un dominio de integración gradual de 400% de la anchura de banda necesaria.) Una integración de la máscara de SFS conforme a la Recomendación UIT-R SM.1541 indica que el 17% de la energía dentro de la banda se transmite sobre cada lado de la anchura de banda necesaria, y el problema está agravado aun si se lo utiliza conjuntamente con la máscara de dominio de emisiones no esenciales conforme al Apéndice 3 del RR que es uniforme en todas las bandas, dando por resultado un valor de la potencia infinita en la integración. Para ayudar a la determinación de la potencia interferente en bandas de servicios pasivos, se propuso una representación espectral basada en un filtro de coseno alzado que presenta la respuesta en el dominio de la frecuencia:

$$A = [\text{sen}(2f/B_N)]^2 / [1 - (2f/B_N)^2]^2 \quad (9)$$

donde:

$$\text{sen}(2f/B_N) = \text{sen}(2\pi f/B_N) / (2\pi f/B_N) \quad \text{para } 2\pi f/B_N \neq 0$$

y:

$$\text{sen}(2f/B_N) = 1 \quad \text{para } 2\pi f/B_N = 0$$

donde:

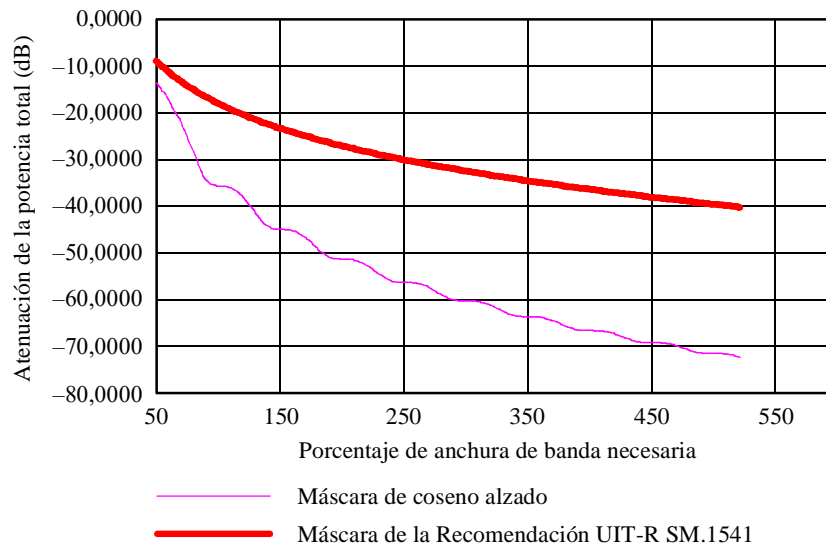
$A$ : atenuación

$f$ : frecuencia, desde el centro de la anchura de banda necesaria

$B_N$ : anchura de banda necesaria.

FIGURA 2

Integración de la representación espectral



1633-02

Esta representación espectral preliminar de las emisiones no deseadas, destinada a efectuar estudios de banda por banda, representa de manera muy general la distribución de potencia típica media a través de los dominios fuera de banda y de emisiones no esenciales en una atribución adyacente o cercana. La máscara de coseno alzado se ha utilizado en los cálculos de algunos de los Anexos; en tales casos su utilización se indica claramente en el texto. La aplicación de esta representación espectral a los diversos servicios y estaciones (por ejemplo, espacial o terrenal así como la gama de frecuencias válida) será objeto de ulteriores estudios antes que se extienda su utilización.



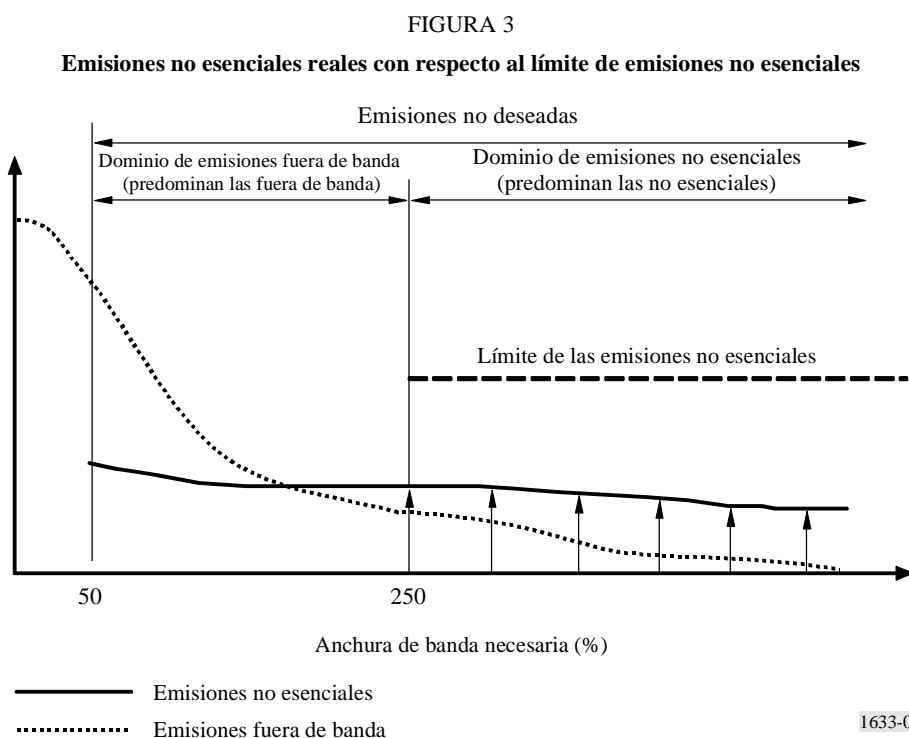
Los casos en que el escenario no es estático, y el análisis estático para el caso más desfavorable presenta la posibilidad de interferencia, se requerirá una determinación de la distribución estadística de los eventos de interferencia. Esto se puede efectuar mediante un análisis dinámico que tiene en cuenta las características de variación en el tiempo del escenario. Los pasos que se deben efectuar son los siguientes:

*Paso 1:* Cuando la potencia prevista por el análisis estático supera el umbral de interferencia, existe la posibilidad de interferencia en el escenario estático para el caso más desfavorable. En los casos en que el escenario varía en función del tiempo se debe ejecutar una simulación dinámica para determinar la distribución estadística de la interferencia. Una simulación dinámica podría indicar que existe una interferencia muy pequeña como se define en la Recomendación UIT-R SA.1029 o en la Recomendación UIT-R RA.1513. Si éste fuera el caso, no se requiere efectuar otros análisis.

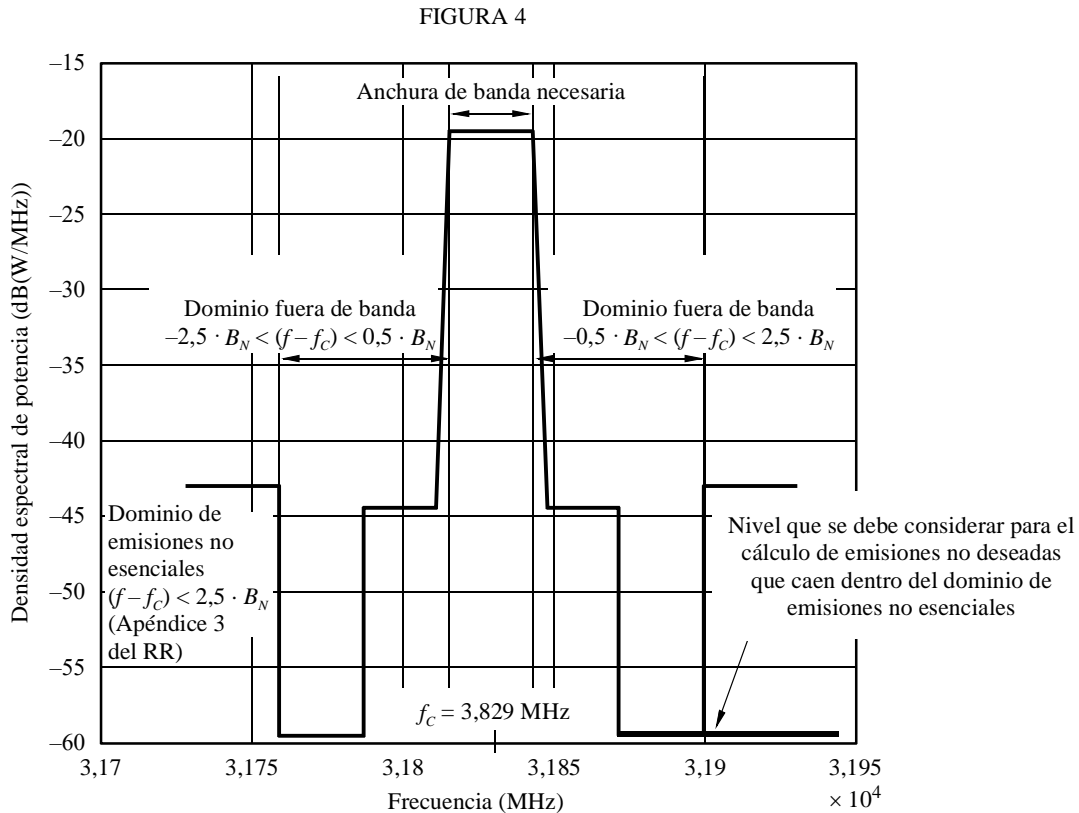
*Paso 2:* Si la simulación indica que la interferencia es importante, se debe repetir el proceso empleando técnicas de mitigación como la utilización de un satélite diferente que funciona con la frecuencia central más separada de la banda del servicio pasivo o la inserción de un filtro a las emisiones del satélite y repetir los cálculos hasta que la potencia parcial interferente en el sistema del servicio pasivo sea menor que la protección requerida. Este paso también podría incluir la modificación de otros parámetros del satélite.

## 2 Mejoramiento posible del cálculo de la potencia interferente en el caso de emisiones no deseadas de sistemas del servicio fijo que puedan caer en bandas del SETS

En los casos en que el nivel de las emisiones no deseadas procedentes de sistemas del servicio fijo en el extremo del dominio fuera de banda (calculado conforme a la Recomendación UIT-R SM.1541) es significativamente más bajo que el límite dentro del dominio de emisiones no esenciales que figuran en la Recomendación UIT-R SM.329 o en el Apéndice 3 del RR, la evaluación de la potencia interferente que cae en la banda del SETS calculada mediante la utilización de los límites indicados en la Recomendación UIT-R SM.329 o en el Apéndice 3 del RR, llevará a sobreestimar significativamente la potencia que cae en una anchura de banda de referencia amplia (véase la Fig. 3).



Por tanto, el cálculo de la potencia interferente debida a las emisiones no deseadas del sistema del servicio fijo que caen dentro de anchuras de banda de referencia amplias se puede mejorar mediante la hipótesis que el nivel de emisiones no esenciales no supera el nivel alcanzado en el extremo del dominio fuera de banda (véase la Fig. 4).



1633-04

### 3 Atenuación mínima de la propagación en el sentido Tierra-espacio debida a los gases atmosféricos para utilización en estudios de compatibilidad entre servicios pasivos y servicios activos

#### 3.1 Introducción

La atenuación de la propagación en el sentido Tierra-espacio entre una estación terrenal y una estación espacial (OSG o no OSG), resultante de la absorción debida a los gases atmosféricos que incluyen el vapor de agua, es un factor importante en los estudios de compatibilidad entre servicios pasivos y servicios activos. Esta atenuación del trayecto oblicuo depende de la distribución en todo el trayecto de los parámetros meteorológicos tales como temperatura, presión y humedad, que varían con la ubicación geográfica del emplazamiento, el mes del año, la altura de la estación terrenal sobre el nivel del mar y el ángulo de elevación del trayecto oblicuo y la frecuencia de operación. El procedimiento para calcular la atenuación del trayecto oblicuo es un procedimiento línea por línea que figura en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R P.676.

El cálculo detallado de la atenuación de la absorción atmosférica puede utilizar información local del vapor de agua medio contenido en el mes más seco y de otros parámetros meteorológicos junto con los modelos atmosféricos que figuran en la Recomendación UIT-R P.835. Cuando no se dispone de esta información, los siguientes resultados proporcionan un procedimiento simple para estimar la atenuación atmosférica.

Las ecuaciones que figuran más abajo consideran cada una de las bandas de frecuencia de interés que están atribuidas a los servicios pasivos y están presentadas por cinco zonas geográficas representativas del mundo (hemisferios Norte y Sur).

### 3.2 Estimación de la atenuación del trayecto Tierra-espacio

A los fines de una estimación simplificada, una estación en la superficie de la Tierra se identifica como que pertenece a una de las tres zonas climáticas que dependen sólo de la latitud (valor absoluto) de la estación:

- latitudes bajas dentro de 22,5° del Ecuador;
- latitudes medias mayores que 22,5°, pero menores que 45° del Ecuador;
- latitudes altas, de 45° o más a partir del Ecuador.

El Cuadro 2 indica los parámetros climáticos de cada una de esas zonas. Se puede observar que la densidad del vapor de agua a nivel del mar para la zona de baja latitud es inferior que el indicado en la Recomendación UIT-R P.835 que corresponde a la estación seca. Los valores de atenuación para esas zonas han sido determinados en función del ángulo de elevación del trayecto de transmisión (o recepción) real de la estación sobre la superficie de la Tierra a la posición de una estación espacial (OSG o no OSG). Las fórmulas numéricas para la atenuación atmosférica, que se aproximan a los valores teóricos, vienen dadas en las secciones siguientes, donde:

$A_L(h, \theta)$ ,  $A_M(h, \theta)$ ,  $A_H(h, \theta)$ : pérdida de absorción atmosférica total (dB) para zonas de latitud baja, latitud media y latitud alta, respectivamente;

$h$  et  $\theta$ : altitud sobre el nivel del mar de la estación en la superficie de la Tierra (km) y ángulo de elevación (grados), respectivamente.

CUADRO 2

#### Parámetros a nivel del mar para las zonas climáticas

Zona climática	Temperatura (K)	Presión atmosférica (hPa)	Densidad del vapor de agua (g/m <sup>3</sup> )
Latitud baja	300,4	1 012,0	10,0
Latitud media	272,7	1 018,9	3,5
Latitud alta	257,4	1 010,8	1,23

El método de línea por línea que figura en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R P.676 se utilizó para fines de integración. Los perfiles de altitud de la temperatura, presión y densidad de vapor de agua como se define en la Recomendación UIT-R P.835 se han utilizado para calcular las pérdidas. En razón que la anchura de banda de cada banda de frecuencia atribuida a los servicios pasivos es relativamente estrecha, el centro de la banda se utilizó como frecuencia representativa, suponiendo que la atenuación es casi constante sobre cada banda. Se llevó a cabo una aproximación para  $0 \leq h \leq 3$  km y  $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ . Algunas de las fórmulas enumeradas aparecen en las Recomendaciones UIT-R SF.1395 y UIT-R F.1404, pero se incluyen en este documento por razones de integridad.

Si el trayecto de la interferencia vincula a dos estaciones espaciales, la atenuación de la absorción atmosférica se debe considerar como 0 dB.

**Banda de frecuencias 1 400-1 427 MHz**

$$A_L(h, \theta) = 1,59 / [1 + 0,6294 \theta + h (0,2258 + 0,1220 \theta)] \quad (1a)$$

$$A_M(h, \theta) = 1,89 / [1 + 0,6813 \theta + h (0,2828 + 0,1580 \theta)] \quad (1b)$$

$$A_H(h, \theta) = 2,09 / [1 + 0,7106 \theta + h (0,3057 + 0,1718 \theta)] \quad (1c)$$

**Banda de frecuencias 1 610,6-1 613,8 MHz**

$$A_L(h, \theta) = 1,63 / [1 + 0,6348 \theta + h (0,2323 + 0,1250 \theta)] \quad (2a)$$

$$A_M(h, \theta) = 1,95 / [1 + 0,6870 \theta + h (0,2908 + 0,1621 \theta)] \quad (2b)$$

$$A_H(h, \theta) = 2,16 / [1 + 0,7172 \theta + h (0,3148 + 0,1767 \theta)] \quad (2c)$$

**Banda de frecuencias 2 690-2 700 MHz**

$$A_L(h, \theta) = 1,78 / [1 + 0,6527 \theta + h (0,2552 + 0,1355 \theta)] \quad (3a)$$

$$A_M(h, \theta) = 2,11 / [1 + 0,7022 \theta + h (0,3123 + 0,1730 \theta)] \quad (3b)$$

$$A_H(h, \theta) = 2,33 / [1 + 0,7331 \theta + h (0,3371 + 0,1881 \theta)] \quad (3c)$$

**Banda de frecuencias 10,6-10,7 GHz**

$$A_L(h, \theta) = 3,38 / [1 + 0,8346 \theta + h (0,2690 + 0,2738 \theta) + 0,09948 h^2] \quad (4a)$$

$$A_M(h, \theta) = 3,00 / [1 + 0,7507 \theta + h (0,3983 + 0,2147 \theta)] \quad (4b)$$

$$A_H(h, \theta) = 2,97 / [1 + 0,7476 \theta + h (0,3734 + 0,2072 \theta)] \quad (4c)$$

**Banda de frecuencias 21,2-21,4 GHz**

$$A_L(h, \theta) = 39,24 / [1 + 0,8450 \theta + 0,06450 \theta^2 - 0,002107 \theta^3 + 0,1657 \times 10^{-4} \theta^4 + h (0,2902 + 0,3773 \theta) + h^2 (0,09362 + 0,1667 \theta) + 0,03977 h^3] \quad (5a)$$

$$A_M(h, \theta) = 17,15 / [1 + 0,8101 \theta + 0,02691 \theta^2 + h (0,2374 + 0,2727 \theta) + h^2 (0,1157 + 0,08487 \theta)] \quad (5b)$$

$$A_H(h, \theta) = 9,87 / [1 + 0,6239 \theta + 0,04358 \theta^2 + h (0,07017 + 0,3633 \theta) + 0,1166 h^2] \quad (5c)$$

**Banda de frecuencias 22,21-22,5 GHz**

$$A_L(h, \theta) = 47,63 / [1 + 0,7826 \theta + 0,1060 \theta^2 - 0,009088 \theta^3 + 0,0002975 \theta^4 - 0,3991 \times 10^{-5} \theta^5 + 0,1853 \times 10^{-7} \theta^6 + h (0,2959 + 0,3016 \theta) + h^2 (0,06740 + 0,1773 \theta) + 0,03795 h^3] \quad (6a)$$

$$A_M(h, \theta) = 20,26 / [1 + 0,7215 \theta + 0,05983 \theta^2 - 0,001961 \theta^3 + 0,1555 \times 10^{-4} \theta^4 + h (0,2047 + 0,2338 \theta) + h^2 (0,1088 + 0,08897 \theta)] \quad (6b)$$

$$A_H(h, \theta) = 11,48 / [1 + 0,6065 \theta + 0,04355 \theta^2 + h (0,05653 + 0,3470 \theta) + 0,1096 h^2] \quad (6c)$$

**Banda de frecuencias 23,6-24,0 GHz**

$$A_L(h, \theta) = 41,78 / [1 + 0,8705 \theta + 0,06699 \theta^2 - 0,002203 \theta^3 + 0,1743 \times 10^{-4} \theta^4 + h (0,3132 + 0,4079 \theta) + h^2 (0,09824 + 0,1906 \theta) + 0,04830 h^3] \quad (7a)$$

$$A_M(h, \theta) = 18,42 / [1 + 0,8311 \theta + 0,02870 \theta^2 + h (0,2517 + 0,2995 \theta) + h^2 (0,1330 + 0,09409 \theta)] \quad (7b)$$

$$A_H(h, \theta) = 10,73 / [1 + 0,6427 \theta + 0,04402 \theta^2 + h (0,08210 + 0,3840 \theta) + 0,1273 h^2] \quad (7c)$$

**Banda de frecuencias 31,3-31,5 GHz**

$$A_L(h, \theta) = 19,52 / [1 + 0,9294 \theta + 0,02495 \theta^2 + h (0,3409 + 0,4368 \theta) + h^2 (0,1938 + 0,07732 \theta)] \quad (8a)$$

$$A_M(h, \theta) = 11,89 / [1 + 0,8124 \theta + 0,01982 \theta^2 + h (0,2738 + 0,3876 \theta) + 0,1181 h^2] \quad (8b)$$

$$A_H(h, \theta) = 9,70 / [1 + 0,8149 \theta + h (0,2388 + 0,2699 \theta) + 0,08830 h^2] \quad (8c)$$

**Banda de frecuencias 42,5-43,5 GHz**

$$A_L(h, \theta) = 33,54 / [1 + 0,7690 \theta + 0,04472 \theta^2 - 0,001416 \theta^3 + 0,1072 \times 10^{-4} \theta^4 + h (0,2675 + 0,3897 \theta) + 0,1253 h^2] \quad (9a)$$

$$A_M(h, \theta) = 26,58 / [1 + 0,6859 \theta + 0,04579 \theta^2 - 0,001451 \theta^3 + 0,1108 \times 10^{-4} \theta^4 + h (0,2418 + 0,3068 \theta) + 0,07381 h^2] \quad (9b)$$

$$A_H(h, \theta) = 25,01 / [1 + 0,6552 \theta + 0,04585 \theta^2 - 0,001450 \theta^3 + 0,1109 \times 10^{-4} \theta^4 + h (0,2219 + 0,2734 \theta) + 0,06186 h^2] \quad (9c)$$

**Banda de frecuencias 50,2-50,4 GHz**

$$A_L(h, \theta) = 91,86 / [1 + 0,65929 \theta + 0,055368 \theta^2 - 0,0039239 \theta^3 + 0,00011109 \theta^4 - 0,13407 \times 10^{-5} \theta^5 + 0,57041 \times 10^{-8} \theta^6 + h (0,24505 + 0,18790 \theta + 0,0016855 \theta^2) + h^2 (0,055349 + 0,026631 \theta)] \quad (10a)$$

$$A_M(h, \theta) = 90,25 / [1 + 0,64981 \theta + 0,059840 \theta^2 - 0,0043911 \theta^3 + 0,00012737 \theta^4 - 0,15609 \times 10^{-5} \theta^5 + 0,67150 \times 10^{-8} \theta^6 + h (0,23568 + 0,17708 \theta + 0,0022801 \theta^2) + h^2 (0,052633 + 0,033709 \theta)] \quad (10b)$$

$$A_H(h, \theta) = 93,17 / [1 + 0,65343 \theta + 0,061286 \theta^2 - 0,0045343 \theta^3 + 0,00013177 \theta^4 - 0,16120 \times 10^{-5} \theta^5 + 0,69120 \times 10^{-8} \theta^6 + h (0,24860 + 0,16341 \theta + 0,0027123 \theta^2) + h^2 (0,047282 + 0,035113 \theta)] \quad (10c)$$

**Banda de frecuencias 52,6-52,8 GHz**

$$A_L(h, \theta) = 243,6 / [1 + 0,61184 \theta + 0,035912 \theta^2 - 0,0018265 \theta^3 + 0,40052 \times 10^{-4} \theta^4 - 0,41231 \times 10^{-6} \theta^5 + 0,15890 \times 10^{-8} \theta^6 + h (0,16591 + 0,16486 \theta + 0,0016442 \theta^2 - 0,26154 \times 10^{-4} \theta^3) + h^2 (0,045789 + 0,022061 \theta)] \quad (11a)$$

$$A_M(h, \theta) = 243,8 / [1 + 0,63597 \theta + 0,037426 \theta^2 - 0,0019080 \theta^3 + 0,41762 \times 10^{-4} \theta^4 - 0,42823 \times 10^{-6} \theta^5 + 0,16431 \times 10^{-8} \theta^6 + h (0,17376 + 0,18234 \theta + 0,0018276 \theta^2 - 0,29487 \times 10^{-4} \theta^3) + h^2 (0,053692 + 0,028670 \theta)] \quad (11b)$$

$$A_H(h, \theta) = 249,9 / [1 + 0,64303 \theta + 0,038850 \theta^2 - 0,0019901 \theta^3 + 0,43669 \times 10^{-4} \theta^4 - 0,44802 \times 10^{-6} \theta^5 + 0,17189 \times 10^{-8} \theta^6 + h (0,18620 + 0,18810 \theta + 0,0019179 \theta^2 - 0,31541 \times 10^{-4} \theta^3) + h^2 (0,052809 + 0,030444 \theta)] \quad (11c)$$

NOTA 1 – Si la atenuación de la propagación se calcula e incluye efectivamente en cada análisis de compatibilidad cuando no fue considerada la atenuación de propagación, es posible que los resultados del análisis de compatibilidad varíen ligeramente. Los cálculos de la atenuación de la propagación en el sentido Tierra-espacio no son, por supuesto, necesarios entre dos estaciones terrenas y entre dos estaciones espaciales, pero sí necesarios entre estaciones terrenas y espaciales. En este último caso, el efecto de la atenuación es ligeramente menor para ángulos de elevación altos, pero el efecto es relativamente grande para ángulos de elevación bajos. Para este último será necesario efectuar ulteriores estudios.

#### 4 Nota sobre el coeficiente de reflexión

Una forma de potencia interferente dentro de las bandas del SETS pasivo surge de emisiones no deseadas de los enlaces descendentes del SFS que se reflejan hacia arriba desde la superficie de la Tierra hacia un sensor del SETS cercano. Para frecuencias entre 10 y 20 GHz, esta energía reflejada tiene un importante componente de variación en el tiempo. Las reflexiones mediante este modo contribuyen a la interferencia para el caso más desfavorable que se puede esperar. Existen también otros modos de reflexión. Éstos se producirían con mayor frecuencia pero a un nivel inferior. La Recomendación UIT-R SA.1449 describe un modelo para el coeficiente de reflexión que puede ser utilizado como base para el desarrollo de un modelo de coeficiente de reflexión aplicable a estos estudios. En el UIT-R se proyectan nuevos trabajos para elaborar un modelo de dispersión biestática de microondas destinado a evaluar la interferencia utilizando este método.

### Anexo 2

#### **Análisis de compatibilidad entre sistemas del SRA que funcionan en la banda 1 400-1 427 MHz y sistemas del servicio de radiodifusión por satélite (SRS)(espacio-tierra) que funcionan en la banda 1 452-1 492 MHz**

#### 1 SRA

##### 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.

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

##### 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 1400-1427 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).

### 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 1400-1427 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.

### 1.4 Características operacionales

La banda 1400-1427 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 hacen 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 4096) 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.



## 2 SRS

### 2.1 Banda de transmisión atribuida

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

### 2.2 Aplicación

Transmisiones de radiodifusión sonora solamente.

### 2.3 Niveles basados en disposiciones reglamentarias

No determinados.

### 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 3

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.

## 3 Umbral de compatibilidad

Véase el § 1.3.

## 4 Evaluación de la interferencia

### 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 § 4.3.1.

### 4.2 Cálculo del nivel de interferencia

Véase el § 4.3.

### 4.3 Valores obtenidos

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

#### 4.3.1 Observaciones de raya espectral

Conforme a la anchura de banda necesaria que figura en el Cuadro 3, 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 4.

CUADRO 4

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 5.

CUADRO 5

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:

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

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

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

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,  $(3)_{\text{en banda}} = (3)_{\text{fuera de banda}}$  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:

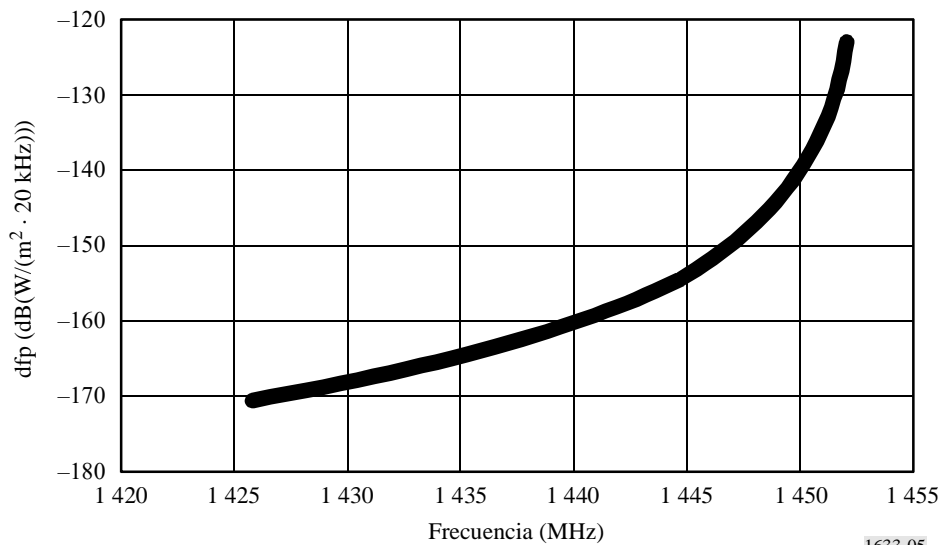
$$-171,4 + 10 \log ((20/4)) = -164,4 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$$

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 5  
Nivel de dfp integrado sobre 20 kHz en función de la frecuencia  
Sistema digital A



1633-05

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).

### 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 § 4.3.1, es probable que se cumplan los criterios de protección de la VLBI.

### 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 3, 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.

## 5 Técnicas de reducción de la interferencia

### 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.

### 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.

### 5.3 Repercusiones posibles

#### 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.

#### 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.

## 6 Resultados de los estudios

### 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 § 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.

### 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.

### Anexo 3

## Análisis de compatibilidad entre sistemas del SETS (pasivo) que funcionan en la banda 1 400-1 427 MHz y sistemas del servicio de radiolocalización que funcionan en la banda 1 350-1 400 MHz

### 1 SETS (pasivo)

#### 1.1 Banda atribuida

Este Anexo presenta un estudio de cada banda entre el servicio de radiolocalización atribuido en la banda 1 350-1 400 MHz adyacente a la banda 1 400-1 427 MHz atribuida al SETS (pasivo). Se debe señalar que conforme al número 5.340 del RR, toda emisión está prohibida en la banda 1 400-1 427 Hz. Las atribuciones se muestran en el Cuadro 6.

CUADRO 6

#### Atribuciones en bandas adyacentes

Servicios en la banda atribuida inferior	Banda pasiva	Servicios en la banda atribuida superior
1 350-1 400 MHz	1 400-1 427 MHz	1 427-1 429 MHz
FIJO (Región 1) MÓVIL (Región 1) RADIOLOCALIZACIÓN (Todas) 5.399	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (pasivo) RADIOASTRONOMÍA INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo) 5.340	OPERACIONES ESPACIALES (Tierra-espacio) FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico

#### 1.2 Aplicación

La NASA/JPL está desarrollando actualmente un instrumento para medir la humedad del suelo (misión HYDROS), que recopilará mediciones en toda la banda pasiva de ondas decimétricas en estudio (1 400 a 1 427 MHz). La agencia espacial europea (ESA) está elaborando un instrumento separado (misión SMOS), que utiliza un método tecnológico diferente, para la medición de la humedad del suelo y la salinidad del mar. Las misiones HYDROS y SMOS son complementarias; ambas requieren mediciones radiométricas de alta precisión en forma global y continua en el tiempo. Las frecuencias cercanas a 1 400 MHz son ideales para medir la humedad del suelo y también para la medición de la salinidad de la superficie y la biomasa de la vegetación. La humedad del suelo es una variable fundamental en el ciclo hidrológico con importante influencia sobre la evaporación, infiltración y escurrimiento. En la zona vadosa, la humedad del suelo gobierna la tasa de captación de agua por la vegetación. La salinidad de la superficie del mar influye sobre la circulación termohalina profunda y el transporte de calor meridional. Las variaciones en la salinidad tienen influencia sobre las dinámicas de la superficie cercana de océanos tropicales. En la actualidad, no existe la posibilidad de medir la humedad del suelo y la salinidad de la superficie del mar directamente sobre una base global, de modo tal que es esencial la protección de esta banda pasiva.

### 1.3 Criterios de protección requeridos

Las tres Recomendaciones siguientes establecen los criterios de interferencia para los sensores pasivos.

- Recomendación UIT-R SA.515 – Bandas de frecuencias y anchuras de banda utilizadas para la detección pasiva por satélite.
- Recomendación UIT-R SA.1028 – Criterios de calidad para la teledetección pasiva por satélite.
- Recomendación UIT-R SA.1029 – Criterios de interferencia para la teledetección pasiva por satélite.

Hay dos criterios para esta banda. El primero de ellos es un umbral de potencia de  $-171$  dBW en 27 MHz. Este es el máximo nivel de interferencia de todas las fuentes.

Segundo, hay un límite de frecuencia de ocurrencia de umbral excedido. El número de células de medición perdidas debido al rebasamiento del umbral no debe exceder del 5% en casos en que los eventos de interferencia sean aleatorios, y del 1% cuando los eventos de interferencia son sistemáticos. Teniendo en cuenta que el servicio de radiolocalización no es aleatorio (sitios fijos y 100% de tiempo operacional), se aplica el criterio de 1%.

### 1.4 Características operacionales

CUADRO 7  
Características del SETS

Parámetro	SMOS	HYDROS
Máxima ganancia de antena del SETS (dBi)	9	35
Altitud del SETS (km)	757	670
Abertura de la antena de $-3$ dB del SETS (grados)	71,6	2,6
Dirección de puntería del SETS (grados)	25 fuera del nadir (fijo)	40 fuera del nadir (rotación 6 rpm)
Anchura de barrido (km)	620	45

FIGURA 6

Diagrama de antena de SMOS

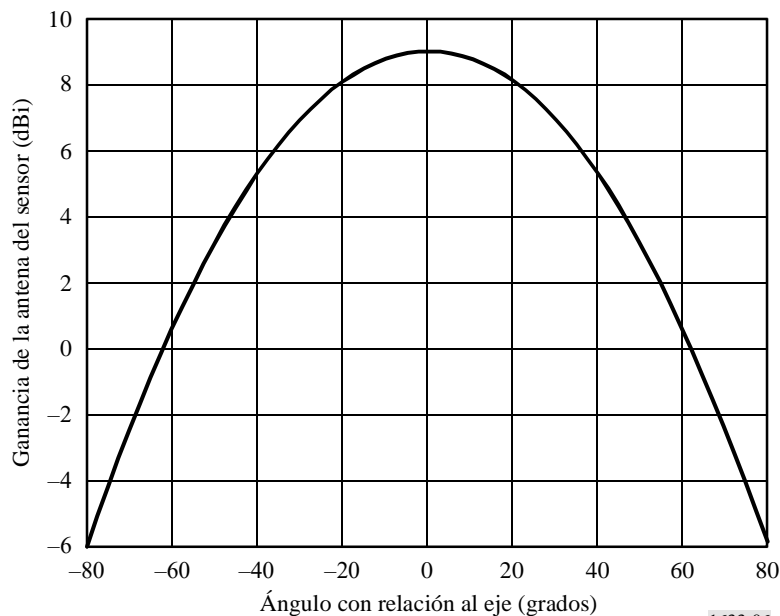
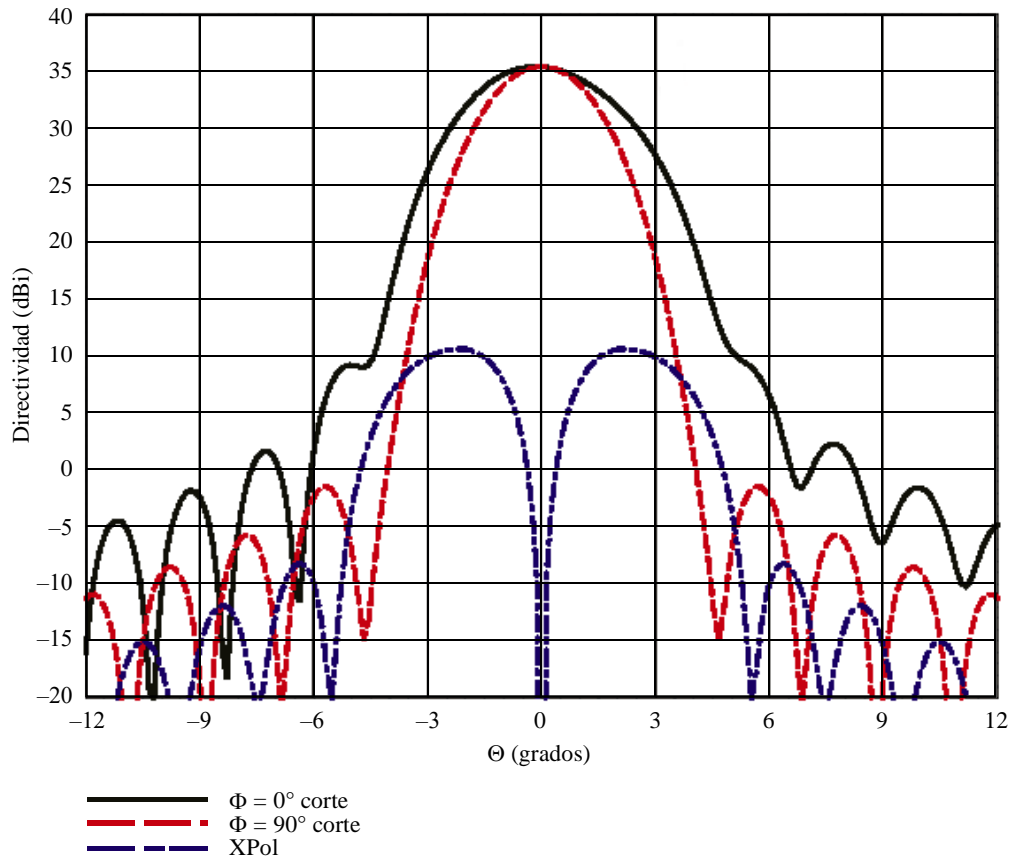


FIGURA 7

Diagrama de antena de HYDROS



$F = 1,414$  GHz,  $R[D = 6, H = 6, F = 3,6]$  m,  $CH[R = 0,25, r = 0,075, s = 0,15]$

1633-07

## 2 Servicio de radiolocalización

### 2.1 Banda de transmisión atribuida

La banda de servicio activa es la banda de radiolocalización 1 350-1 400 MHz.

### 2.2 Aplicación

El conjunto de características de radar que se tiene en cuenta en este análisis de compatibilidad se deriva de la Recomendación UIT-R M.1463 – Características y criterios de protección para los radares que funcionan en el servicio de radiodeterminación en la banda de frecuencias 1 215-1 400 MHz.

### 2.3 Niveles basados en disposiciones y Recomendaciones UIT-R

#### 2.3.1 Número 1.153 del RR

El RR de la UIT define la *anchura de banda ocupada* como sigue:

«**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 superior de la anchura de banda ocupada estuviera en el límite superior de la atribución de radiolocalización o debajo del mismo, la potencia total de las emisiones no deseadas en frecuencias por debajo de la anchura de banda atribuida no debe 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 de la banda del SETS, y por encima de ella, no será mayor que  $P-23$  dB.

### 2.3.2 Recomendación UIT-R SM.1541

En el Anexo 8 de la Recomendación UIT-R SM.1541 se especifica una máscara genérica para emisiones fuera de banda en radares primarios. Esta máscara se repite aquí como una función segmentada. La variable dependiente  $F$  es la separación de frecuencia del centro de la banda como porcentaje de la anchura de banda de  $-40$  dB del radar, como se ilustra en la Fig. 8.

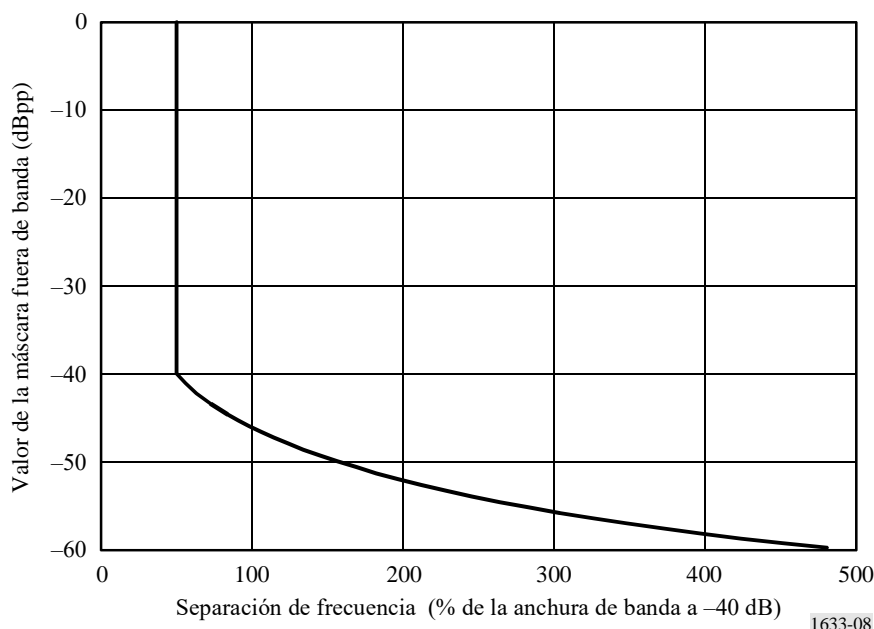
$F$ : separación de frecuencia del centro de la banda como porcentaje de la anchura de banda de  $-40$  dB del radar.

dBpp: decibelios relativos al valor máximo de la potencia de cresta, medido con la anchura de banda de referencia dentro de la anchura de banda ocupada.

Proporciona la atenuación mínima para la potencia de emisión fuera de banda, dentro de una anchura de banda de referencia, relativa a la potencia de cresta dentro de la banda.

FIGURA 8

Máscara fuera de banda para radares primarios



## 2.4 Características del transmisor

Las características del transmisor se describen en el Cuadro 8. Este Cuadro ha sido extraído de la Recomendación UIT-R M.1463.

## 2.5 Características operacionales

Véase el Cuadro 8.

## 2.6 Nivel transmitido dentro de la banda

Véase el Cuadro 8.

CUADRO 8

### Características de diversos sistemas de radiodeterminación en la banda 1 215-1 400 MHz

Parámetro	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Potencia de cresta entregada a la antena (dBm)	97	80	76,5	80
Duración del impulso ( $\mu$ s)	2	88,8; 58,8 <sup>(1)</sup>	0,4; 102,4; 409,6 <sup>(2)</sup>	39, secuencia única 26 y 13, frecuencia doble <sup>(3)</sup>
Frecuencia de repetición de impulsos (pps)	310-380 escalonada	291,5 ó 312,5 promedio	200-272 a larga distancia 400-554 a corta distancia	774 promedio
Anchura de banda para impulsos modulados en frecuencia (comprimidos)	No se aplica	770 kHz para ambas anchuras de impulso	2,5 MHz para 102,4 $\mu$ s 625 kHz para 409,6 $\mu$ s	No se aplica
Anchura del subimpulso codificado en fase ( $\mu$ s)	No se aplica			1
Relación de compresión	No se aplica	68,3:1 y 45,2:1	256:1 para ambos impulsos	
Anchura de banda de emisión en RF (3 dB) (MHz)	0,5	1,09	2,2; 2,3; 0,58	1
Dispositivo de salida	Klystron	Transistor		Amplificador de campo transversal
Tipo de antena	Reflector con alimentador de bocina	Reflector de haz apilado	Sistema en fase giratorio	Cilindro parabólico
Polarización de la antena	Horizontal, vertical, circular levógira (LHCP), circular dextrógira (RHCP)	Vertical, circular	Horizontal	Vertical
Ganancia máxima de la antena (dBi)	34,5, transmisión 33,5, recepción	32,4-34,2, transmisión 31,7-38,9, recepción	38,9, transmisión 38,2, recepción	32,5
Abertura del haz de la antena en elevación (grados)	3,6 conformado a 44	3,63-5,61, transmisión 2,02-8,79, recepción	1,3	4,5 conformado a 40
Abertura del haz de la antena en acimut (grados)	1,2	1,4	3,2	3,0

CUADRO 8 (Fin)

Parámetro	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Características de exploración horizontal de la antena (r.p.m.)	360° mecánica a 5 r.p.m.		360° mecánica a 6 rpm para larga distancia y 12 r.p.m. para corta distancia	360° mecánica a 6, 12 ó 15 r.p.m.
Características de exploración vertical de la antena (r.p.m.)	No se aplica	-7° a □30° en 12,8 ó 13,7 ms	-1° a □19° en 73,5 ms	No se aplica
Anchura de banda de FI del receptor	780 kHz	0,69 MHz	4,4 a 6,4 MHz	1,2 MHz
Factor de ruido del receptor (dB)	2		4,7	3,5
Tipo de plataforma	Fija		Transportable	
Porcentaje de tiempo de funcionamiento de sistema (%)	100			

- (1) El radar tiene 44 pares de canales de RF, seleccionándose uno de los 44 pares en el modo normal. La onda transmitida consiste en un impulso de 88,8  $\mu$ s a frecuencia  $f_1$ , seguido de un impulso de 58,8  $\mu$ s a frecuencia  $f_2$ . La separación entre  $f_1$  y  $f_2$  es de 82,854 MHz.
- (2) El radar tiene 20 canales de RF en incrementos de 8,96 MHz. El grupo de ondas transmitidas consiste en un impulso P0 de 0,4  $\mu$ s (opcional) seguido de un impulso con modulación de frecuencia lineal de 102,4  $\mu$ s (si el impulso P0 de 0,4  $\mu$ s no se transmite) y fluctuación de 2,5 MHz que puede ir seguido de uno a cuatro impulsos con modulación de frecuencia lineal de 409,6  $\mu$ s para largo alcance, estando modulados cada uno de ellos con una fluctuación de 625 kHz y transmitiéndose en portadoras distintas separadas 3,75 MHz. El modo normal de funcionamiento emplea la versatilidad de frecuencias mediante la que se seleccionan frecuencias individuales de cada grupo de ondas de forma pseudoaleatoria entre uno de los 20 posibles canales de RF de la banda 1 215-1 400 MHz.
- (2) El radar tiene capacidad para funcionar con frecuencia única o doble. Los canales dobles de RF están separados 60 MHz. En el modo de canal único se utiliza una anchura de impulso de 39  $\mu$ s. En el modo de canal doble, el impulso de 26  $\mu$ s se transmite a la frecuencia  $f$ , seguido de un impulso de 13  $\mu$ s transmitido a  $f + 60$  MHz.

### 3 Umbral de compatibilidad

El umbral de interferencia del servicio pasivo conforme a la Recomendación UIT-R SA.1029 es -171 dBW en 27 MHz para operaciones con sensores cercanas a 1 400 MHz.

Es posible recibir interferencia simultáneamente de diversas fuentes de servicios múltiples. El valor indicado en la Recomendación UIT-R SA.1029 (para una banda específica) es el nivel de interferencia máximo admisible para el sensor pasivo.

Este Anexo proporciona un análisis de la interferencia generada por un sólo servicio activo.

Es necesario efectuar mayores estudios para tratar las repercusiones de los múltiples servicios activos que funcionan por encima y debajo de la banda pasiva.

## 4 Evaluación de la interferencia

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

El primer paso es analizar el caso de la interferencia cocanal. Del mismo, se halla la atenuación requerida para satisfacer los criterios de protección del SETS (pasivo). El segundo paso es calcular la atenuación cuando la banda del SETS (pasivo) cae justo fuera de la anchura de banda de  $-40$  dB del radar.

### 4.2 Cálculo del nivel de interferencia

#### 4.2.1 Atenuación requerida en la banda pasiva

La atenuación requerida para los cuatro sistemas de radiolocalización se indica en el Cuadro 9.

CUADRO 9  
Análisis de compatibilidad con el radar

	Sistema 1		Sistema 2		Sistema 3		Sistema 4	
Potencia de cresta (dBW)	67		50		46,5		50	
Ganancia de la antena del radar (dBi)	34,5		34,2		38,9		32,5	
Margen del ciclo de trabajo (dB)	-31,2		-15,7		-10,9		-15,2	
Pérdida en el espacio libre de SMOS/HYDROS (dB)	152,9	154,4	152,9	154,4	152,9	154,4	152,9	154,4
Ganancia de la antena del sensor de SMOS/HYDROS (dBi)	9	35	9	35	9	35	9	35
Potencia recibida cocanal (dBW)	-73,6		-75,4		-69,4		-76,6	
Umbral de interferencia (dBW)	-171		-171		-171		-171	
Atenuación requerida (dB)	97,4	121,9	95,6	120,1	101,6	126,1	94,4	118,9

Por supuesto, estos valores surgen de una situación para el caso más desfavorable. Pero aun cuando la ganancia de antena del radar fuera de 0 dBi, la atenuación requerida sería de 62,9; 61,4; 62,7 y 61,9 dB para los Sistemas 1-4, respectivamente, para el SMOS, y de 87,4; 85,9; 87,2 y 86,4 para los Sistemas 1-4, respectivamente, para la misión HYDROS.

#### 4.2.2 Cálculo de las emisiones no deseadas de los Sistemas de radar 1 y 2

En este análisis se supone que la anchura de banda de  $-40$  dB del radar está ubicada dentro de la banda 1350-1400 MHz y que la banda del SETS está ubicada a partir del 50% del valor de la anchura de banda de  $-40$  dB como se ilustra en la Fig. 8.

Se han calculado los niveles de atenuación para los Sistemas 1 y 2. Esto se lleva a cabo utilizando la máscara y las ecuaciones que figuran en el Anexo 8 de la Recomendación UIT-R SM.1541. Para efectuar el cálculo de la anchura de banda necesaria y de la anchura de banda de  $-40$  dB es indispensable conocer el tiempo de subida del impulso.

En relación con el tiempo de subida del impulso, el valor de este parámetro variará en función del tipo de radar, y, por tanto, no es posible asignar un solo valor a este parámetro para radares en la banda 1350-1400 MHz. No obstante, puede ser útil un valor de 50 ns como aproximación razonable para sistemas en esta banda.

En consecuencia, este parámetro ha sido estimado en 50 ns para ambos Sistemas. Para el Sistema 1, esto dio por resultado una  $B_N$  de 3,18 MHz y una  $B_{-40}$  de 19,6 MHz. Para el Sistema 2, la  $B_N$  es de 2,39 MHz y  $B_{-40}$  es de 8,68 MHz.

La banda del SETS (pasivo) de 1 400-1 427 MHz se extiende del 50% al 187,75% en la Fig. 7 para el Sistema 1, y del 50% al 361% para el Sistema 2. La potencia de la emisión no deseada que cae en la anchura de banda de referencia de 27 MHz es de  $-45,8$  dBpp para el Sistema 1 y de  $-48,7$  dBpp para el Sistema 2.

### 4.3 Valores obtenidos

Para la misión SMOS, los márgenes resultantes para un nivel de lóbulo lateral de radar de 0 dBi son 17,1 y 12,7 dB para los Sistemas 1 y 2, respectivamente (para las ganancias máximas de la antena de radar el análisis da por resultados 51,6 y 46,9 dB).

Para la misión HYDROS, los márgenes resultantes para un nivel de lóbulo lateral de radar de 0 dBi son 41,6 y 37,2 dB para los sistemas 1 y 2, respectivamente (para ganancias máximas de antena de radar el análisis da por resultado 76,1 y 71,4 dB).

Obviamente, la diferencia entre los valores obtenidos para los dos instrumentos del SETS (pasivo) se puede explicar por las distintas ganancias máximas de antena. Sin embargo, las huellas instantáneas de la antena de los dos sensores contrarrestan esto de manera que para la misión SMOS, pues tiene mayor barrido de antena (pero menor ganancia de antena), la probabilidad de ser interferido a una distancia dada es mayor.

Este estudio ha planteado la hipótesis que la anchura de banda de  $-40$  dB está incluida en su totalidad dentro de la banda de radiolocalización, lo cual no es necesariamente válido para todos los sistemas. Además, una administración ha efectuado mediciones detalladas de emisiones con una serie de distintos modelos de radares en la banda 1 350-1 400 MHz, y ha medido niveles de emisión con esos radares a través de bandas adyacentes. Estas mediciones han indicado que, de conformidad con el RR, los radares ocupan la anchura de banda necesaria en el extremo de banda de 1 400 MHz. Se ha encontrado que los niveles medidos de la emisión de cresta son de  $-20$  dB aproximadamente en 1 400 MHz medidos con una anchura de banda de 1 MHz, referido al máximo de la emisión de radar fundamental dentro de la banda. Las mismas mediciones indicaron que un nivel de emisión de  $-40$  dB se obtiene en frecuencias cercanas a 1 420 MHz, medidas con una anchura de banda de 1 MHz.

## 5 Técnicas de mitigación de la interferencia

### 5.1 SETS (pasivo)

Debido a la estrecha banda atribuida de 27 MHz, no se pueden utilizar técnicas de reducción de la interferencia tales como una banda de guarda efectiva para la banda del SETS (pasivo).

### 5.2 Servicio de radiolocalización

Desde el punto de vista práctico se pueden utilizar técnicas de mitigación para sistemas que están corrientemente en uso. La mayoría de los radares utilizados en la gama de 1 215-1 400 MHz presentan agilidad de frecuencia y tienen anchuras de banda de emisión de RF relativamente pequeñas comparadas con la banda atribuida. Es necesario investigar la posibilidad de evitar emisiones en la parte superior del espectro, con lo cual se podría resolver la discrepancia. Por ejemplo, es posible que el análisis de compatibilidad diera por resultado un escenario positivo cuando el canal del radar más cercano con respecto al extremo existente de la banda pasiva tiene una separación de frecuencia de 2 a 2,5 veces aproximadamente la anchura de banda de  $-40$  dB de los sistemas de radiolocalización.

### **5.3 Repercusiones posibles**

#### **5.3.1 SETS (pasivo)**

Teniendo en cuenta que en esta banda específica no se han identificado técnicas de reducción de interferencia para el SETS (pasivo), la posible repercusión de estas técnicas de mitigación será nula.

#### **5.3.2 Servicio de radiolocalización**

Sería necesario efectuar una mayor investigación sobre la viabilidad de mantener la anchura de banda de radar de  $-40$  dB completa dentro de la banda de radiolocalización combinada con una separación de frecuencia adicional o bien un límite de potencia de cresta inferior (es decir, los futuros radares para la banda 1 350-1 400 MHz pueden tener diferentes parámetros).

## **6 Resultados de los estudios**

### **6.1 Resumen**

En este análisis de compatibilidad se ha calculado la posible interferencia de sistemas de radiolocalización en la banda adyacente inferior de 1 400-1 427 MHz atribuida al SETS (pasivo).

### **6.2 Conclusiones**

Para el sensor pasivo de la misión SMOS, este análisis de compatibilidad da por resultado una discrepancia de 17,1 dB y 12,7 dB para un Sistema de los Sistemas de radiolocalización 1 y 2, respectivamente, suponiendo una ganancia de lóbulo lateral de la antena de 0 dBi. Para el sensor pasivo de la misión HYDROS, esto da por resultado una discrepancia de 41,6 dB y 37,2 dB para un Sistema de los Sistemas de radiolocalización 1 y 2, respectivamente, suponiendo una ganancia de lóbulo lateral de antena de 0 dBi.

Esta evaluación de compatibilidad ha empleado hipótesis que no son rigurosas y no son válidas para todos los sistemas de radiolocalización.

Es probable que el análisis de compatibilidad dé por resultado un análisis positivo cuando el canal de radar más próximo con respecto al borde existente de la banda pasiva tiene una separación de frecuencia de 2 a 2,5 veces aproximadamente la anchura de banda de  $-40$  dB de los sistemas de radiolocalización.

## **Anexo 4**

### **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**

## **1 SRA**

### **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 Anexo sólo trata del caso de la radioastronomía.

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

## 1.2 Tipo de observaciones

La banda 1400-1427 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 1420,406 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 1400-1427 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 1400-1427 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).

## 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 1400-1427 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.

#### 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 4096) 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.

## 2 Sistemas móviles por satélite

### 2.1 Banda de transmisión atribuida

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

### 2.2 Aplicación

Servicio móvil por satélite.

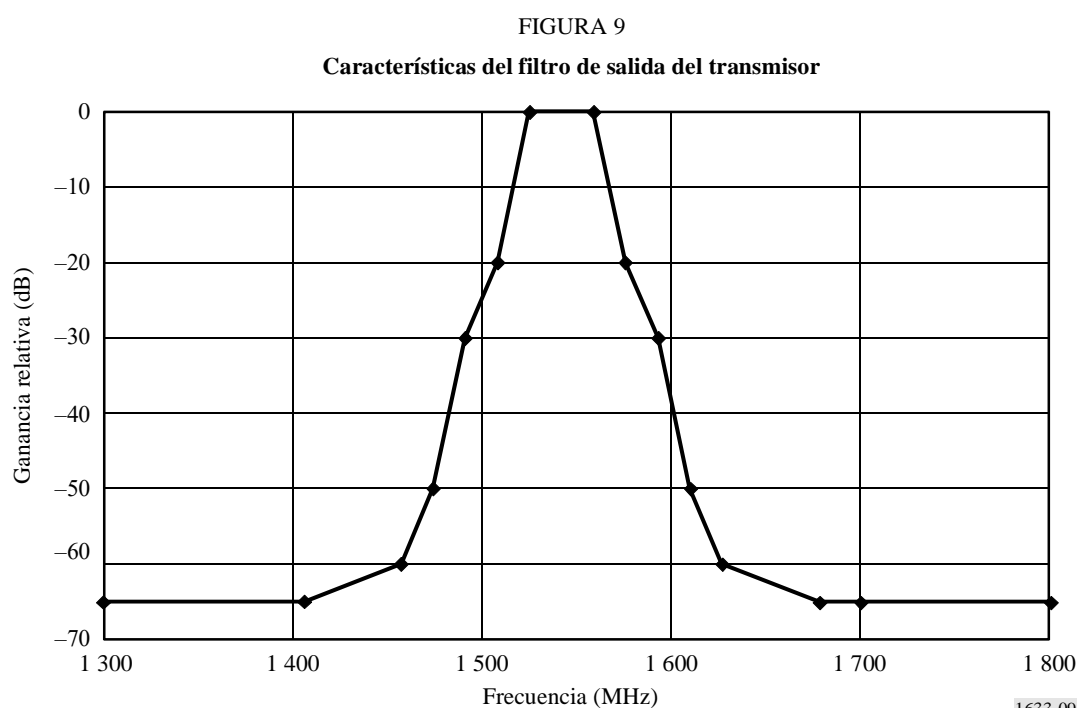
### 2.3 Niveles basados en disposiciones reglamentarias

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.

### 2.4 Características del transmisor

La ganancia de antena es de 41 dBi.

En la Fig. 9 se muestran las características del filtro de salida del transmisor.



## 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.

## 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.

## 3 Umbral de compatibilidad

Véase el § 1.3.

## 4 Evaluación de la interferencia

### 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.

### 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 10 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 10

**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

### 4.3 Valores obtenidos

El valor es de  $-202 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  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:  $-163 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en una anchura de banda de 27 MHz;
- para observaciones de raya espectral con antena parabólica simple:  $-195 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  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.

## 5 Técnicas de mitigación de la interferencia

### 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.

### 5.2 SMS

A fin de mejorar los niveles que figuran en el Cuadro 10, 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.

### **5.3 Repercusiones posibles**

Las técnicas de mitigación indicadas en el § 5.2 se consideran técnicamente viables para sistemas OSG.

#### **5.3.1 SMS**

Las técnicas de mitigación indicadas en el § 5.2 se consideran técnicamente viables para sistemas OSG.

## **6 Resultados de los estudios**

### **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 § 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 § 1.3.

### **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.

## **Anexo 5**

### **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**

## **1 SRA**

### **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.

### **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 ULBI.

### **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  $-194$  dB(W/m<sup>2</sup>). 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.

#### 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.

## **2 SRNS**

### **2.1 Banda de transmisión atribuida**

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

### **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.

### **2.3 Niveles basados en disposiciones reglamentarias**

No se determinaron niveles como parte de este estudio.

## **3 Umbral de compatibilidad**

Véase el § 1.3.

## **4 Evaluación de la interferencia**

### **4.1 Metodología utilizada para determinar el nivel de interferencia**

En el § 1.3 se indican las referencias a las Recomendaciones del UIT-R pertinentes con respecto a la metodología de la dfpe para sistemas no OSG.

### **4.2 Cálculo del nivel de interferencia**

Véase el § 2.3.

### **4.3 Valores obtenidos**

## **5 Métodos de reducción de la interferencia**

### **5.1 SRA**

Existen varios métodos, incluidos los que se describen más abajo, que se podrían considerar para reducir las emisiones no deseadas 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 elemento fundamental en este enfoque es reducir la radiación terrestre que ingresa a través de los lóbulos laterales lejanos. Esto conduce inevitablemente a un determinado aumento en los niveles de los lóbulos laterales cercanos. La experiencia ha demostrado que la mayoría de los radiotelescopios responden al tipo de máscara de la envolvente de los lóbulos laterales que figura en la Recomendación UIT-R SA.509 en la mayoría 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 frecuencias del SRA se puede identificar plena e inequívocamente en tiempo y/o frecuencia.

## 5.2 SRNS

Hay dos sistemas del SRNS que funcionan en la banda 1559-1610 MHz, las que utilizan modulación de espectro ensanchado. Ambos sistemas inician su operación sin filtrar sus operaciones, y se ha comunicado la introducción de interferencias en la banda 1610,6-1613,8 MHz por ambos sistemas a estaciones de radioastronomía.

Las emisiones no deseadas en la banda de 1610,6-1613,8 MHz por un sistema. Que funciona en frecuencias inferiores en la banda del SRNS, se mejoró para satisfacción de la comunidad de radioastronomía con la introducción de filtros en dichos satélites que fueron lanzados con posterioridad a la comunicación de la interferencia.

El otro sistema comenzó funcionando en la banda de 1610,6-1613,8 MHz, mientras que la atribución al SRA era aún a título secundario. A fin de mejorar la situación de interferencia en esta banda, se celebró un acuerdo entre el operador de satélite y el Comité Interuniones para la Atribución de Frecuencias a la Radioastronomía y la Ciencia Espacial (IUCAF), que representa la comunidad radioastronómica mundial. Este acuerdo contiene un método escalonado para satisfacer los criterios de protección del SRA después de algunos años. Se ha revisado el plan de disposición de canales y desplazado la transmisión de satélites a frecuencias por debajo de la banda 1610,6-1613,8 MHz. Conforme al referido acuerdo, se espera que el filtrado en generaciones subsiguientes de satélites supriman la emisión no deseada del sistema en la banda 1610,6-1613,8 MHz por debajo del umbral de interferencia de una sola parábola que figura en la Recomendación UIT-R RA.769.

## 5.3 Repercusiones posibles

### 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.

*Bloqueo en tiempo y/o frecuencia:* El bloqueo 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.

### 5.3.2 SRNS

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 aun 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. El perfeccionamiento en el diseño de filtros puede 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.



## **6 Resultados de los estudios**

### **6.1 Resumen**

En esta banda se pueden satisfacer los niveles de umbral para la interferencia perjudicial a las observaciones de radioastronomía (véase el § 1.3) por el servicio activo para el caso de VLBI y raya espectral con antena parabólica simple, cuando se tienen en cuenta los métodos de mitigación de la interferencia. En esta banda no se efectúan observaciones del continuum con antena parabólica simple.

### **6.2 Conclusiones**

Es posible que las técnicas de mitigación apropiadas que se proyectan para sistemas futuros puedan permitir observaciones de VLBI y raya espectral en esta banda.

## **Anexo 6**

### **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**

## **1 SRA**

### **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.

### **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 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 4096) 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.

### 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  $-194$  dB(W/m<sup>2</sup>). 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.

#### 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.

## 2 SMS

### 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.

## 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.

## 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».

## 3 Umbral de compatibilidad

Véase el § 1.3.

## 4 Evaluación de la interferencia

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

En el § 1.3 se indican las referencias a las Recomendaciones UIT-R pertinentes que se ocupan de sistemas no OSG.

### 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 1 610,6-1 613,8 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.

### 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  $-238 \text{ dB(W/(m}^2\text{/Hz))}$ .

## 5 Técnicas de mitigación de la interferencia

### 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.

### 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).

### **5.3 Repercusiones posibles**

#### **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.

#### **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.

## **6 Resultados de los estudios**

### **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.

### **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.

## Anexo 7

### **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**

#### **1 SRA**

##### **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.

##### **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 4096) 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.

### 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.

### 1.4 Características operacionales

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 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 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.

## **2 SMS**

### **2.1 Banda de transmisión atribuida**

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

### **2.2 Aplicación**

SMS.

### **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.

### **2.4 Características del transmisor**

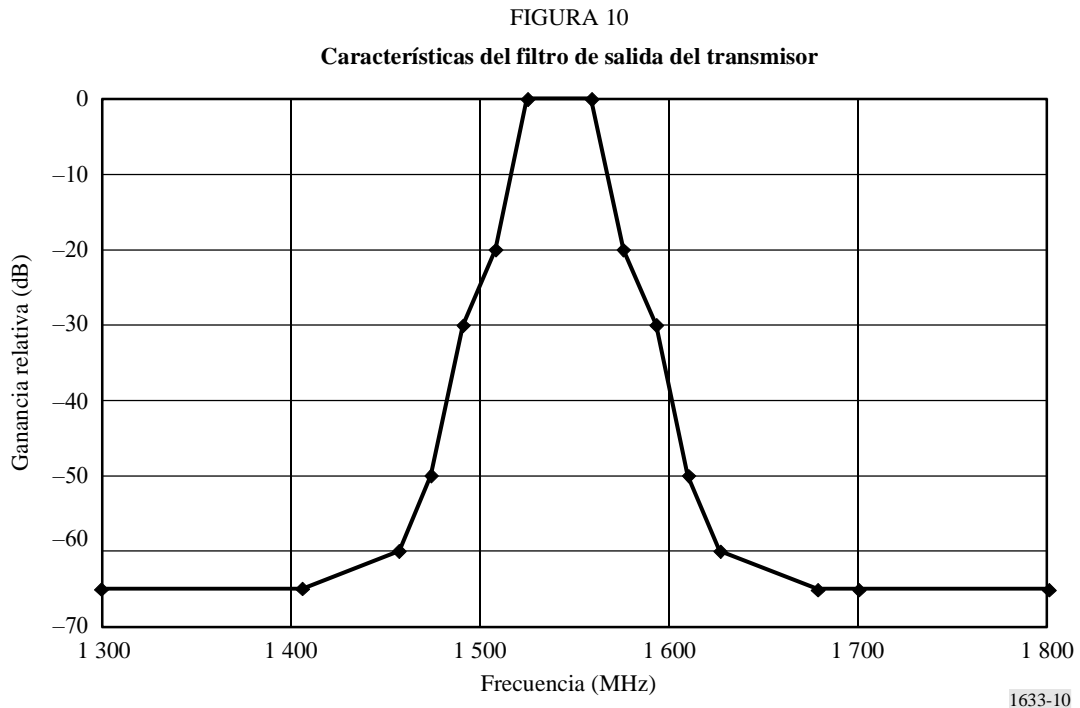
La ganancia de antena es de 41 dBi. La característica del filtro de salida del transmisor se muestra en la Fig. 10.

### **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.

### **2.6 Nivel de transmisión en banda**

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



### 3 Umbral de compatibilidad

Véase el § 1.3.

### 4 Evaluación de la interferencia

#### 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.

#### 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.

#### 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 11

**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

## 5 Técnicas de mitigación de la interferencia

### 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 ingresa 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.

*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.

## 5.2 SMS

A fin de mejorar los niveles indicados en el Cuadro 11, se deberían tener en cuenta las siguientes técnicas de mitigación 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.

## 5.3 Repercusiones posibles

### 5.3.1 SRA

Sobre la base de los análisis efectuados en el § 4 y la naturaleza de las técnicas de mitigación enumeradas en el § 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.

### 5.3.2 SMS

La aplicación de las técnicas de mitigación indicadas en el § 5.2 se consideran técnicamente viables para sistemas OSG.

## 6 Resultados de los estudios

### 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 mitigación de la interferencia enumerados en el § 5.2, es posible que se puedan satisfacer los criterios sobre niveles de emisiones no deseadas sobre este sistema de satélite indicados en el § 1.3. En esta banda no se efectúan observaciones del continuum con antena parabólica simple.

### 6.2 Conclusiones

Se satisfacen los criterios de protección para el caso de raya espectral con antena parabólica simple y para observaciones de VLBI.

## Anexo 8

### **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**

#### **1 SRA**

##### **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».

##### **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.

### 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 dfp 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 dfp 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.

### 1.4 Características operacionales

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.

## **2 Banda activa**

### **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**».

### **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.

### 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.

### 2.4 Características del transmisor

#### 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,  $-100 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ MHz))}$ ).

#### 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,  $-100,5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ MHz))}$ ).

### 2.5 Características operacionales

En los siguientes cálculos sólo se abordan sistemas OSG.

### 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.

## 3 Umbral de compatibilidad

Véase el § 1.3.

## 4 Evaluación de la interferencia

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

#### 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.

#### 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 § 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:

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

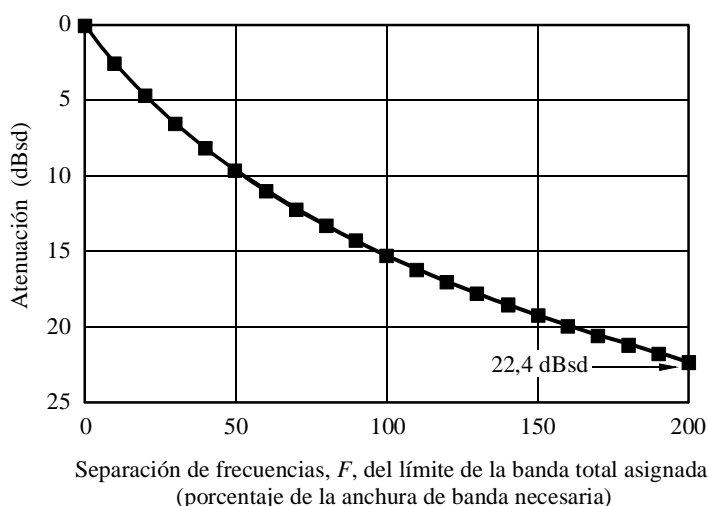
donde  $F$  es el desplazamiento de frecuencia del extremo de la banda total asignada, expresado como porcentaje de anchura de banda necesaria. Se observa que el dominio de la emisión fuera de banda comienza en los bordes de la banda total asignada.

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 11

**Máscara fuera de banda para sistemas del SRS**

(Atenuación dentro del dominio fuera de banda para sistemas del SRS (dBsd))



## 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.

## 4.3 Valores obtenidos

### 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.

### 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.

## 5 Técnicas de reducción de la interferencia

### 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 ingresa 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.

*Bloqueo 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.

## 5.2 Servicios del 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.

## 5.3 Repercusiones posibles

### 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.

*Bloqueo en tiempo y/o frecuencia:* El bloqueo 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.

### 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 practicables.

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.

## 6 Resultados de los estudios

### 6.1 Resumen

El cálculo de interferencias efectuado indica que, de acuerdo con los criterios de protección tratados en el § 1.3, si no se aplican técnicas de mitigación 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 aislamiento 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.

## 6.2 Conclusiones

Los criterios de protección no se satisfacen para operaciones de raya espectral o del continuum con antena parabólica simple, o para observaciones de VLBI.

## Anexo 9

### Análisis de compatibilidad entre sistemas del SETS (pasivo) en la banda 10,6 10,7 GHz y sistemas del SFS (espacio-Tierra) en la banda 10,7-10,95 GHz

#### 1 SETS (pasivo)

##### 1.1 Banda atribuida

La banda 10,6-10,68 GHz está atribuida al SETS (pasivo), a los SRA, al SIE (pasivo) así como a los servicios terrenales (fijos y móviles).

La banda 10,68-10,7 GHz tiene la nota número 5.340 del RR que corresponde a los servicios pasivos.

CUADRO 12

#### Atribuciones en bandas adyacentes

Servicios en bandas atribuidas inferiores		Banda pasiva	Servicios en banda atribuidas inferiores
10,55-10,6 GHz	10,60-10,68 GHz	10,68-10,7 GHz	10,70-11,7 GHz
FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico Radiolocalización	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (pasivo) FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico RADIOASTRONOMÍA INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo) Radiolocalización 5.149 5.482	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (pasivo) RADIOASTRONOMÍA  INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo)  5.340 5.483	FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra en todas las Regiones) 5.441 5.484A (Tierra-espacio en la Región 1) 5.484 MÓVIL salvo móvil aeronáutico

## 1.2 Aplicación

La banda 10,6-10,7 GHz se utiliza principalmente para medir caída de lluvia, nieve, estado del mar y vientos oceánicos.

## 1.3 Criterios de protección requeridos

Las tres Recomendaciones siguientes establecen los criterios de interferencia para sensores pasivos:

- Recomendación UIT-R SA.515 – Bandas de frecuencias y anchuras de banda utilizadas para la detección pasiva por satélite.
- Recomendación UIT-R SA.1028 – Criterios de calidad para la teledetección pasiva por satélite.
- Recomendación UIT-R SA.1029 – Criterios de interferencia para la teledetección pasiva por satélite.

El primer criterio es la potencia de interferencia aceptable recibida por el sensor del SETS, que es de  $-163$  dBW en la anchura de banda de referencia de 20 MHz. Este es el nivel de interferencia máximo de todas las fuentes.

El segundo criterio es el límite de la frecuencia de ocurrencia que rebasa el umbral. El número de células de medición perdidas debido al rebasamiento de umbral no debe exceder del 5% en casos en que los eventos de interferencia son aleatorios, y del 1% cuando los eventos de interferencia son sistemáticos. En razón que el SFS no es aleatorio, se aplica el criterio del 1%.

## 1.4 Características operacionales

En el Cuadro 13 se indican las especificaciones de dos sistemas radiométricos por microondas: MEGHA-TROPIC y EOS AMSR-E.

CUADRO 13

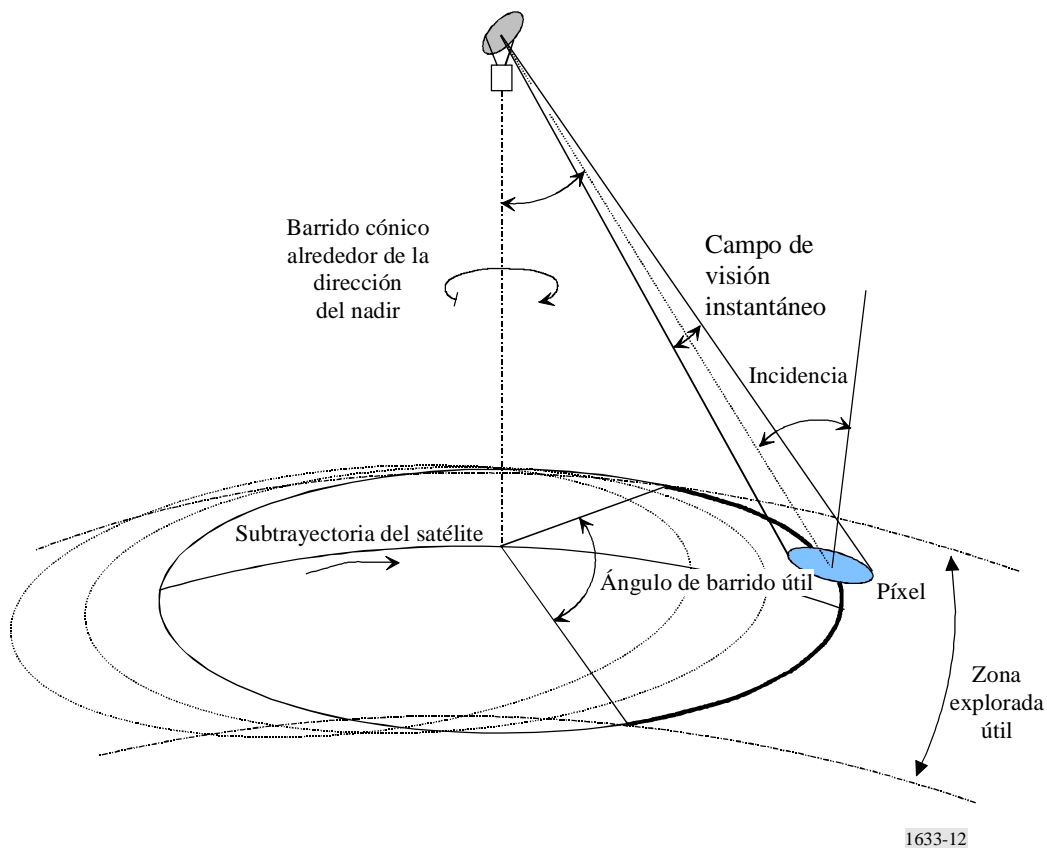
### Especificaciones preliminares de dos aplicaciones radiométricas por microondas

Canal 10,6-10,7 GHz	MEGHA-TROPIC	EOS AMSR-E
Anchura de banda del canal (MHz)	100	100
Tamaño del píxel perpendicular a la trayectoria del satélite (km)	56,7	28
Ángulo de incidencia $i$ en el centro de la proyección (grados)	52	55
Polarización (lineal)	H, V	H, V
Altura del satélite (km)	817	705
Ganancia de antena máxima (dBi)	36	37
Anchura del haz de antena a potencia media $\theta_{3\text{ dB}}$ (grados)	2,66	1,4

El tamaño del píxel perpendicular a la trayectoria se calcula con el contorno de  $-3$  dB del diagrama de antena teniendo en cuenta la altura del satélite y el ángulo de incidencia  $i$  del eje de puntería del haz.

Los sensores del SETS indicados anteriormente no son satélites con proyección al nadir sino sensores del SETS que tienen una configuración de exploración cónica centrada alrededor de la dirección del nadir. Es importante para la interpretación de las mediciones de superficie mantener un ángulo de incidencia terrestre constante sobre todas las líneas de exploración. En la Fig. 12 se ilustra la geometría de los instrumentos con barrido cónico. La velocidad de rotación del instrumento (y no del satélite) es  $w = 20$  revoluciones por minuto (r.p.m.) para el satélite MEGHA-TROPIC y de 40 r.p.m. para el satélite EOS AMSR-E.

FIGURA 12  
Geometría de los radiómetros de microondas pasivos con barrido cónico



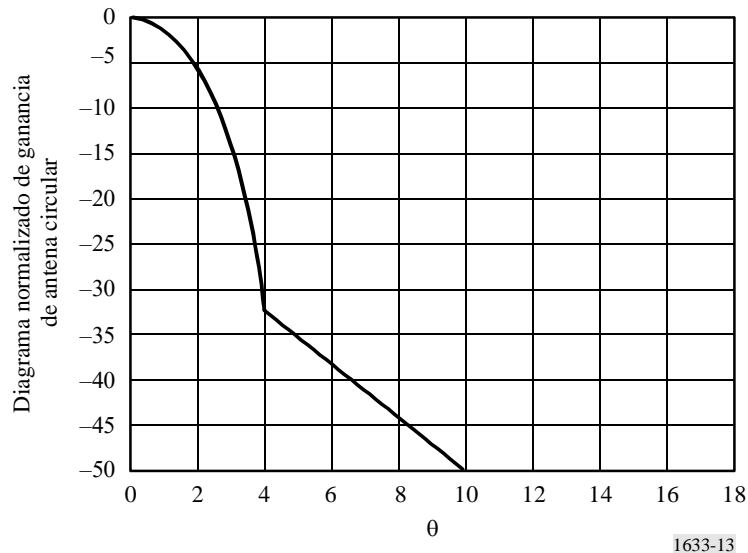
Las características de geometría típicas de esta clase de instrumentos está basada (para una altura de unos 850 km) en lo siguiente:

- el ángulo de incidencia terrestre  $i$  en el centro de la proyección es de unos  $50^\circ$ ;
- el ángulo de desplazamiento del SETS con respecto al nadir o el ángulo de semicono  $\alpha$  con referencia al nadir es de  $44^\circ$  aproximadamente;
- la zona explorada útil es de unos 1 600 km, y
- el periodo de exploración se fija con el objeto de asegurar plena cobertura y tiempo de integración óptimo (resolución radiométrica).

En la Fig. 13 se ilustra el diagrama de antena diseñado para el satélite MEGHA-TROPIC: el primer lóbulo lateral tiene un nivel de  $-35$  dB aproximadamente por debajo de la ganancia de antena máxima y el nivel de radiación del lóbulo posterior es de  $-50$  dB aproximadamente.

FIGURA 13

**Diagrama de antena del radiómetro de microondas pasivo MEGHA-TROPIC**

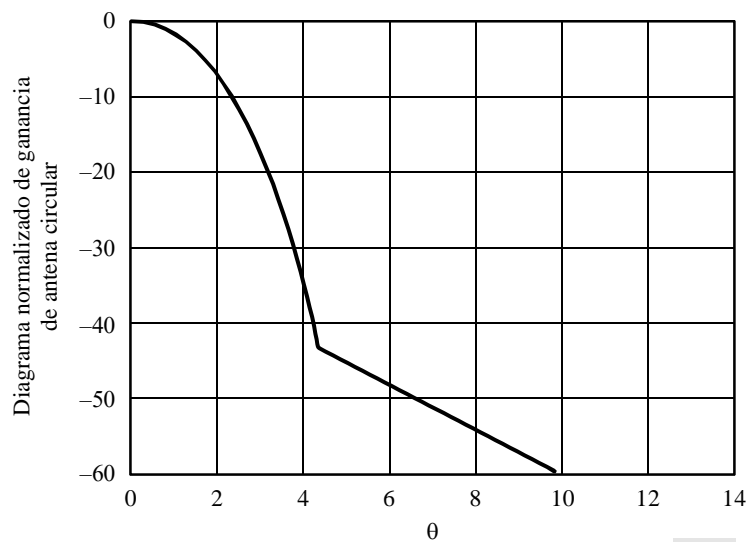


1633-13

La Fig. 14 muestra el diagrama de antena proyectado para el satélite EOS AMSR-E: el primer lóbulo lateral tiene un nivel de unos  $-45$  dB aproximadamente por debajo de la ganancia de antena máxima, y el nivel de radiación del lóbulo posterior es de  $-60$  dB aproximadamente.

FIGURA 14

**Diagrama de antena del radiómetro de microondas pasivo EOS AMSR-E**



1633-14



## 2 SFS (espacio-Tierra)

### 2.1 Banda de transmisión atribuida

El servicio activo tiene atribuida la banda 10,7-11,7 GHz para el SFS (espacio-Tierra).

### 2.2 Aplicación

El conjunto de características de los sistemas de transmisión que se toman en cuenta en esta Recomendación se obtienen de la Recomendación UIT-R S.1328-3 – Características de los sistemas de satélite que se han de tener en cuenta en los análisis de compartición de frecuencias entre sistemas de satélites geoestacionarios (OSG) y no OSG del servicio fijo por satélite (SFS) incluidos los enlaces de conexión para el servicio móvil por satélite (SMS). Esta Recomendación proporciona información pertinente sobre sistemas típicos.

De acuerdo con el número 5.441 del RR, la utilización de las bandas 10,7-10,95 GHz y 11,2-11,45 GHz por satélites OSG en el SFS estará de acuerdo con lo establecido en el Apéndice 30B del RR.

En la referida Recomendación, toda información referente a sistemas que se utilizarían en la Región 1 no se menciona la atribución del enlace ascendente 10,7-11,7 GHz (Tierra-espacio) a través de la nota número 5.484 del RR, (limitada a los enlaces de conexión para el SRS). Por consiguiente, no fue posible emprender ningún análisis de interferencia entre dichos sistemas del SFS y sistemas del SETS en la banda pasiva de 10,6-10,7 GHz.

### 2.3 Niveles basados en disposiciones y Recomendaciones UIT-R

#### 2.3.1 Número 1.153 del RR

El RR define *anchura de banda ocupada* como sigue:

«**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 se supone que el borde inferior de la anchura de banda ocupada es el límite inferior de la atribución de SFS o un valor superior al mismo, la potencia total de las emisiones no deseadas en las frecuencias por debajo de la anchura de banda atribuida no será mayor del 0,5% de  $P$ , donde  $P$  es la potencia dentro de la banda. Por consiguiente, la potencia total de las emisiones no deseadas en las frecuencias por debajo de 10,7 GHz, incluidas las que aparecen en la banda del SETS de 10,6-10,7 GHz, no deben ser mayores que  $P - 23$  dB.

Aun cuando el mantenimiento de la anchura de banda ocupada dentro de la banda atribuida es, por lo general, un medio eficaz de satisfacer los criterios de interferencia del SETS, esto podría ser difícil y costoso para algunos sistemas del SFS, ya que puede ser necesario colocar una banda de guarda o instalar filtros en la estación espacial.

### 2.3.2 Recomendación UIT-R SM.1541

Recomendación UIT-R SM.1541 – Emisiones no deseadas en el dominio fuera de banda.

Las emisiones en el dominio fuera de banda de una estación que funciona en las bandas atribuidas al SFS 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 debajo de 15 GHz) dentro de la anchura de banda necesaria. Estos valores figuran en el Anexo 5 de la Recomendación UIT-R SM.1541 (véase la Fig. 15). Esta curva se obtiene con la siguiente expresión:

$$40 \log \left( \frac{F}{50} + 1 \right) \quad \text{dBsd}$$

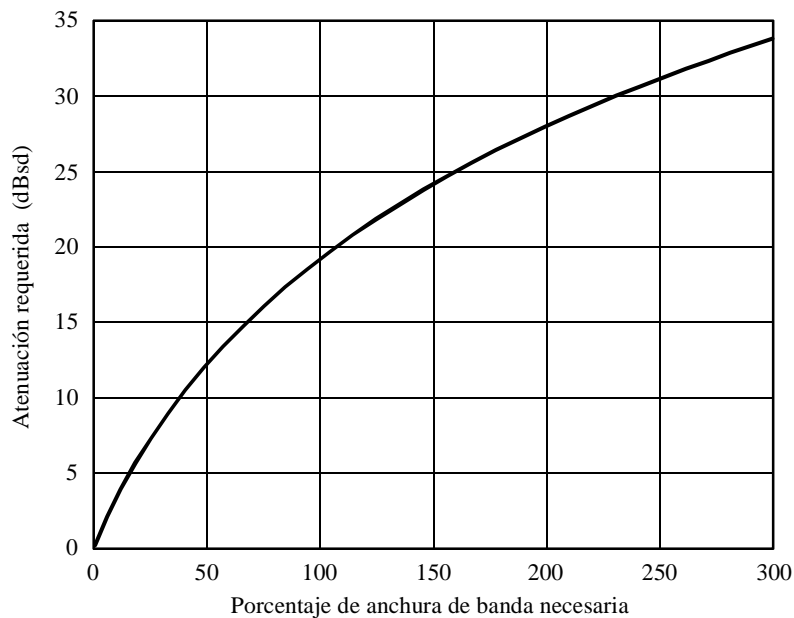
donde:

$F$ : desplazamiento en frecuencia desde el borde de la banda total asignada, expresado en términos de porcentaje de la anchura de banda necesaria. El dominio de la emisión fuera de banda comienza en los bordes de la banda total asignada.

dBsd: dB relativos al valor máximo de densidad espectral de potencia dentro de la anchura de banda necesaria.

FIGURA 15

Atenuación requerida para las estaciones terrenas y espaciales del SFS conforme al Anexo 5 de la Recomendación UIT-R SM.1541



## 2.4 Características del transmisor

### 2.4.1 Redes de satélites OSG

CUADRO 14

#### Características del sistema GSO-VX

Parámetros	GSO-VX: red del SFS OSG proyectada
Gama de frecuencias del enlace descendente (GHz)	10,7-10,95
Parámetros orbitales	14 OSG con 2° de separación como mínimo
Parámetros de transmisión de la portadora	
Anchura de banda (MHz)	Anchura de banda de 250: 1 por canal (1 canal/haz)
p.i.r.e./portadora del enlace descendente (dBW)	47
Parámetros de la antena transmisora del satélite	
Ganancia de cresta (dBi)	33,5
Ganancia o diagrama de lóbulo lateral	18 dB por debajo del valor de cresta (lóbulos posteriores a 25 dB por debajo del valor de cresta)

### 2.4.2 Redes no OSG

CUADRO 15

#### Características técnicas de una red del SFS no OSG, FSAT-MULTI 1-B

Parámetros orbitales	Forma de la órbita	Circular
	Altura (km)	1 457
	Ángulo de inclinación (grados)	55
	Número de satélites por plano	4
	Número de planos orbitales	16
	Separación de satélites dentro del plano (grados)	90
Frecuencia del enlace descendente (GHz)	11-12	
Requisito de espectro (MHz)	1 000	
Parámetros de transmisión de la portadora	p.i.r.e./portadora del enlace descendente (dBW)	à 90°: 17,5 et 4,8 à 75°: 19,7 et 7,1 à 50°: 21,2 et 8,6 à 32°: 23,1 et 10,2
Ganancia de la antena de transmisión del satélite (dBi)	A 90°: 17,2 A 75°: 19,8 A 50°: 21,7 A 32°: 23	

### 2.4.3 Redes de órbita muy elíptica (HEO)/elípticas

CUADRO 16

#### Características del sistema USAKU-H1

Parámetros	USAKU-H1
Gama de frecuencias del enlace descendente (GHz)	10,7 à 12,7
Parámetros orbitales	HEO/elíptica: 41 449 km (apogeo)/ 4 100 km (perigeo)
Requisitos de espectro (MHz)	
Técnica de modulación de la portadora	MDP-4
Anchura de banda (MHz)	24
Relación $C/N_0$ general (dB/Hz)	86
p.i.r.e./portadora del enlace descendente (dBW)	58
Parámetros de la antena transmisora del satélite	
Ganancia de cresta (dBi)	38

### 3 Umbral de compatibilidad

La interferencia puede ser recibida de diversas fuentes de múltiples servicios simultáneamente. El valor que figura en la Recomendación UIT-R SA.1029 (para una banda específica) es el nivel de interferencia máximo admisible para el sensor pasivo. Por tanto, el umbral de compatibilidad es  $-163$  dBW con una anchura de banda de 20 MHz para el 99% del tiempo, como se indica en el § 1.3.

Este Anexo proporciona un análisis de la interferencia generada por un solo servicio activo. Por consiguiente, es necesario efectuar mayores estudios para determinar la repercusión de estos múltiples servicios activos por encima y por debajo de la banda pasiva.

### 4 Evaluación de la interferencia

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

El análisis que se indica a continuación está basado en algunos casos de geometría estática que son muy significativos.

Para cada caso, la metodología aplicada se divide en tres pasos.

*Paso 1:* consiste en calcular la diferencia entre la potencia producida por un sistema del SFS y los criterios de interferencia del SETS cuando los enlaces descendentes de cada SFS comparten la misma frecuencia con la banda del SETS (pasivo). La potencia recibida de una portadora se compara entonces con el umbral de interferencia del sensor. La diferencia calculada entre esos valores es la reducción de radiaciones fuera de banda que se debe obtener para proteger el SETS.

*Paso 2:* consiste en calcular la dfp producida por un determinado satélite en la superficie de la Tierra, y comparar este nivel con el nivel de dfp máximo permitido por el Artículo 21 del RR en la banda 10,7-10,95 GHz para establecer el aumento admisible máximo en la densidad de la p.i.r.e. que está de acuerdo con este límite. La interferencia recibida en una portadora que funciona en esta densidad de la p.i.r.e. máxima admisible se compara entonces con los criterios de interferencia del sensor. La diferencia entre los dos valores indica si la interferencia recibida satisface o excede los criterios de interferencia del SETS.

*Paso 3:* consiste en suponer niveles de emisiones no deseadas basadas en la Recomendación UIT-R SM.1541 y en el número 1.153 del RR como se indicó anteriormente. Los niveles calculados de las emisiones del SFS fuera de banda suponen las características de reducción del espectro indicadas en estas fuentes y se las compara entonces con los criterios de interferencia del SETS para determinar si se obtiene compatibilidad conforme con dichas hipótesis.

## 4.2 Cálculo del nivel de interferencia

### 4.2.1 Cálculos con las redes OSG (recepción del lóbulo posterior)

Una situación geométrica muy simple se produce cuando el sensor del SETS está ubicado directamente debajo del satélite de transmisión del SFS.

La diferencia entre el nivel de interferencia y los criterios del SETS se calcula en el Cuadro 17 cuando los enlaces descendentes del SFS comparten la misma frecuencia que el sensor del SETS (pasivo).

CUADRO 17

### Análisis de compatibilidad con la red GSO-VX

Parámetro	MEGHA-TROPIC	EOS AMSR-E
Gama de frecuencias del enlace descendente (GHz)	10,7-10,95	10,7-10,95
p.i.r.e./portadora (dBW)	47	47
Anchura de banda (MHz)	250	250
Distancia OSG-SETS (km)	34 969	35 081
Pérdidas en el espacio libre (dB)	204	204
Ángulo de desplazamiento del paraboloide del SETS con relación al nadir (grados)	44	47,5
Ganancia de antena del SETS (dBi)	-14	-23
Potencia recibida en el SETS en la anchura de banda superior (dBW)	-171	-180
Potencia recibida correspondiente en el SETS en una anchura de banda de 20 MHz (dBW)	-182	-191
Umbral de interferencia en una anchura de banda de 20 MHz (dBW)	-163	-163
Diferencia entre la potencia de interferencia y el criterio de protección del SETS (dB)	0	0
Anchura de banda de referencia para el límite de d <sub>fp</sub> (kHz)	4	4
d <sub>fp</sub> máxima admitida por el Artículo 21 del RR (dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz)))	-140	-140
d <sub>fp</sub> producida por la densidad de la p.i.r.e. de operación en la superficie de la Tierra (dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz)))	-163	-163
Incremento admisible en la densidad de la p.i.r.e. (dB)	23	23
Diferencia entre la potencia interferente y el criterio de protección del SETS en la p.i.r.e. máxima admitida (dB)	4	0

Conforme a la Recomendación UIT-R S.1328-3<sup>1</sup>, el sistema GSO-VX<sup>2</sup> propone operar seis satélites ubicados en las tres posiciones orbitales adyacentes de 99° W, 101° W y 103° W, suponiendo que se haya obtenido un acuerdo con otras administraciones sobre las modificaciones necesarias al Plan del Apéndice 30B del RR. Por tanto, suponiendo que los satélites que ocupan la misma posición no tienen zonas de servicio superpuestas y que la potencia recibida en el SETS es más o menos la misma (es decir -182 dBW para una anchura de banda de 20 MHz para el satélite MEGHA-TROPIC o -191 dBW para el satélite EOS AMSR-E), la potencia calculada producida por tres satélites del SFS de cobertura común que funcionan en la misma frecuencia es igual a  $10 \log_{10} (3 \times 10^{-18.2}) = -177$  dBW en el MEGHA-TROPIC y de  $10 \log_{10} (3 \times 10^{-19.1}) = -186$  dBW en el EOS AMSR-E. En ambos casos, se satisface el criterio de interferencia del servicio pasivo.

Para la hipótesis del caso más desfavorable en que el satélite del SFS OSG que funciona con una densidad de p.i.r.e. que produce la dfp máxima en la superficie de la Tierra admitida por el Artículo 21 del RR puede ser incorporado en el Plan del Apéndice 30B del RR, el nivel de potencia calculado en el satélite MEGHA-TROPIC rebasa el criterio de interferencia del SETS en 4 dB.

Con referencia al sensor pasivo EOS AMSR-E de menor altitud el criterio de interferencia del SETS no se rebasa.<sup>3</sup>

#### 4.2.2 Cálculos con las redes no OSG

Se debe señalar que estos resultados se basan en análisis simples pero tienen en cuenta el porcentaje de tiempo que se superan los criterios de interferencia del SETS. Será necesario efectuar una simulación más compleja para determinar si un sistema del SFS no OSG que supera los criterios del SETS para una configuración geométrica particular considerada en estos análisis, lo hace también para el 99% del tiempo como se indica en la Recomendación UIT-R SA.1029.

---

<sup>1</sup> La Recomendación UIT-R S.1328-3 abarca una base de datos de las características del SFS e información de balance de enlace que se ha de utilizar para estudios de compartición. Esta Recomendación fue reemplazada por la Recomendación UIT-R S.1328-4, que contiene, así como una base de datos electrónicos, un formato para la presentación electrónica de balances de enlace y una herramienta de validación para asegurar que los enlaces sean internamente consistentes. En este momento, en la base de datos de la Recomendación UIT-R S.1328-4 sólo se dispone de algunos balances de enlace, ninguno de los cuales se aplican a la banda en cuestión. En consecuencia, los estudios de compartición se efectuaron con la información de enlace disponible en las versiones anteriores de esta Recomendación.

<sup>2</sup> El sistema GSO-VX, como se describe en la Recomendación UIT-R S.1328-3, no proporciona ninguna información referente a la zona de servicio de cada estación espacial. En la BR no hay registros de inscripciones compatibles con el sistema GSO-VX que pudiera proporcionar detalles adicionales referentes al mismo. Si bien la dfp producida por los satélites de este sistema está muy por debajo de los niveles producidos típicamente por los satélites conforme al Plan del Apéndice 30B del RR, la BR no ha formulado conclusiones sobre este sistema y no está claro si sería notificado satisfactoriamente como se describe.

<sup>3</sup> La densidad de la p.i.r.e. requerida para obtener los límites de dfp que figuran en el Cuadro 21-4 del RR es de 7 a 19 dB superiores a las inserciones de adjudicación en el Plan del Apéndice 30B del RR. Todo sistema similar con una zona de servicio suficiente para proporcionar servicios comerciales viables es probable que supere el criterio de la relación C/I combinada de 26 dB sobre las numerosas adjudicaciones que figuran en el Plan del Apéndice 30B del RR, y no es seguro que dicho sistema reciba la aprobación de todas las administraciones afectadas requeridas para notificar el sistema propuesto. No obstante, se ha presentado este ejemplo de interferencia para el caso más desfavorable para estar de acuerdo con la metodología utilizada en esta Recomendación.

#### 4.2.2.1 Caso 1 – Redes no OSG (recepción del lóbulo posterior)

Para el caso 1, la situación geométrica es tal que el sensor del SETS está ubicado directamente debajo del satélite de transmisión del SFS.

La diferencia entre el nivel de interferencia y los criterios del SETS se calculan en el Cuadro 18 cuando los enlaces descendentes del SFS comparten la misma frecuencia con los sensores del SETS (pasivo).

CUADRO 18

#### Análisis de compatibilidad con el satélite FSAT-MULTI 1-B

Parámetro	MEGHA-TROPIC	EOS AMSR-E
Gama de frecuencias del enlace descendente (GHz)	11-12	11-12
p.i.r.e./portadora para un haz (dBW)	17,5	17,5
Anchura de banda (MHz)	41	41
Distancia FSAT-SETS (km)	640	752
Pérdidas en el espacio libre (dB)	169	170,5
Ángulo de desplazamiento del paraboloide del SETS con relación al nadir (grados)	44	47,5
Ganancia de antena del SETS (dBi)	-14	-23
Potencia recibida en el SETS en la anchura de banda superior (dBW)	-166	-176
Potencia recibida correspondiente en el SETS en una anchura de banda de 20 MHz (dBW)	-169	-179
Umbral de interferencia en una anchura de banda de 20 MHz (dBW)	-163	-163
Diferencia entre la potencia de interferencia y el criterio de protección del SETS en la p.i.r.e. de funcionamiento propuesta (dB)	0	0
Anchura de banda de referencia para el límite de dfp (kHz)	1 000	1 000
dfp máxima admisible por el Artículo 21 del RR (Db(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))	-116	-116
dfp producida por la densidad de la p.i.r.e. de operación en la superficie de la Tierra (dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))	-133	-133
Incremento admisible en la densidad de la p.i.r.e. (dB)	17	17
Diferencia entre la potencia interferente y el criterio de protección del SETS en la p.i.r.e. máxima admitida (dB)	11	1

Para un satélite del FSAT-MULTI-1B, el nivel de interferencia calculado no debe rebasar los criterios de interferencia del SETS. La constelación total del sistema FSAT-MULTI-1B está integrada por 64 satélites.

Suponiendo que:

- es posible tener hasta dos satélites en visibilidad del sensor SETS; y
- la potencia individual recibida en el SETS es más o menos la misma (es decir, de -169 dBW para una anchura de banda de 20 MHz para el satélite MEGHA-TROPIC y -179 dBW para el satélite EOS AMSR-E),

la potencia resultante válida para dos satélites es igual a  $10 \log_{10} (2 \times 10^{-16,9}) = -166$  dBW para MEGHA-TROPIC y  $10 \log_{10} (2 \times 10^{-17,9}) = -176$  dBW para EOS AMSR-E. En ambos casos, la potencia interferente está también por debajo del umbral de interferencia requerido.

Para el caso más desfavorable de un satélite del SFS no OSG similar que funciona con una densidad de p.i.r.e. que produce la dfp máxima admisible en la superficie de la Tierra, el nivel de potencia calculado en el satélite MEGHA-TROPIC supera los criterios de interferencia del SETS en 11 dB. Para la misma hipótesis que dos de estos satélites son visibles simultáneamente, el nivel de interferencia calculado supera los criterios del SETS en  $(11 + 10 \log_{10} (2)) = 14$  dB si cada satélite funciona con el máximo nivel de dfp admitido. Para el sensor pasivo EOS AMSR-E de baja altitud, el nivel de interferencia calculado supera los criterios del SETS en  $(1 + 10 \log_{10} (2)) = 4$  dB para este caso de dos satélites.

#### 4.2.2.2 Caso 2 – Redes no OSG (trayecto casi rasante)

Para el caso 2, la situación geométrica es tal que el satélite del SFS se encuentra en la dirección de la ganancia de antena máxima del sensor del SETS. Este caso no existe debido a:

- la anchura de banda de antena total del haz principal es de  $6,7^\circ$  y concentra más del 90% de la energía;
- el ángulo fuera del punto de proyección real y operacional del sensor del SETS es de  $44^\circ$ ;
- el ángulo fuera del punto de proyección mínimo del satélite del SETS donde se ve el cielo es de unos  $60^\circ$ ; y
- los lóbulos laterales de la antena del SETS por encima de este ángulo mínimo fuera del punto de proyección están ya por debajo de  $-30$  dB.

#### 4.2.3 Cálculos con las redes HEO/elípticas (recepción de lóbulo lateral)

La situación geométrica que está en estudio es tal que el sensor del SETS está ubicado directamente por debajo del satélite de transmisión del SFS.

La diferencia entre el nivel de referencia y los criterios del SETS está calculada en el Cuadro 19 donde los enlaces descendentes del SFS comparten la misma frecuencia que los sensores del SETS (pasivo). En el caso de operaciones de perigeo, la relación p.i.r.e./portadora ha sido ajustada al nivel en que se produzca la máxima dfp admisible en la superficie de la Tierra.

CUADRO 19

#### Análisis de compatibilidad con redes elípticas

Parámetro	MEGHA-TROPIC		EOS AMSR-E	
	(apogeo)	(perigeo)	(apogeo)	(perigeo)
Gama de frecuencias del enlace descendente (GHz)	10,7-11,7		10,7-11,7	
p.i.r.e./portadora para un haz (dBW)	58		58	
Anchura de banda (MHz)	24		24	
Distancia FSAT-SETS (km)	40 632	3 283	40 744	3 395
Límite de dfp ajustado de la relación p.i.r.e./portadora en el perigeo para un haz (dBW)	58	41	58	41
Pérdidas en el espacio libre (dB)	205	183	205	184
Ángulo de desplazamiento del paraboloide del SETS con relación al nadir (grados)	44	44	47,5	47,5



CUADRO 19 (Continuación)

Parámetro	MEGHA-TROPIC		EOS AMSR-E	
Ganancia de antena del SETS (dBi)	-14	-14	-23	-23
Potencia recibida en el SETS en la anchura de banda superior (dBW)	-161	-156	-170	-166
Potencia recibida correspondiente en el SETS en una anchura de banda de 20 MHz (dBW)	-162	-157	-171	-167
Umbral de interferencia en una anchura de banda de 20 MHz (dBW)	-163	-163	-163	-163
Diferencia entre la potencia de interferencia y el criterio de protección del SETS en la p.i.r.e. de funcionamiento propuesta (dB)	1	6	0	0
Anchura de banda de referencia para el límite de dfp (kHz)	1 000	1 000	1 000	1 000
dfp máxima admitida por el Artículo 21 del RR (dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))	-116	-116	-116	-116
dfp producida por la densidad de la p.i.r.e. de operación en la superficie de la Tierra (dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))	-119	-116	-119	-116
Incremento admisible en la densidad de la p.i.r.e. (dB)	3	0,0	3	0,0
Diferencia entre la potencia interferente y el criterio de protección del SETS en la p.i.r.e. máxima permitida (dB)	4	6	0	0

En el caso del sensor pasivo MEGHA-TROPIC, los criterios de interferencia del SETS se rebasan en 1 dB para el satélite USAKU-H1 cuando está en el apogeo y el umbral se excede en 6 dB cuando está en el apogeo y funciona en el nivel de dfp máximo admisible. Si la densidad de la p.i.r.e. del satélite en el apogeo se aumenta al valor máximo admitido conforme al Artículo 21 del RR, los criterios de interferencia están superados en 4 dB.

#### 4.2.4 Cálculos para redes OSG y no-OSG en el caso de dispersión

Una forma de potencia interferente en el servicio pasivo proviene de las emisiones no deseadas del SFS que están dispersadas desde la superficie de la Tierra y que son captadas por sensores cercanos del SETS.

Para frecuencias alrededor de 10-20 GHz, la energía dispersada tiene una componente especular importante. La dispersión por este modo constituiría el caso más desfavorable de interferencia. En consecuencia, la máxima interferencia se produciría cuando:

- el sensor capta una zona de cobertura del SFS;
- el satélite del SFS, el sensor, el centro de la Tierra, y la intersección de los haces del sensor y del satélite del SFS están todos en el mismo plano;
- la intersección de los haces del sensor y del satélite del SFS están entre el nadir del satélite del SFS y el nadir del sensor; y
- el eje del haz del satélite del SFS y el eje del haz del sensor interceptan la Tierra en el mismo ángulo.

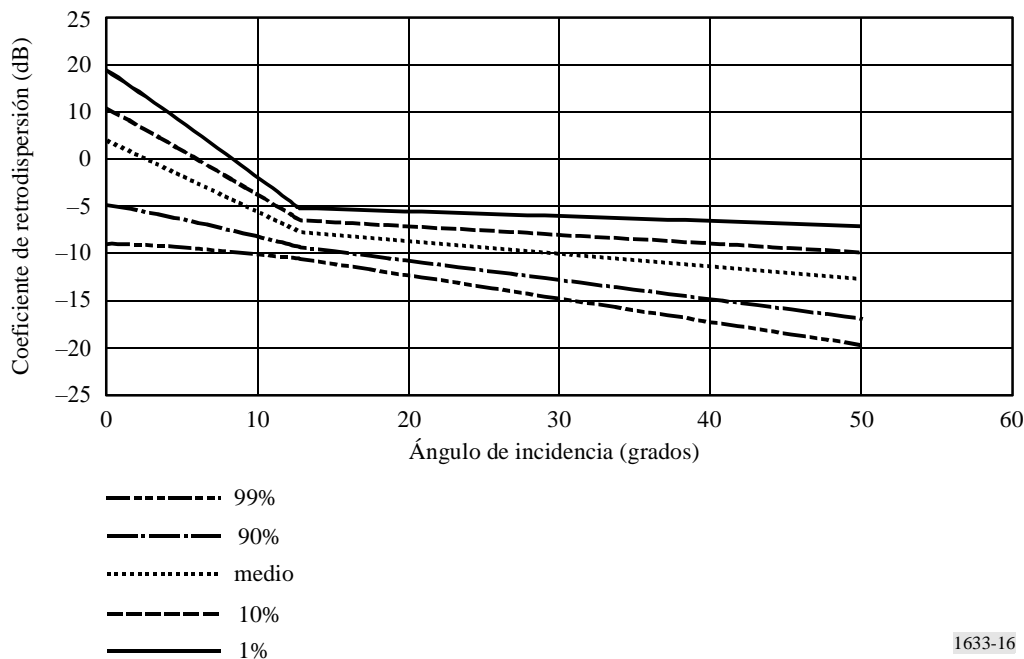
Existen también otros modos de dispersión, que serían más frecuentes en ocurrencia pero en un nivel menor.

#### 4.2.4.1 Coeficiente de dispersión

En el Anexo 1 de la Recomendación UIT-R SA.1449 se describe un modelo para el coeficiente de dispersión que permite estimar la dirección e intensidad de dispersión desde la superficie de la Tierra. Se describen experimentos con el satélite Skylab que determinó el coeficiente de dispersión de la señal de radar de la superficie de la Tierra en 13,9 GHz sobre la parte, *Conterminous United States*, continental de los Estados Unidos de América (CONUS), incluyendo los 48 Estados contiguos y el Distrito de Columbia. Incluye también técnicas para la extrapolación de frecuencias a otras bandas. Mediante estos procedimientos de extrapolación, y suponiendo que la densidad probable del coeficiente de dispersión tiene una forma logarítmica normal se estima que el coeficiente de dispersión de la geometría descrita anteriormente para el caso más desfavorable, tiene un valor medio aproximado de 2 dB. Sin embargo, el 10% del tiempo el coeficiente de dispersión se puede exceder en 5,2 dB y el 1% del tiempo se puede exceder en 9,4 dB a 10,65 GHz como se ilustra en la Fig. 16. En el UIT-R se proyecta efectuar nuevos estudios para elaborar un modelo de dispersión de microondas biestático para determinar la interferencia utilizando este método.

FIGURA 16

Modelo del coeficiente de dispersión



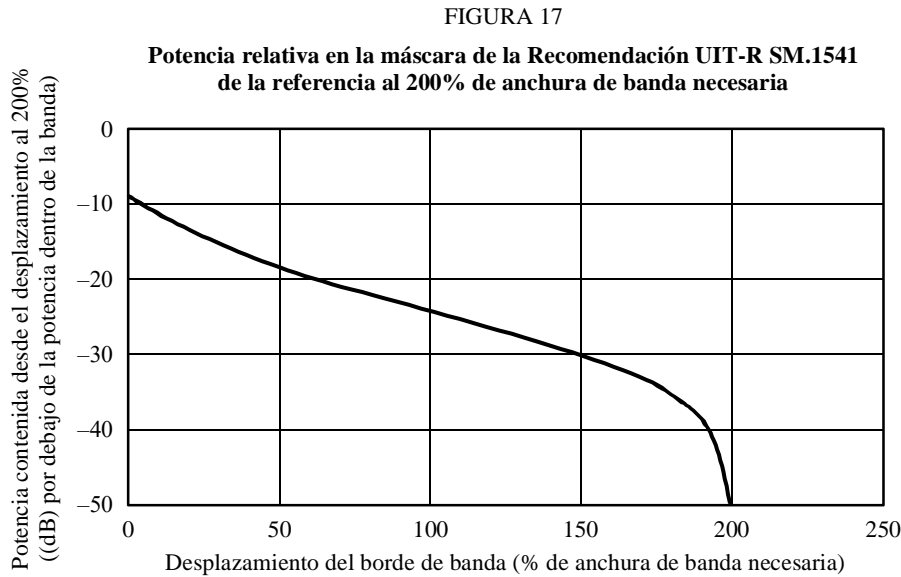
1633-16

De cualquier modo, la mayor parte del tiempo la dispersión tendría mayor incidencia en un modo no direccional con una gama de coeficientes de dispersión media de  $-12,8$  a  $-5,7$  dB que depende del ángulo de incidencia (el menor valor aparece con un ángulo de incidencia de  $50^\circ$  y un ángulo de elevación de  $40^\circ$ ). Se debe señalar que conforme al § 3.2.2, el umbral de interferencia está relacionado con una frecuencia de ocurrencia. Este factor es una combinación de las estadísticas del coeficiente de dispersión y de la dinámica de movimiento relativo del satélite del SFS y del satélite del SETS. La combinación de ambos factores debe ser objeto de ulterior estudio puesto que, hasta el presente, sólo se ha examinado el escenario para el caso más desfavorable de intercepción de una reflexión especular con un nivel de ocurrencia del 1%.

#### 4.2.4.2 Interferencia fuera de banda utilizando la máscara fuera de banda de la Recomendación UIT-R SM.1541

En el Apéndice al Anexo 1 de la Recomendación UIT-R SM.1541 se describe el procedimiento para calcular la potencia de la emisión no deseada entre dos frecuencias cualesquiera dentro del dominio fuera de banda.

Se incluyen dos métodos equivalentes que esencialmente estiman la integral de la máscara espectral sobre el tramo de frecuencias definido por las dos frecuencias. Por consiguiente, a fin de determinar la repercusión de esta máscara, estos valores se integran para proporcionar los resultados que se muestran en la Fig. 17.



1633-17

Si se ha supuesto que la potencia total dentro de un servicio en banda adyacente incluye las emisiones fuera de banda en cada lado de la anchura de banda necesaria, la integración de la relación precedente debería indicar que alrededor del 12,5% (-9 dB) de la energía sería emitido dentro del dominio fuera de banda en cada lado de la anchura de banda necesaria. Por consiguiente, si no se establece un marco de protección para una banda de guarda entre dos bandas asignadas adyacentes (donde ambos servicios funcionan en el borde de la banda), un servicio activo en la banda 10,7-11,7 GHz podría contribuir con emisiones no deseadas interferentes en el servicio pasivo hasta un valor del 12,5% de la potencia transmitida total ( $P - 9,0$  dB). Por supuesto, la utilización de bandas de guarda en cada uno de los servicios podría reducir considerablemente esta interferencia. Sin embargo, para esta evaluación inicial, se partirá de la hipótesis que no se utilizarán bandas de guarda.

En el Cuadro 20 se proporcionan balances de potencia para los tres sistemas de satélite representativos que indican los márgenes de umbral de interferencia de cada uno. Con la máscara fuera de banda de la Recomendación UIT-R SM.1541, se obtiene el nivel de las emisiones no deseadas dentro de la banda pasiva mediante la integración sobre la máscara fuera de banda entre los dos bordes de la banda pasiva. Para el caso de la órbita de los satélites OSG con una anchura de banda de 250 MHz y el sensor con una anchura de banda de 100 MHz, los límites de integración apropiados oscilan entre el 0 y el 40 % de la anchura de banda necesaria de un servicio activo. Una operación equivalente tomaría simplemente la diferencia del antilogaritmo al 0% y al 40% extraídos de la Fig. 17 y convertidos en decibelios. Esto indicaría un nivel de emisión no deseado de 9,8 dB aproximadamente por debajo de la potencia media dentro de la banda del servicio activo. Estos resultados se indican en el Cuadro 20 como el factor fuera de banda. Para los sistemas LEO-N y USAKU-H1, el límite superior del porcentaje de integración se extiende más allá de la máscara de la Recomendación UIT-R SM.1541 (que termina en la frontera de no esenciales del 200% de la anchura de banda necesaria). Para éstos sólo se consideran las emisiones no deseadas definidas por la máscara fuera de banda y se excluyen las debidas a emisiones no esenciales. La contribución total del dominio fuera de banda es de 9 dB por debajo de la potencia media en el servicio activo. Los

sistemas GSO-VX y LEO-N pueden satisfacer las condiciones de alineación de una reflexión especular a lo largo del eje de la antena del sensor (ángulo de elevación = 35°). Sin embargo, el sistema USAKU-H1 está diseñado para funcionar en ángulos de elevación altos del orden de 70°. En consecuencia, no habría nunca una alineación tal con este sistema. En el punto de la Tierra en el que el eje del sensor intercepta el eje de la antena del servicio activo, habrá un desplazamiento de  $\varepsilon - \varphi = 35^\circ$ , como se muestra en la Fig. 18.

CUADRO 20

**Márgenes de interferencia estimados para sistemas del SFS típicos que utilizan la máscara fuera de banda conforme a la Recomendación UIT-R SM.1541**

	Sistema del SFS		
	GSO-VX	LEO-N	USAKU-H1
p.i.r.e. (dBW)	47,0	17,6	58,0
Anchura de banda del transpondedor del SFS (MHz)	250,0	4,9	24,0
Anchura de banda del sensor (MHz)	100	100	100
Porcentaje de desplazamiento de frecuencia del borde de banda	0-40	-( <sup>1</sup> )	-( <sup>1</sup> )
Factor de potencia fuera de banda	-9,8	-9,0	-9,0
Potencia no deseada en la banda del sensor (dBW)	37,2	8,6	49,0
Ajuste de la anchura de banda de umbral (dB) ( <sup>2</sup> )	-7,0	-7,0	-7,0
Densidad espectral de potencia de la emisión no deseada (dB(W/20 MHz))	30,2	1,6	42,0
Elevación para el satélite del servicio activo (grados)	35,0	35,0	70,0( <sup>3</sup> )
Gama del SFS (km)	38 180	1 117	41 784
Pérdida de geometría del haz (dB)	162,5	132,0	163,4
Centro de dfp fuera de banda de la zona proyectada, (dB(W/(m <sup>2</sup> · 20 MHz)))	-134,7	-131,4	-123,8
Coefficiente de dispersión (dB)	9,4	9,4	-5,5( <sup>4</sup> )
Anchura del haz del sensor (grados)	1,4	1,4	1,4
Gama del sensor (km)	1 124	1 124	1 124
Zona del haz del sensor (millones de m <sup>2</sup> )	592	592	592
Ángulo de elevación del sensor (grados)	35	35	35
Zona del haz proyectada (millones de m <sup>2</sup> )	1 033	1 033	1 033
Potencia dispersada (dB(W/20 MHz))	-35,3	-33,2	-37,0
Trayecto al sensor (dB)	-174	-174	-174
Ganancia de antena del sensor (dBi)	41	41	41
Densidad espectral de potencia recibida (dB(W/(m <sup>2</sup> · 20 MHz)))	-168,3	-166,2	-170,0
Umbral de interferencia (dB(W/20 MHz))	-163	-163	-163
Margen (dB)	5,3	3,2	7,0

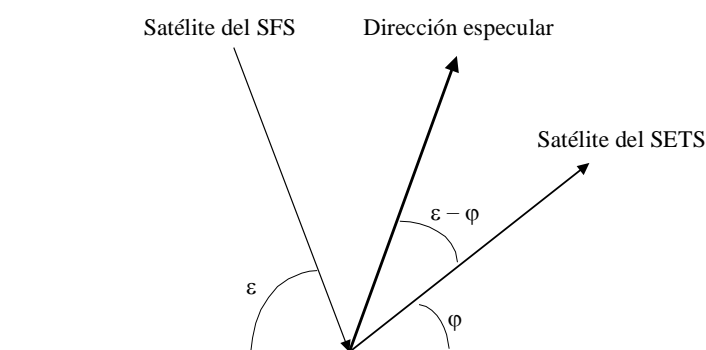
(<sup>1</sup>) Como se explicó en el texto, la gama de porcentaje excede la gama de validez de la máscara fuera de banda, y la integración de la máscara fuera de banda ignora la contribución de la interferencia de la región más allá de la frontera de no esenciales en el 200% de la anchura de banda necesaria.

(<sup>2</sup>) La anchura de banda de referencia del umbral es 1/5 la anchura de banda del sensor.

(<sup>3</sup>) Los sistemas HEO se diseñan generalmente para ángulos de elevación altos, 70° aproximadamente.

(<sup>4</sup>) La propuesta más cercana a la componente especular es un desplazamiento de 12,5°, que presenta el coeficiente más pequeño.

FIGURA 18

**Desplazamiento del eje del sensor del SETS de la reflexión especular**

1633-18

Conforme al § 3.2 del Anexo 1 de la Recomendación UIT-R SA.1449, el coeficiente de dispersión apropiado para este desplazamiento sería el valor correspondiente a la mitad de este desplazamiento tomado de la Fig. 12 en la tasa de aparición de interés. Con un ángulo de elevación de satélite del SFS de  $70^\circ$  y de  $35^\circ$  del satélite del SETS, el desplazamiento de la mitad sería de  $17,5^\circ$  y el coeficiente de dispersión al 1% de la tasa de aparición conforme a la Fig. 16 sería de  $-5,5$  dB aproximadamente.

La densidad espectral de la potencia dispersada presenta una variación de 4 dB aproximadamente entre los tres sistemas. El margen neto frente a esta interferencia es positivo en cada caso, en el que el sistema LEO-N tiene el margen más pequeño.

#### 4.2.4.3 Interferencia fuera de banda conforme al número 1.153 del RR

El objetivo de este Artículo es proporcionar una definición de anchura de banda ocupada en el RR que está basado en la potencia de una emisión. En este estudio, se supone que la anchura de banda ocupada está totalmente dentro de la banda atribuida y que no más del 0,5% de la potencia cae por encima o por debajo de la banda atribuida. Si éste fuera el caso, la potencia media sea por encima o por debajo de la banda atribuida no ha de ser mayor que  $-23$  dB relativos a la potencia total de la emisión. En este caso, se supone que la distribución de esta potencia de emisión no deseada es uniforme a través de una anchura de banda igual a la anchura de banda del servicio activo. En consecuencia, la emisión no deseada fuera de banda dentro de la banda del servicio pasivo procedente del caso GSO-VX sería ajustada por la relación  $10 \log(100/250)$ . Teniendo en cuenta que los casos LEO-N y USAKU-H1 tienen anchuras de banda menores que la banda del servicio pasivo, esta banda está sujeta enteramente a la atribución de la emisión no deseada.

Como el umbral de interferencia está referido a 20 MHz, se efectúa el nuevo ajuste de anchura de banda de  $10 \log(20/100) = -7$  dB.

Con estas consideraciones, se indica en el Cuadro 21 un balance de potencia donde figuran los márgenes frente a la interferencia.

### 4.3 Valores obtenidos

El criterio de interferencia se satisface para los casos de los sistemas OSG y no OSG estudiados que funcionan en sus niveles de p.i.r.e. propuestos. Para casos en que los sistemas del SFS funcionan en los límites de dfp máximos admitidos conforme al Artículo 21 del RR, los cálculos que figuran en el § 4.2.2.1 indican que el criterio de interferencia del SETS se excede hasta un valor de 14 dB cuando se considera la repercusión de dos satélites no OSG.

CUADRO 21

**Márgenes de interferencia estimados para sistemas del SFS típicos conformes al número 1.153 del RR**

	Sistema del SFS		
	GSO-VX	LEO-N	USAKU-H1
p.i.r.e. (dBW)	47,0	17,6	58,0
Factor OAB (dB) <sup>(1)</sup>	-23,0	-23,0	-23,0
Anchura de banda del transpondedor del SFS (MHz)	250,0	4,9	24,0
Anchura de banda del sensor (MHz)	100	100	100
Ajuste de anchura de banda OAB (dB) <sup>(2)</sup>	-4,0	0,0	0,0
Ajuste de la anchura de banda de umbral (dB)	-7,0	-7,0	-7,0
p.i.r.e. equivalente OAB (dB(W/20 MHz))	13,0	-12,4	28,0
Gama del SFS (km)	38 180	1 117	41 784
Pérdida de geometría del haz (dB)	162,5	132,0	163,4
Ángulo de incidencia de referencia (grados)	55,0	55,0	20,0
dfp fuera de banda en el punto de dispersión (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-149,9	-136,0	-129,2
Coefficiente de dispersión (dB)	9,4	9,4	-5,5
Anchura del haz del sensor (grados)	1,4	1,4	1,4
Gama del sensor (km)	1 124	1 124	1 124
Zona del haz del sensor (millones de m <sup>2</sup> )	592,5	592,5	592,5
Ángulo de elevación del sensor (grados)	35,0	35,0	35,0
Zona del haz proyectada (millones de m <sup>2</sup> )	1 033	1 033	1 033
Potencia dispersada (dB(W/20 MHz))	-52,5	-47,2	-51,0
Trayecto al sensor (dB)	-172,6	-172,6	-172,6
Ganancia de antena del sensor (dBi)	41	41	41
Densidad espectral de potencia recibida (dB(W/(m <sup>2</sup> · 20 MHz)))	-185,5	-180,2	-184,0
Umbral de interferencia (dB(W/20 MHz))	-163,0	-163,0	-163,0
Margen (dB)	22,5	17,2	20,4

<sup>(1)</sup> Se supone 0,5% fuera de la atribución de cada lado.

<sup>(2)</sup> Se supone una potencia fuera de banda uniformemente distribuida sobre la anchura de banda igual a la anchura de banda del servicio activo.

La compatibilidad se producirá en todos los casos considerados precedentemente si la anchura de banda ocupada de la emisión del SFS se encuentra totalmente dentro de la banda atribuida. Sin embargo, esto puede no ser posible para el servicio activo, o puede requerir que el SFS soporte la carga de tener que utilizar métodos de mitigación de la interferencia tales como filtrado o banda de guarda.

De conformidad con la Recomendación UIT-R SM.1541, en el Cuadro 22 se resumen los criterios de rebasamiento de interferencia calculado para cada uno de los casos tratados en los § 4.2.1, 4.2.2 y 4.2.3 y las separaciones de frecuencias indicadas en la Fig. 15 para la anchura de banda necesaria especificada en estudio.

CUADRO 22

**Resumen del umbral de rebasamiento de interferencia y cálculos de separación de frecuencia**

	<b>Rebasamiento del umbral de interferencia (dB)</b>	<b>Desplazamiento de frecuencia calculado (%)</b>	<b>Anchura de banda de la portadora (MHz)</b>	<b>Banda de guarda calculada (MHz)</b>
GSO-VX	0	–	–	–
dfp máxima del SFS OSG	4	34	36 <sup>(1)</sup>	5
FSAT-MULTI 1-B	0	–	–	–
dfp máxima del SFS no OSG	14	63	41	26
USAKU-H1	1 (apogeo) 6 (perigeo)	3 (apogeo) 20 (perigeo)	24	1 (apogeo) 5 (perigeo)
dfp máxima del SFS HEO	4 (apogeo) 6 (perigeo)	13 (apogeo) 20 (perigeo)	24	3 (apogeo) 5 (perigeo)

<sup>(1)</sup> Anchura de banda de transpondedor del SFS típico.

## 5 Técnicas de mitigación de la interferencia

Los diseños de satélite OSG y no OSG indicados anteriormente que funcionan con niveles de densidad de p.i.r.e. considerablemente menores que los niveles máximos estipulados en el Artículo 21 del RR, no requieren técnicas de mitigación de la interferencia. Sin embargo, puede ser necesario aplicar técnicas de reducción de interferencia en el caso del sistema del SFS de órbita elíptica HEO propuesto, así como para todos los tipos de sistemas del SFS que funcionan con densidades de p.i.r.e. superiores que las redes del SFS indicadas anteriormente si producen niveles de dfp en la superficie de la Tierra que se acercan a los límites indicados en el Cuadro 21-4 del RR.

En tales casos, estando la anchura de banda ocupada contenida totalmente dentro de la banda atribuida al SFS habría compatibilidad entre los dos servicios. Sin embargo, la repercusión sobre el SFS de esta obligación podría ser importante en pérdidas de capacidad a través de la aplicación de una banda de guarda conforme al Apéndice 30B del RR o a la instalación de filtrado adicional.

Esto se debe a que el agregado de un filtro de salida a una estación espacial produce costos de construcción adicionales y retardos de tiempo debidos a la construcción del diseño y las pruebas del filtro. Además, los filtros causan pérdidas de inserción después del amplificador de alta potencia, que implica la instalación de un amplificador de mayor potencia para mantener la misma capacidad

de red. El amplificador de mayor potencia requiere más peso y energía en la alimentación de la estación espacial que tiene repercusiones en el costo de la misma. Asimismo, la inserción de un filtro aumenta el retardo de fase que puede producir la necesidad de ecualización en el terminal que influye en el costo final.

La compatibilidad en estos casos se puede obtener por medios menos onerosos que el que surge de la plena conformidad con el número 1.153 del RR. Por ejemplo, controlar el porcentaje de la potencia total fuera de banda en menos del 4% parece ser suficiente para satisfacer los criterios de interferencia del SETS en las hipótesis para el caso más desfavorable con que se efectuaron los cálculos precedentes. El empleo de emisiones en el SFS cuyos espectros fuera de banda tienen una caída más rápida que la máscara conforme a la Recomendación UIT-R SM.1541 podría dar como resultado un desplazamiento de frecuencia menor como porcentaje de la anchura de banda necesaria que se debe obtener para satisfacer los criterios del servicio pasivo. Se debe observar que los valores de la banda de guarda calculados en el Cuadro 20 se basan en anchuras de banda de portadora especificadas para determinados sistemas considerados y que anchuras de banda de portadora menores podrían requerir bandas de guarda más reducidas para satisfacer el criterios de protección del SETS. Es necesario emprender estudios más amplios para establecer si los sistemas del SFS pueden emplear razonablemente los métodos de mitigación de la interferencia mencionados anteriormente.

## **6 Resultados de los estudios**

### **6.1 Resumen**

El presente estudio aborda un análisis de compatibilidad entre el SETS (pasivo) en la banda 10,6-10,7 GHz y el servicio fijo por satélite (espacio-Tierra) en la banda 10,7-10,95 GHz.

En este estudio se consideraron dos radiómetros de microondas distintos del SETS (pasivo) y tres tipos diferentes de redes de satélite del SFS, es decir redes de satélite OSG y no OSG (que incluyen órbitas HEO/elípticas). Los cálculos se efectuaron utilizando niveles de p.i.r.e./portadora especificados para los sistemas propuestos, así como para niveles de p.i.r.e./portadora para el caso más desfavorable que producen el nivel máximo de d<sub>fp</sub> en la superficie de la Tierra determinado por el Artículo 21 del RR.

Algunos sistemas del SFS que funcionan en niveles de densidad de p.i.r.e. máximos que se ajustan a los límites de d<sub>fp</sub> estipulados en el Artículo 21 del RR para satisfacer los criterios de protección del SETS durante el 100% del tiempo, pueden requerir técnicas de reducción de interferencia que producen una reducción de las emisiones no deseadas de hasta 14 dB para satélites no OSG y de 4 dB para satélites OSG. Esta reducción posiblemente se podría obtener de conformidad con el número 1.153 del RR (suponiendo que la anchura de banda ocupada total está dentro de la banda del SFS y que no más del 0,5% de la potencia cae por encima o por debajo de la banda atribuida), o por alguna combinación de controlar la potencia fuera de banda total de la emisión del SFS que cae dentro de la banda del SETS (pasivo), y/o emplear desplazamientos de frecuencia dentro de la banda atribuida del SFS. Se deben efectuar mayores estudios para determinar si todos los sistemas del SFS pueden satisfacer estas condiciones. Para los casos particulares considerados en este análisis, se calcularon desplazamientos de frecuencia de hasta el 63% de la anchura de banda necesaria sobre la base de la máscara de emisión fuera de banda conforme a la Recomendación UIT-R SM.1541.

Como se indica en el § 2.2 no fue posible efectuar un análisis de interferencia sobre sistemas del SFS que utilizan en la Región 1 la atribución de enlace ascendente 10,7-11,7 GHz a través del número 5.484 del RR (limitada a enlaces de conexión para el servicio de radiodifusión), dado que actualmente no se dispone de información sobre dichos sistemas. Si se utilizaran estos sistemas,



podrían constituir un problema importante para los sensores del SETS (pasivo) pues estos enlaces están proyectados para el sentido Tierra-espacio. El tiempo durante el cual la señal enviada por dichas estaciones terrenas del SFS se encuentra en el haz principal o en el primer lóbulo lateral de la antena del SETS podría ser considerable.

## **6.2 Conclusiones**

Los criterios de interferencia del SETS se satisfacen para los casos de sistemas OSG y no OSG que funcionan en los niveles de p.i.r.e./portadora propuestos. Algunos sistemas del SFS que funcionan en niveles de densidad de p.i.r.e. máximos que se ajustan a los límites de dfp establecidos en el Artículo 21 del RR podrían requerir una reducción adicional de 14 dB de la potencia de emisión no deseada. En dichos casos, estando la anchura de banda ocupada contenida completamente dentro de la banda atribuida al SFS se podría obtener compatibilidad entre los dos servicios. En el caso especial de satélites HEO, es improbable que se produzcan eventos de interferencia en razón que transmiten mayormente en el apogeo de su órbita y no hay emisión en su perigeo. El efecto de dispersión se puede modificar aplicando los criterios de indisponibilidad de la Recomendación UIT-R SA.1029.

## **Anexo 10**

### **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**

#### **1 SRA**

##### **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.

##### **1.2 Tipo de observaciones**

###### **1.2.1 Observaciones con antena parabólica simple**

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.

### 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.

### 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 d<sub>fp</sub> 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 d<sub>fp</sub> 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.

#### **1.4 Características operacionales**

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.

## **2 SFS**

### **2.1 Banda de transmisión atribuida**

La banda del servicio activo considerado se extiende de 10,7 a 10,95 GHz.

### **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.

### **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.

### **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.

### **2.5 Características operacionales**

Con fines de compartición con el servicio terrenal fijo, el límite de dfp 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.

## **3 Umbral de compatibilidad**

Véase el § 1.3.

## **4 Evaluación de la interferencia**

### **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.

### **4.2 Cálculo del nivel de interferencia**

Los cálculos efectuados están todos basados en la información suministrada en el § 4.3 como se indica en el § 4.1.

### **4.3 Valores obtenidos**

#### **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. 19 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 J y ( $\sim -247 \text{ dB}(\text{W}/(\text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1}))$ ).

FIGURA 19

Mapa del objeto galáctico «3C84» en la banda 10,6-10,7 GHz con el radiotelescopio de 100 m de Effelsberg\*



1633-19

- \* 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.

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 20 muestra el mapa consecuente en el mismo campo de  $30' \times 12'$  del cielo como se ilustra en la Fig. 19, 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. 20 la imagen del objeto galáctico 3C84 que se muestra en la Fig. 19. Sin embargo, esta fuente puntual muy intensa ya no es visible en razón del flujo causado por las emisiones del satélite.

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. 21), 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. 20, el objeto galáctico ya no es visible debido a la interferencia recibida.

FIGURA 20

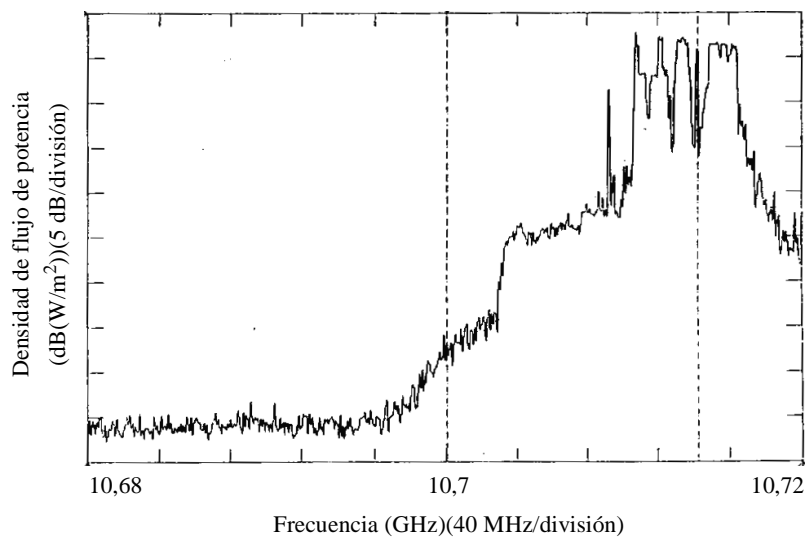
Mapa de la misma extensión del cielo que se muestra en la Fig. 19, captada por el radiotelescopio de Effelsberg, ahora afectado por la interferencia causada por el satélite en la banda adyacente



1633-20

FIGURA 21

Medición de la fuente de interferencia efectuada en la estación de comprobación técnica de Leeheim (año 1995)



1633-21

En la Fig. 21 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  $-160$  dB(W/m<sup>2</sup>) 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  $-145,6$  dB(W/m<sup>2</sup>), es decir 14,4 dB por encima del umbral de  $-160$  dB(W/m<sup>2</sup>) 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. 20.

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 23 impondrían restricciones indebidas en los sistemas del SFS que actualmente funcionan en la banda de frecuencias 10,7-10,95 GHz.

CUADRO 23

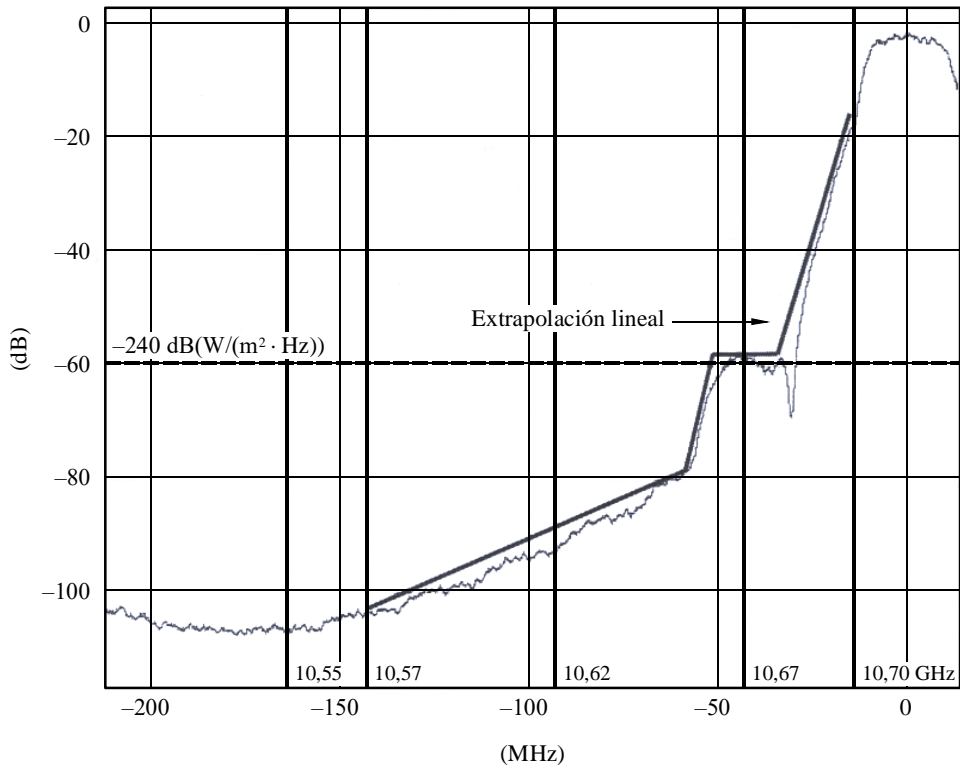
**Niveles de emisiones no deseadas que caen dentro de la banda de frecuencias 10,57-10,7 GHz en puntos determinados**

<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. 22 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. 23).

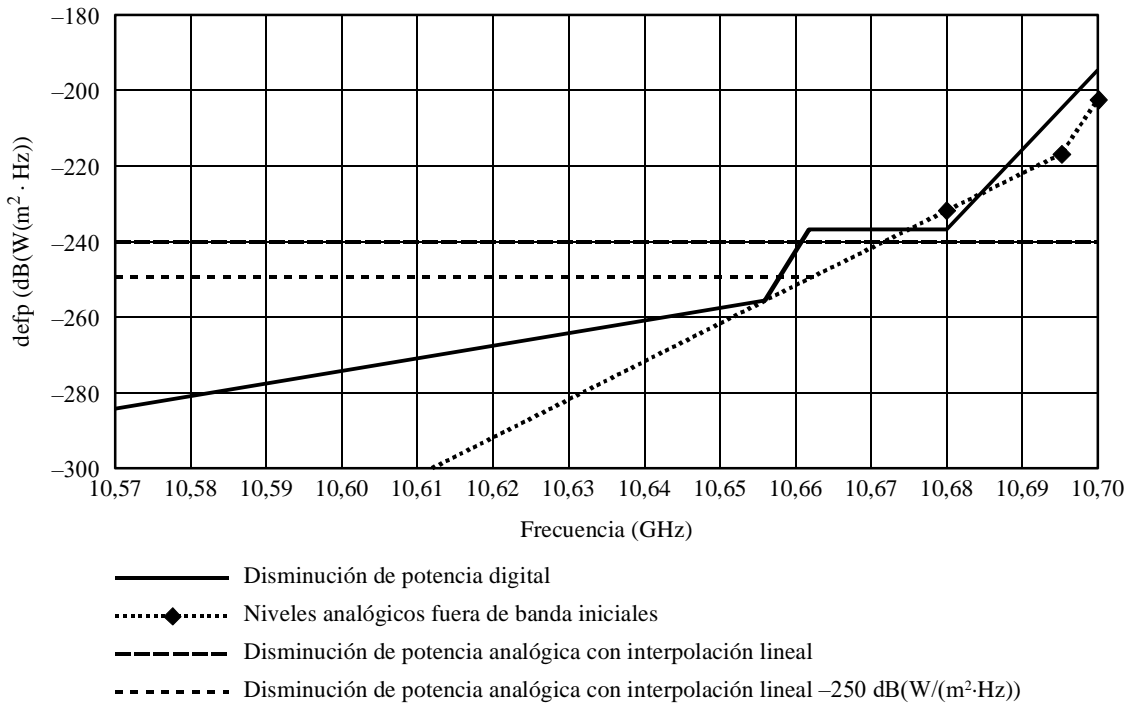
FIGURA 22  
Máscara de emisión fuera de banda digital



Velocidad de símbolos: 22 Msímbolos/s, régimen de caída 35%

1633-22

FIGURA 23  
Comparación de niveles de defp conforme al tipo de modulación

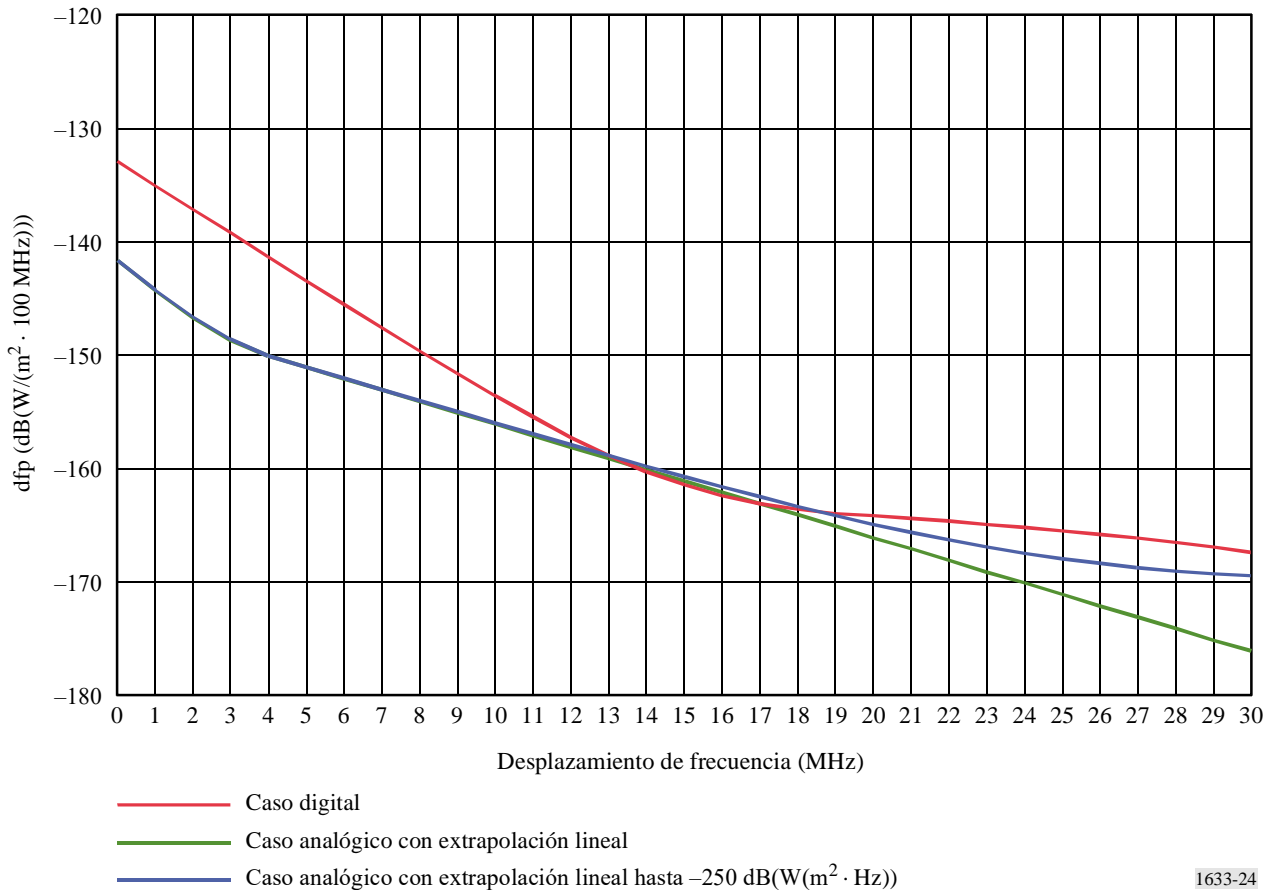


1633-23



A través de la Fig. 23 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. 24).

FIGURA 24  
**dfp integrada sobre una anchura de banda de 100 MHz conforme al tipo de modulación**



En la Fig. 24 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. 24 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/(m² · 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.

### 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 geoestacionarios 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  $-226,2 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ .

#### 4.3.2.1 Simulación por computadora

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 § 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.

#### 4.3.3 Sistemas de satélites no OSG

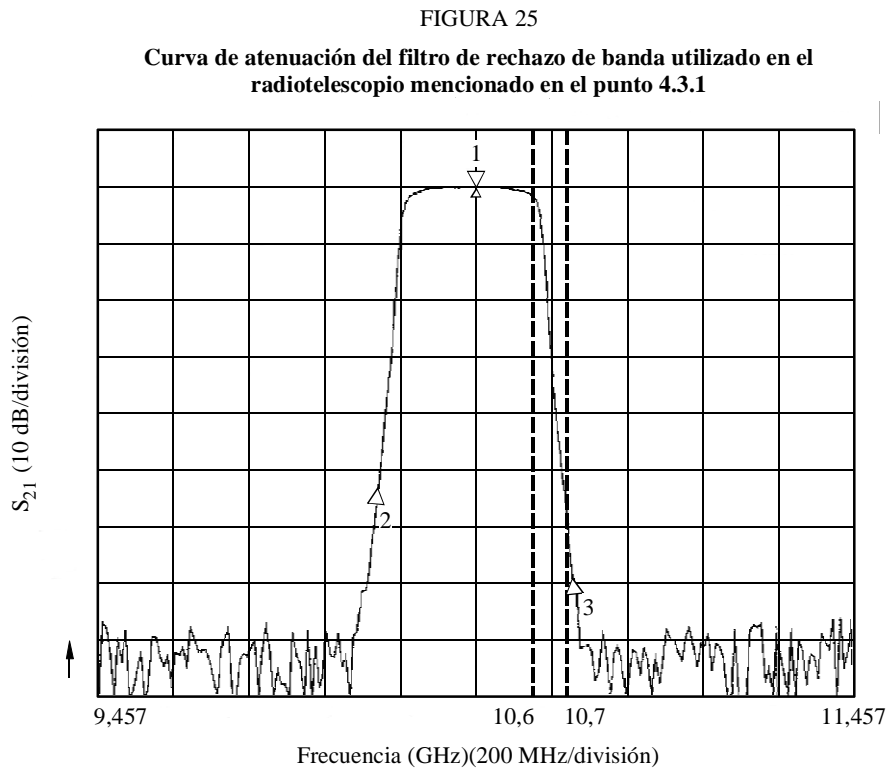
Hasta el presente no hay sistemas de Satélites no OSG que funcionan en la banda 10,7-10,95 GHz pero se prevé que varios de ellos se pondrán en funcionamiento en un futuro inmediato. Se efectuaron cálculos preliminares para uno de dichos sistemas (F-SATMULTI B), empleando el método de dfpe (véanse las 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.

## 5 Técnicas de mitigación de la interferencia

### 5.1 SRA

Para continuar las observaciones del SRA en la situación de interferencia descrita en el § 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. 25 muestra la función de transferencia para el filtro según datos del fabricante.



La marca 3 en la Fig. 25 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.

## 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 geoestacionarios 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 § 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 un 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.

## 5.3 Repercusiones posibles

### 5.3.1 SRA

Desde el punto de vista de la radioastronomía, no es técnicamente posible filtrar la interferencia mencionada en el § 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.

### 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.

## 6 Resultados de los estudios

### 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 § 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.

## 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.

## Anexo 11

### Análisis de compatibilidad entre el SETS (pasivo) en la banda 21,2-21,4 GHz y sistemas del SFS (espacio-Tierra) y del SMS (espacio-Tierra) en la banda 20,2-21,2 GHz

#### 1 SETS (pasivo)

##### 1.1 Banda atribuida

El Cuadro 24 proporciona una lista de los servicios en la banda 21,2-21,4 GHz y las bandas adyacentes al mismo.

CUADRO 24

#### Atribuciones en bandas adyacentes

Servicios en la banda atribuida inferior	Banda pasiva	Servicios en la banda atribuida superior
20,2-21,2 GHz	21,2-21,4 GHz	21,4-22 GHz
FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL POR SATÉLITE (espacio-Tierra) Frecuencias patrón y señales horarias por satélite (espacio-Tierra) 5.524	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (pasivo) FIJO MÓVIL INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo)	FIJO MÓVIL RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE (Regiones 1 y 3) 5.530 5.531

NOTA 1 – Diferente de otras bandas, esta atribución no es exclusiva. El SRS entrará en vigor el 1 de abril de 2007.

## 1.2 Aplicación (tipo de observación)

Esta banda se utilizó para el satélite experimental Nimbus-7. Para el instrumento de la (unidad avanzada de sondeo por microondas) (AMSU) se utilizó la banda 23,6-24 GHz. Para la banda 21,2-21,4 GHz se adoptarán las características de antena de la AMSU en razón que esta banda se utilizaría como soporte de otras mediciones en este instrumento y, además, por ser una alternativa de la banda 23,6-24 GHz.

Esta banda y la banda 23,6-24 GHz se utilizan para efectuar mediciones de vapor de agua y de agua líquida. Se utilizan, por lo tanto, para mediciones atmosféricas y de superficie. Estas bandas se encuentran sobre cada lado de la raya espectral de vapor de agua de 22,235 GHz. Las mediciones atmosféricas se utilizan conjuntamente con las mediciones de la temperatura del oxígeno, O<sub>2</sub>, para eliminar el efecto del vapor de agua en los perfiles de temperatura.

## 1.3 Criterios de protección requeridos

Las tres Recomendaciones siguientes establecen los criterios de interferencia para sensores pasivos.

- Recomendación UIT-R SA.515 – Bandas de frecuencias y anchuras de banda utilizadas para la detección pasiva por satélite.
- Recomendación UIT-R SA.1028 – Criterios de calidad para la teledetección pasiva por satélite.
- Recomendación UIT-R SA.1029 – Criterios de interferencia para la teledetección pasiva por satélite.

## 1.4 Características operacionales

El Cuadro 25 proporciona las características operacionales del sensor en estudio.

CUADRO 25

### Parámetros del sensor de exploración AMSU

Parámetro	Valor
Altitud (km)	850
Órbita	polar heliosíncrona
Ganancia de la antena en el lóbulo principal (dBi)	36
Anchura de haz de 3 dB de la antena (grados)	3,3
Ganancia del lóbulo lateral y del lóbulo posterior (dBi)	-10
Diámetro del píxel en el nadir (km)	49
Píxeles por barrido	90
Anchura del barrido (km)	2 300

## 2 SFS (espacio-Tierra) y SMS (espacio-Tierra)

### 2.1 Banda de transmisión atribuida

Véase el Cuadro 24.



## 2.2 Aplicación

Los servicios activos que son objeto de estudio en este Anexo son el SFS (espacio-Tierra) y el SMS (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 20,2-21,2 GHz.

## 2.3 Niveles basados en disposiciones del RR y Recomendaciones del UIT-R

### 2.3.1 Número 1.153 del RR

El RR de la UIT define la *anchura de banda ocupada* como sigue:

«**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 superior de la anchura de banda ocupada estuviera en el límite inferior o superior de la atribución del servicio de satélite, la potencia total de las emisiones no deseadas en frecuencias por encima de la anchura de banda atribuida no debería ser mayor que 0,5% de  $P$ , donde  $P$  es la potencia dentro de la banda. Por consiguiente, la potencia total de la emisión no deseada en frecuencias de la banda del SETS y superiores no será mayor que  $P - 23$  dB.

### 2.3.2 Recomendación UIT-R SM.1541

La Recomendación UIT-R SM.1541 proporciona información sobre las emisiones no deseadas que caen fuera de la anchura de banda atribuida.

### 2.3.3 Recomendación UIT-R SM.329

La Recomendación UIT-R SM.329 proporciona información sobre las emisiones no deseadas que caen dentro del dominio de no esenciales.

Aun cuando se determinan los niveles de las emisiones no esenciales de banda estrecha y de banda ancha se observa que, con excepción de los componentes no esenciales, las emisiones se reducen más allá del dominio fuera de banda. Este análisis considerará la reducción de las emisiones en 40 dB por década. El efecto de las emisiones no esenciales será tratado como componentes acumulativos de diversos emisores.

## 2.4 Características del transmisor

Las características del transmisor se obtienen de la Recomendación UIT-R S.1328-3 – Características de los sistemas de satélite que se han de tener en cuenta en los análisis de compartición de frecuencias entre sistemas de satélites geostacionarios (OSG) y no OSG del servicio fijo por satélite (SFS) incluidos los enlaces de conexión para el servicio móvil por satélite (SMS). En esta Recomendación figuran Cuadros que indican una variedad de sistemas de satélite que son representativos de los sistemas que se consideran para su utilización en diversas bandas.

## 2.5 Características operacionales

Se especificaron veintiséis sistemas del SFS o SMS en la referencia para utilización en la banda 20,2-20,4 GHz. En los mismos se incluyen sistemas OSG y no OSG.

Ningún sistema no OSG indicado en la lista de referencia funciona en la gama de frecuencias 19,7 a 20,3 GHz. La lista indica las características de los sistemas que funcionan por debajo de 19,7 GHz. A pesar de la falta de listados, no está prohibida la operación de sistemas no OSG en esta banda.

## 2.6 Nivel de transmisión dentro de la banda

Véanse los Cuadros 26 y 27.

CUADRO 26

### Características del enlace descendente de las estaciones espaciales OSG

Sistema	GSO-20	GSO-30	GSO-F	GSO-13
Servicio	SFS/SMS	SFS	SMS	SFS
Polarización	LHCP/RHCP	LHCP/RHCP		RHCP/LHCP
Modulación	AMDF/MDP-4	Fase	MDF/MDT/ MDP-4	
Anchura de banda (MHz)	1,8	3 200	125	81
p.i.r.e. (dBW)	57	74	61,8	59,5
Ganancia de antena (dBW)	40,9	55	49,0	46,5
Número de satélites	Desconocido	12	Desconocido	17

CUADRO 27

### Características del enlace descendente de las estaciones espaciales no OSG

Sistema	LEO A	LEO B	LEO SAT-1	Quasi-GSO 31
Servicio	SMS	SMS	SFS	SFS
Órbita	Circular	Circular	Circular	Elíptica
Altitud (km)	780	10 355	700	1 000-43 000
Inclinación (grados)	86	50	98,2	63
Satélites en un plano	11	4	40	1
Planos	6	3	21	8
Separación en el plano (grados)	32,7	90	9	–
Puesta en fase del plano (grados)	31,6	30	Aleatoria	Varía
Polarización	LHCP	RHCP	LHCP/RHCP	LHCP/RHCP
Modulación	AMDF/MDP-4	AMDC	MDP-4 conformada AMDF	Fase
Anchura de banda (MHz)	4,37	2,5	500	3 200
p.i.r.e. (dBW)	15	5,31	47,5	74
Ganancia de antena (dBi)	26,9	35,7	28,9	55

### 3 Umbral de compatibilidad

Hay dos criterios de compatibilidad para la banda 21,2-21,4 GHz. El primero es establecer un umbral de potencia de  $-163$  dBW en 100 MHz. Este es el nivel de interferencia máximo de todas las fuentes. El segundo es el criterio de disponibilidad de 99% de todas las células de medición o el 1% de las pérdidas de los píxeles de medición.

La interferencia se recibe posiblemente de diversas fuentes que provienen de múltiples servicios simultáneamente. El valor que figura en la Recomendación UIT-R SA.1029 (para una determinada banda) es el nivel de interferencia máximo admisible para el sensor pasivo.

Este Anexo describe un análisis de la interferencia generada por un solo servicio activo. Por tanto, será necesario efectuar mayores estudios para determinar la repercusión de múltiples servicios activos por encima y por debajo de la banda pasiva.

### 4 Evaluación de la interferencia

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

El nivel de interferencia de las emisiones no deseadas se calcula para cada satélite del SFS en el § 4.2.2.

##### 4.1.1 Utilización de la máscara conforme a la Recomendación UIT-R SM.1541 para la determinación de emisiones fuera de banda

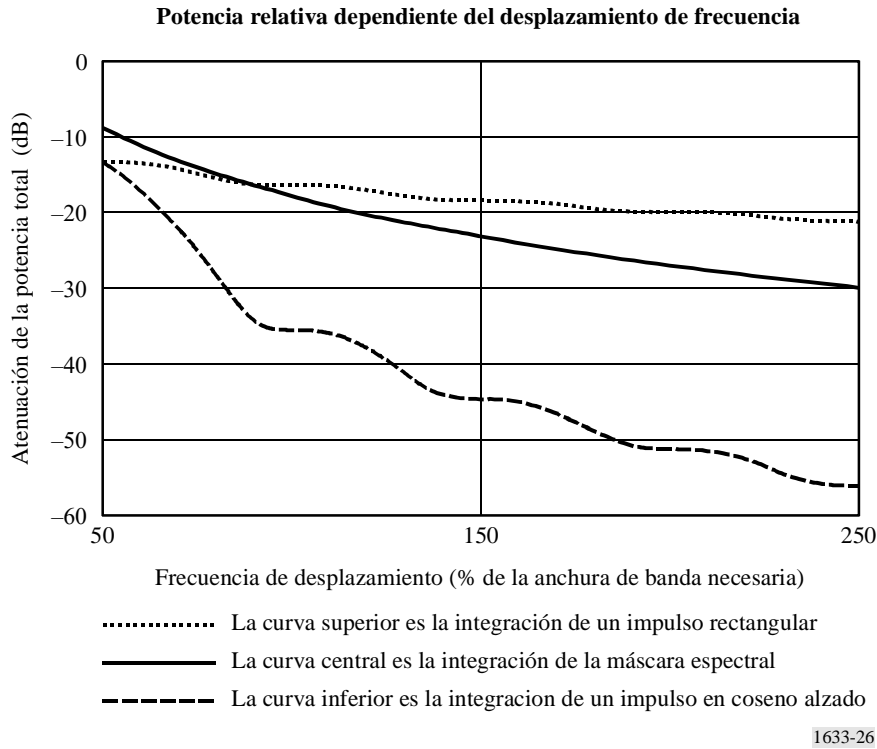
En el Anexo 5 de la Recomendación UIT-R SM.1541 se especifica una máscara genérica para las emisiones en el dominio fuera de banda en estaciones terrenas y espaciales del SFS. La expresión tiene la siguiente forma:

$$40 \log \left( \frac{F}{50} + 1 \right) \quad \text{dBsd}$$

donde  $F$  es el desplazamiento en frecuencia desde el borde de la banda total asignada, expresado en términos de porcentaje de la anchura de banda necesaria de la atribución o el transpondedor inferior, cualquiera que sea el menor. La máscara se extiende hasta el primero de dos puntos, a saber, la frontera de no esenciales o el punto en el que la máscara coincide con el límite de no esenciales del Apéndice 3 del RR (véase el Anexo 5 de la Recomendación UIT-R SM.1541). Esto proporciona la atenuación mínima para emisiones fuera de banda relativas a la densidad espectral de potencia máxima dentro de la banda adyacente asignada. La integración de esta máscara para potencias fuera de banda se muestra en la Fig. 26. Esta figura también incluye la integral de un impulso rectangular y un impulso conformado de coseno alzado.

La integración precedente es la potencia del porcentaje de la anchura de banda especificada. Sin embargo en casos en que la anchura de banda necesaria de las emisiones es amplia, la anchura de banda del sensor pasivo es un porcentaje pequeño de la misma. Para una anchura de banda de 500 MHz, el sensor pasivo sólo abarca el 20% de su anchura de banda. Para el sistema con una anchura de banda de 3 200 MHz el sensor pasivo sólo cubre el 3% de la anchura de banda necesaria. La potencia en la anchura de banda del sensor pasivo es menor que la indicada en la figura. Para el caso en que la anchura de banda necesaria sólo se encuentra en la banda activa, la banda pasiva se extiende desde el punto de 50% al punto de 70% para el sistema de 500 MHz y del punto de 50% al punto de 53% para el sistema de 3 200 MHz. Para estos casos las potencias son las que se indican en el Cuadro 28.

FIGURA 26



CUADRO 28

**Potencia relativa en una anchura de banda de sensor pasivo**

Anchura de banda necesaria (MHz)	Máscara espectral conforme a la Recomendación UIT-R SM. 1541 (dB)	Impulso rectangular (dB)	Impulso en coseno alzado (dB)
125	-9,1	-15,4	-13,7
500	-10,8	-20,5	-14,4
3 200	-16,7	-44,4	-21,8

**4.1.2 Hipótesis que la anchura de banda ocupada no se extiende más allá de la banda del servicio espacial**

Si un nivel de potencia de emisión no deseada de  $P - 23$  dB no causa interferencia excesiva, una posible solución de mitigación de la interferencia es mantener la anchura de banda ocupada dentro de la banda atribuida (véase el número 1.153 del RR).

**4.1.3 Umbral de interferencia**

El umbral de interferencia del servicio pasivo conforme a la Recomendación UIT-R SA.1029 es de  $-163$  dBW en 100 MHz para sensores que funcionan en frecuencias cercanas a 20 GHz.

## 4.2 Cálculo del nivel de interferencia

### 4.2.1 Trayecto directo de la interferencia

En los Cuadros 29 y 30 se indican los niveles de las emisiones no deseadas producidos por satélites del SFS en receptores del SETS mediante un enlace radioeléctrico directo del transmisor del SFS por el lóbulo posterior de la antena del sensor del SETS para sistemas del SFS OSG y no OSG, respectivamente. Estos cálculos indican la magnitud del nivel de atenuación espectral, si lo hubiera, que se pudiera requerir si las emisiones fueran cocanal.

CUADRO 29

#### Niveles de potencia interferente de redes de satélite del SFS OSG

Red de satélite del SFS	GSO-20	GSO-30	GSO-F	GSO-13
Altitud del SFS (km)	35 786	35 786	35 786	35 786
Altitud del SETS (km)	850	850	850	850
Distancia de separación (km)	34 936	34 936	34 936	34 936
Potencia de transmisión del SFS (dBW)	16	19	13	13
Ga Ganancia de antena del SFS (dBi)	40,9	55,0	49,0	46,5
p.i.r.e. del SFS (dBW)	57	74	61,8	59,5
Lar Anchura de banda del SFS (MHz)	1,8	3 200	125	81
Anchura de banda del SETS (MHz)	100	100	100	100
p.i.r.e. en la anchura de banda del SETS (dBW)	74,4	58,9	60,8	60,4
Ganancia de antena del lóbulo posterior del SETS (dBi)	-10	-10	-10	-10
Pérdidas en el espacio libre en 23,6 GHz (dB)	210,8	210,8	210,8	210,8
Nivel de interferencia cocanal (dBW)	-146,3	-161,8	-159,9	-160,4
Criterio de interferencia del SETS (dBW)	-163	-163	-163	-163
Diferencia entre el nivel de interferencia y el criterio del SETS (dB)	-16,7	-1,2	-3,1	-2,6

Estos cálculos suponen que el satélite del SFS está ubicado directamente por encima del satélite del SETS y que las emisiones no deseadas se reciben a través del lóbulo posterior de la antena del sensor del SETS, salvo en el caso de las redes LEO A y LEOSAT-1 en el que los satélites no OSG tienen una altitud inferior que la del satélite del SETS. En estos casos, se supone un valor de -10 dBi para la ganancia del lóbulo posterior del satélite no OSG en la dirección del SETS directamente sobre el mismo. Sin embargo, se debe señalar que los efectos de pantalla del cuerpo del satélite no fueron tenidos en cuenta al efectuar estos cálculos. Si bien los cálculos para esos dos satélites del SFS no OSG se basan en la ganancia de lóbulo lateral del sensor del SETS de -10 dBi, existe la posibilidad en esos casos que el haz principal del SETS se pueda apuntar al satélite del SFS no OSG debajo del mismo, produciendo así niveles de interferencia muy elevados en el receptor del SETS durante breves periodos de tiempo.

CUADRO 30

**Niveles de potencia interferente de redes de satélite del SFS no OSG**

Red de satélite del SFS	LEO A	LEO B	LEO SAT-1	Quasi-GSO 31	
Altitud del SFS (km)	780	10 355	700	1 000	43 000
Altitud del SETS (km)	850	850	850	850	850
Distancia de separación (km)	70 <sup>(1)</sup>	9 505	150 <sup>(1)</sup>	150	42 150
Potencia de transmisión del SFS (dBW)	-12	-30	19	19	19
Ganancia de antena del SFS (dBi)	-10,0	35,7	-10,0	55,0	55,0
p.i.r.e. del SFS (dBW)	15	5,31	47,5	74	74
Anchura de banda del SFS (MHz)	4,37	2,5	500	3 200	3 200
Anchura de banda del SETS (MHz)	100	100	100	100	100
p.i.r.e. en la anchura de banda del SETS (dBW)	28,6	21,3	40,5	58,9	58,9
Ganancia de antena del lóbulo posterior del SETS (dBi)	-10	-10	-10	-10	-10
Pérdidas en el espacio libre en 23,6 GHz (dB)	156,8	199,5	163,4	163,4	212,4
Nivel de interferencia cocanal (dBW)	-138,2	-188,1	-132,9	-114,5	-163,5
Criterio de interferencia del SETS (dBW)	-163	-163	-163	-163	-163
Diferencia entre el nivel de interferencia y el criterio del SETS (dB)	-24,8	25,1	-30,1	-48,5	0,5

<sup>(1)</sup> En este caso, el satélite del SFS no OSG está debajo del satélite del SETS.

#### 4.2.2 Interferencia por retrodispersión

Otra forma de potencia de interferencia en el servicio pasivo que se debe considerar es el caso en que las emisiones fuera de banda del SFS se dispersan hacia arriba desde la superficie de la Tierra hacia un sensor del SETS cercano. Para frecuencias de alrededor de 20 GHz, la energía dispersada tiene una componente especular importante. Por esta razón, la máxima interferencia se produce cuando:

- el sensor explora una zona de cobertura del SFS;
- el satélite del SFS, el sensor, el centro de la Tierra, y la intersección de los haces del sensor y del SFS están todos en el mismo plano;
- La intersección de los haces del sensor y del satélite del SFS se encuentra entre el nadir del satélite del SFS y el nadir del sensor; y
- el eje del haz del satélite del SFS y el eje del haz del sensor interceptan la Tierra en el mismo ángulo.

Si bien los modelos se construyeron para evaluar los posibles niveles de emisiones del SFS no deseadas en receptores del SETS debido al modo de propagación por retrodispersión, la exactitud de dichos modelos requiere efectuar estudios más profundos (véase el Apéndice técnico al Anexo 1).

### 4.3 Valores obtenidos

La discrepancia entre los criterios de protección de interferencia del SETS y la potencia interferente cocanal para satélites no OSG oscila entre  $-48,5$  dB y  $0$  dB. La discrepancia entre los criterios de protección de interferencia del SETS y la potencia interferente cocanal para sistemas OSG están en la gama de  $-1,2$  a  $-16,7$  dB.

Los niveles de las emisiones no deseadas que caen dentro de la anchura de banda del SETS se pueden reducir mediante la aplicación de las máscaras de emisión fuera de banda descritas en el § 4.1.1 o bien mantener la anchura de banda ocupada dentro de la banda atribuida como se describe en el § 4.1.2.

## 5 Técnicas de mitigación de la interferencia

### 5.1 SETS (pasivo)

En razón que el servicio pasivo no produce interferencia alguna a otros servicios, no se aplican técnicas de mitigación para reducir la interferencia. La única técnica de mitigación para los servicios pasivos es perder calidad de datos y disponibilidad. Sin embargo, ésta es una de las cuatro bandas que son tan sensibles y críticas para efectuar predicciones meteorológicas que cualquier compromiso en la calidad y fiabilidad de los resultados producida por emisiones fuera de banda excesivas podría poner en peligro la seguridad pública durante condiciones climáticas peligrosas (por ejemplo, inundaciones, tormentas, etc.).

### 5.2 SFS y SMS

- Bandas de guarda – Desplazamiento del canal más cercano del borde de la banda atribuida.
- Emisiones espectrales reducidas mediante el empleo de técnicas de modulación y filtrado eficaces. Se puede observar en la Fig. 26 que la forma de onda del impulso en coseno alzado tiene mucho menos interferencia posible que el impulso rectangular o la máscara espectral.
- Revisión de la máscara recomendada para que se ajuste más estrechamente al espectro real y que proporcione un límite para el servicio pasivo con respecto a la interferencia.

### 5.3 Repercusiones posibles

#### 5.3.1 SETS (pasivo)

La pérdida de estos datos debido a emisiones excesivas fuera de banda se pueden considerar inalterables y permanentes pues la contaminación de RF casi nunca mejora sino, por el contrario, tiende a empeorar. Este dato es tan crítico para las predicciones meteorológicas y climáticas que la reducción de su calidad afectará en alguna medida la seguridad pública.

#### 5.3.2 SFS y SMS

Las técnicas de reducción de la interferencia para sistemas que están actualmente en uso pueden no ser prácticas. La mejora de la eficacia espectral o la utilización de bandas de guarda se pueden efectuar a expensas de un mayor costo de los equipos o menor capacidad de canal, pero también puede mejorar la eficacia y la capacidad de canal. La repercusión primaria es probable que sea financiera en razón del costo adicional del menor espacio comercial y servicios de cliente reducidos.

## **6 Resultados de los estudios**

### **6.1 Resumen**

Este estudio se ocupa de la compatibilidad entre el SETS (pasivo) en la banda 21,2-21,4 GHz y los SMS y SFS (espacio-Tierra) en la banda 20,2-21,2 GHz. Las características de los sistemas fijos y móviles en la banda 21,2-22 GHz no se disponen. En consecuencia, será necesario efectuar estudios ulteriores.

### **6.2 Conclusiones**

De acuerdo con este análisis de compatibilidad y suponiendo que se aplica una máscara de emisión fuera de banda adecuada o que la anchura de banda ocupada del SFS está contenida plenamente dentro de la banda atribuida del SFS, parece manifiesto que la compatibilidad se puede obtener en todos los casos en que se utilizan satélites del SFS no OSG, excepto dos. Los análisis dinámicos de esos dos casos para determinar la disponibilidad del SETS pueden resolver la cuestión de compatibilidad de los mismos.

## **Anexo 12**

### **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**

## **1 Radioastronomía**

### **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».

### **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.



### 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.

### 1.4 Características operacionales

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 4096) 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.

## **2 SRS**

### **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.

### **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.

### **2.3 Niveles basados en disposiciones reglamentarias**

Anexo a la Resolución 525 (CAMR-92), 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 (CAMR-92), 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 definitivos, se aplicarán los procedimientos de la Sección B (procedimiento de coordinación entre estaciones espaciales del servicio de radiodifusión por satélite y sistemas espaciales de otras administraciones) y la Sección C (notificación, examen e inscripción en el Registro Internacional de Frecuencias de las asignaciones de estaciones espaciales del servicio de radiodifusión por satélite que se consideran en la presente Resolución) de la Resolución 33 (Rev.CMR-97).

## 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.

Esto representa las hipótesis para el caso más desfavorable que se podrían perfeccionar mediante estudios ulteriores.

Asimismo, este estudio se basó en un único sistema del SRS en razón de la falta de información de otros sistemas en el momento de efectuar el mismo. Estas características se podrían ampliar mediante nuevos estudios.

## 2.5 Características operacionales

Este Anexo sólo trata el caso de sistemas OSG. El caso de sistemas no OSG será objeto de ulterior estudio.

## 2.6 Nivel de transmisión dentro de la banda

Véase el § 2.3.

### 3 Umbral de compatibilidad

Véase el § 1.3.

### 4 Evaluación de la interferencia

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

Véase el § 2.4.

#### 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 31.

CUADRO 31

#### Niveles máximos de emisiones no deseadas de sistemas del SRS

Banda (GHz)	Nivel máximo de densidad espectral de flujo de potencia de la emisión de banda estrecha no deseada (dB(W/(m <sup>2</sup> · Hz)))	Nivel máximo de dfp de la emisión de banda ancha no deseada (dB(W/(m <sup>2</sup> · 290 MHz)))
22,21-22,5	-199	-145

#### 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 § 1.3) y los niveles de las emisiones no deseadas producidas por sistemas del SRS indicados en el Cuadro 31 conducen a los resultados que aparecen en el Cuadro 32. Los valores negativos que figuran en el Cuadro 32 indican que los criterios de protección para el SRA no se satisfacen en los niveles indicados en dB.

CUADRO 32

#### 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

Tipo de observación	Observaciones del continuum	Observaciones de raya espectral	Observaciones VLBI
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 parabólica simple, no se satisfacen los niveles umbral que figuran en la Recomendación UIT-R RA.769, en márgenes de 1 dB y 17 dB, respectivamente. En el caso de observaciones de raya espectral con antena parabólica simple, esta diferencia podría impedir cualquier observación útil en la banda. No obstante, se debe señalar que los niveles estimados para las emisiones no deseadas de sistemas del SRS son valores de defp máximos.

Si se efectúan cálculos más reales que incluyen, por ejemplo, el rechazo del filtro, el rechazo de los productos de intermodulación y las ganancias reales respectivas de los amplificadores del transmisor en la banda de radioastronomía y teniendo en cuenta la absorción atmosférica, la diferencia disminuiría al menos a los valores en que los criterios de protección para observaciones del continuum con antena parabólica simple y de VLBI se satisfacen.

## 5 Métodos de reducción de la interferencia

### 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.

*Bloqueo 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.

### 5.2 SRS

Filtros: Esto podría suponer la aplicación de filtrado de RF adicional en el sistema activo.

### 5.3 Repercusiones posibles

#### 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.

*Bloqueo en tiempo y/o frecuencia:* El bloqueo 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.

#### 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.

## **6 Resultados de los estudios**

### **6.1 Resumen**

Los cálculos indican que los criterios de protección examinados en el § 1.3 se satisfacen para las observaciones VLBI, se ajustan aproximadamente para las observaciones del continuum con antena parabólica simple, y no se ajustan para las observaciones de rayas espectrales. Sin embargo, éstos son cálculos para el caso más desfavorable. El perfeccionamiento del cálculo podría dar por resultado considerables mejoras de esos márgenes. Teniendo en cuenta que la diferencia en alcanzar los criterios de protección para las observaciones del continuum con antena parabólica simple es sólo de 1 dB para el caso más desfavorable, que está dentro de las tolerancias de medición razonables, cualquier mejora dará por resultado que se cumplan los criterios de protección para las observaciones del continuum con antena parabólica simple. Esta consideración se refleja en las conclusiones.

### **6.2 Conclusiones**

Los criterios de protección se satisfacen para observaciones de VLBI y del continuum con antena parabólica simple, pero no para observaciones de rayas espectrales con antena parabólica simple.

## **Anexo 13**

### **Análisis de compatibilidad entre el SETS (pasivo) en la banda 23,6-24 GHz y el SES en la banda 22,55-23,55 GHz**

#### **1 SETS (pasivo)**

##### **1.1 Banda atribuida**

La banda 23,6-24 GHz está atribuida al SETS (pasivo), al SRA y al SIE (pasivo). Se debe señalar que la banda 23,6-24 GHz está amparada por el número 5.340 del RR. Las atribuciones a la banda pasiva 23,6-24 GHz se indican en el Cuadro 33.

##### **1.2 Aplicación**

Las mediciones pasivas en torno de las frecuencias 23,8 GHz (contenido total de vapor de agua), 31,5 GHz (canal de ventana) y 90 GHz (agua líquida) proporcionan datos auxiliares que constituyen uno de los factores predominantes en el proceso de extracción de mediciones de temperatura efectuadas en el espectro de absorción de O<sub>2</sub>. Estas mediciones auxiliares deben tener características radiométricas y geométricas así como criterios de disponibilidad concordantes con los de las mediciones de temperatura.

## CUADRO 33

## Atribuciones en bandas adyacentes

Servicios en bandas atribuidas inferiores		Banda pasiva	Servicios en la banda atribuida superior
22,55-23,55 GHz	23,55-23,6 GHz	23,6-24 GHz	24-24,05 GHz
FIJO ENTRE SATÉLITES MÓVIL  5.149	FIJO MÓVIL	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (pasivo) RADIOASTRONOMÍA INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo) 5.340	AFICIONADOS AFICIONADOS POR SATÉLITE  5.150

NOTA 1 – La atribución entre satélites se puede utilizar para sistemas OSG y no OSG.

### 1.3 Criterios de protección requeridos

Las tres Recomendaciones siguientes establecen los criterios de interferencia para sensores pasivos:

Recomendación UIT-R SA.515 – Bandas de frecuencias y anchuras de banda utilizadas para la detección pasiva por satélite;

Recomendación UIT-R SA.1028 – Criterios de calidad para la teledetección pasiva por satélite;

Recomendación UIT-R SA.1029 – Criterios de interferencia para la teledetección pasiva por satélite.

Los criterios, que se aplican a las mediciones, son los siguientes:

- el primer criterio es la potencia interferente máxima recibida por el sensor del SETS de todas las posibles fuentes de interferencia. El umbral de interferencia es de  $-163$  dBW con una anchura de banda de 100 MHz;
- el segundo criterio es la proporción tolerable máxima de células de medición perdidas debido a la interferencia.

Para instrumentos de barrido cónico, la proporción de células de medición perdidas debido al rebasamiento del umbral no puede ser mayor del 5% en casos en que los eventos de interferencia son aleatorios, y del 1% cuando los eventos de interferencia son sistemáticos. En razón que el SES no es aleatorio, se aplica el criterio del 1%.

Para sondas de nadir utilizadas para efectuar mediciones tridimensionales de la temperatura atmosférica o de la concentración de gas, la proporción de células de medición perdidas debida a la interferencia no debe rebasar del 0,01%. Esta frecuencia de límite de ocurrencia es válida para sondas de exploración mecánica y sondas de nadir de barrido transversal.

### 1.4 Características operacionales

#### 1.4.1 Instrumentos de barrido cónico

Las características principales de los sensores de barrido mecánico típicos figuran en el Cuadro 34.

CUADRO 34

**Características típicas de los sensores de barrido cónico**

Canal 23,6-24 GHz	MEGHA-TROPIC	EOS-AMSR-E	ADEOS-II AMSR
Anchura de banda del canal (MHz)	400	400	400
Tamaño del píxel perpendicular a la trayectoria del satélite (km)	35,4	17,6	16,6
Eficacia del haz (%)	96	97	96
Ángulo de incidencia $i$ en el centro de la zona de iluminación (grados)	52,3	55	55
Altitud del satélite (km)	817	705	803
Ganancia de antena máxima (dBi)	40	46	48
Diámetro del reflector	650 mm	1,6 m	2,0 m
Anchura de haz de la antena de potencia mitad $\theta_{3\text{ dB}}$ (grados)	1,65	0,9	0,75

El tamaño del píxel perpendicular a la trayectoria se calcula a partir del contorno de  $-3$  dB del diagrama de antena teniendo en cuenta la altitud del satélite y el ángulo de incidencia del eje de puntería del haz.

Es importante observar que este tipo de sensores del SETS no son satélites que apuntan al nadir, sino sensores que tienen una configuración de barrido cónico centrada en la dirección del nadir. Es importante para la interpretación de las mediciones de superficie mantener un ángulo de incidencia terrestre constante a lo largo de todas las líneas de exploración. La geometría de los instrumentos de barrido cónico se describe en la Fig. 27. La velocidad de rotación del instrumento (y no del satélite) es  $w = 20$  revoluciones por minuto (r.p.m.) para el sensor MEGHA-TROPIC y de 40 r.p.m. para el EOS AMSR-E.

La configuración de los sensores de barrido cónico se presenta en la Fig. 27.

Las características de geometría típicas de esta clase de instrumentos está basada (para una altura de unos 850 km) en lo siguiente:

- el ángulo de incidencia terrestre  $i$  en el centro de la proyección es de unos  $50^\circ$ ;
- el ángulo de desplazamiento del SETS con respecto al nadir o el ángulo de semicono  $\alpha$  con referencia al nadir es de  $44^\circ$  aproximadamente;
- la zona explorada útil es de unos 1 600 km; y
- el periodo de exploración se fija con el objeto de asegurar plena cobertura y tiempo de integración óptimo (resolución radiométrica).

Las Figs. 28 y 29 muestran el diagrama de ganancia de antena relativo referido a la máxima ganancia del satélite MEGHA-TROPIC y del EOS AMSR-E, respectivamente.

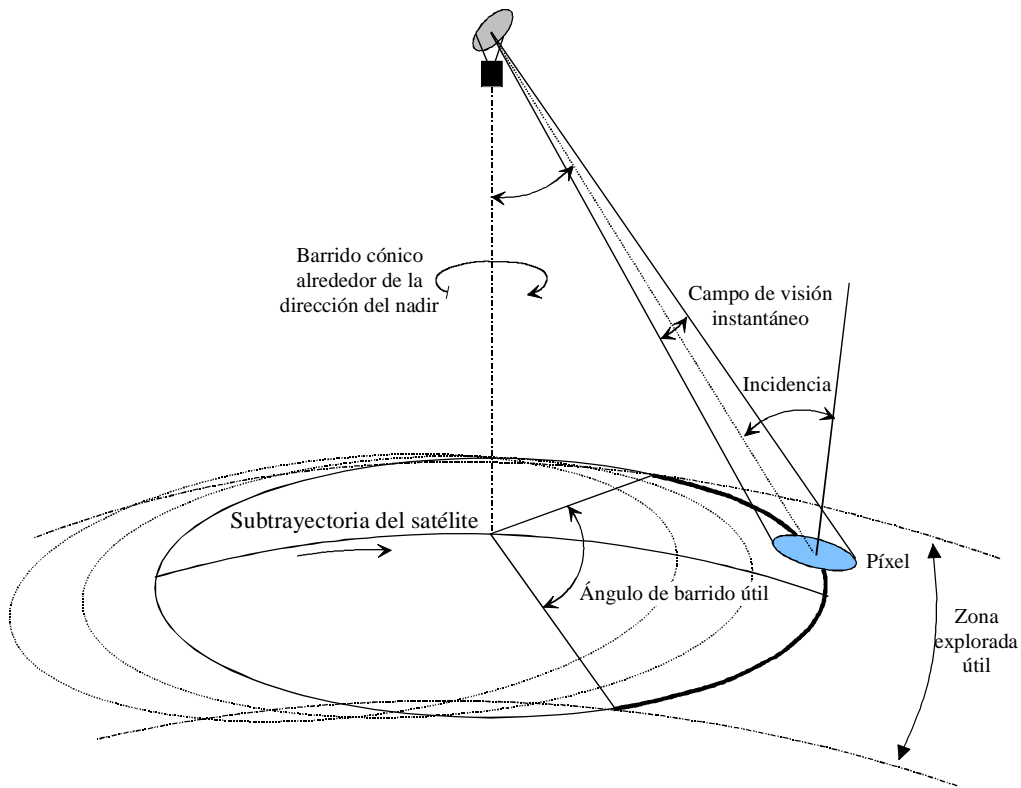
#### 1.4.2 Características operacionales de los instrumentos referidos al nadir

Los sensores pasivos referidos al nadir utilizados para este análisis son el AMSU, un instrumento de barrido mecánico transversal a la trayectoria alrededor del nadir, y la sonda vertical de barrido transversal. El sensor de barrido vertical es un instrumento puramente estático sin partes en movimiento. La característica principal del mismo es que todos los píxeles en una línea de exploración se adquieren simultáneamente y no en forma secuencial como los sensores de barrido mecánico (es decir, tipo AMSU), que permite un considerable aumento del tiempo de integración y



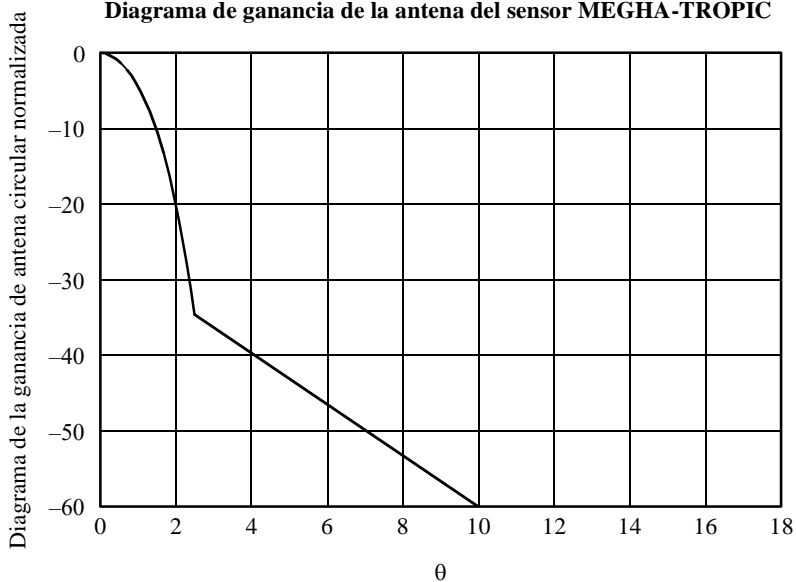
la resolución radiométrica obtenible. El instrumento de barrido transversal incorpora una antena de adquisición de datos fija que apunta en dirección al nadir y una antena de calibración de espacio frío especializada. En el caso del AMSU, la calibración se efectúa una vez cada revolución de barrido por la antena principal cuando apunta en la dirección del espacio frío. Las características principales de estos sensores se indican en el Cuadro 35.

FIGURA 27  
Configuración de sensores pasivos de barrido cónico



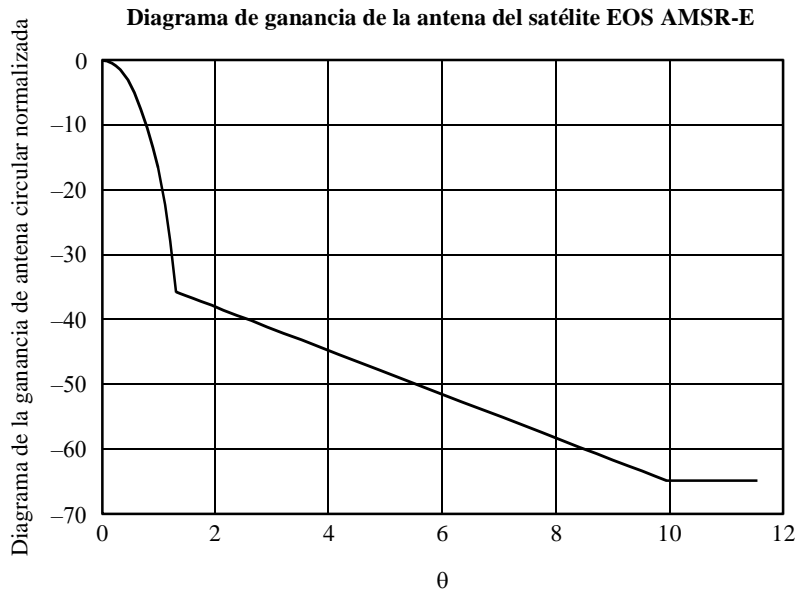
1633-27

FIGURA 28  
Diagrama de ganancia de la antena del sensor MEGHA-TROPIC



1633-28

FIGURA 29



CUADRO 35

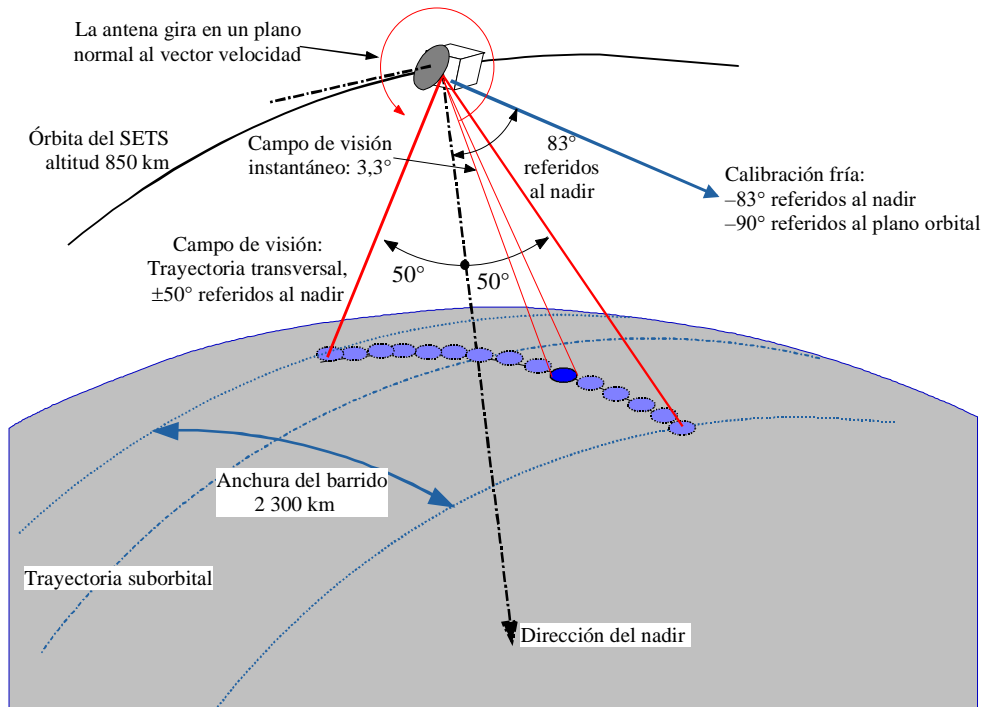
### Características de los sensores referidos al nadir

Parámetros	AMSU	Sensor de barrido transversal
Ganancia de la antena principal (dBi)	36	45
Ganancia del lóbulo posterior de la antena (dBi)	-10	-12
Campo de visión instantáneo a -3 dB (grados)	3,3	1,1
Campo de visión total perpendicular/en sentido de la trayectoria (grados)	100/3,3	100/1,1
Tamaño del píxel (km)	45	16
Número de píxeles por línea	30	90
Resolución radiométrica (K)	0,2	0,2
Densidad umbral de interferencia (dB(W/100 MHz))	-163	-163
Altitud del sensor (km)	850	850
Ganancia de antena de calibración de espacio frío (dBi)	36	35
Ángulo de calibración de espacio frío (grados referidos a la trayectoria del satélite)	90	90
Ángulo de calibración de espacio frío (grados referidos a la dirección del nadir)	83	83
Tipo de barrido	Mecánico	Electrónico

La configuración orbital para estos sensores se ilustra en las Figs. 30 y 31.

FIGURA 30

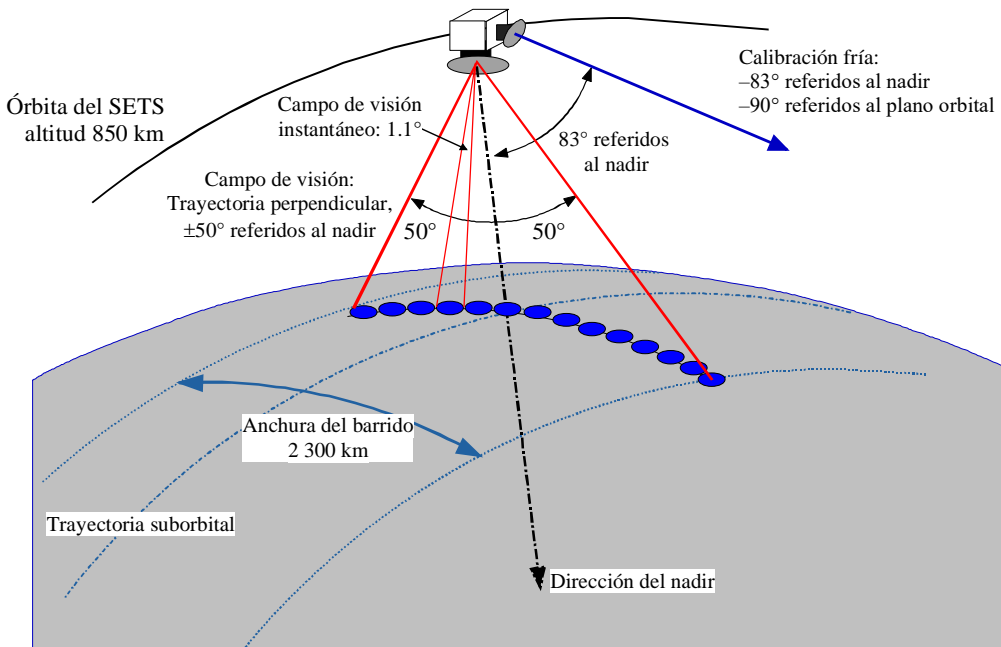
Configuración orbital del sensor AMSU



1633-30

FIGURA 31

Configuración orbital del sensor de barrido transversal



1633-31

## 2 SES

### 2.1 Banda de transmisión atribuida

La banda de transmisión considerada es 22,55-23,55 GHz (véase el Cuadro 33).

### 2.2 Aplicación

El servicio activo que se considera en este análisis es el SES. La Recomendación UIT-R S.1328-3 contiene las características del sistema de satélite que se han de considerar en los análisis de compartición de frecuencias entre sistemas OSG y no OSG en el SFS incluidos los enlaces de conexión para el SMS. Sin embargo, esta Recomendación no contiene información sobre enlaces entre satélites.

### 2.3 Niveles basados en la representación espectral

Este Anexo utiliza la representación espectral de coseno alzado que se describe en el Anexo 1.

Esta representación espectral, prevista para efectuar estudios banda por banda, es provisional y será objeto de ulteriores estudios por el UIT-R. Representa de manera muy general la distribución de potencia media típica a través de los dominios fuera de banda y de emisiones no esenciales en una atribución adyacente o cercana.

### 2.4 Características del transmisor

#### 2.4.1 Red de satélite no OSG Hib-Leo 2

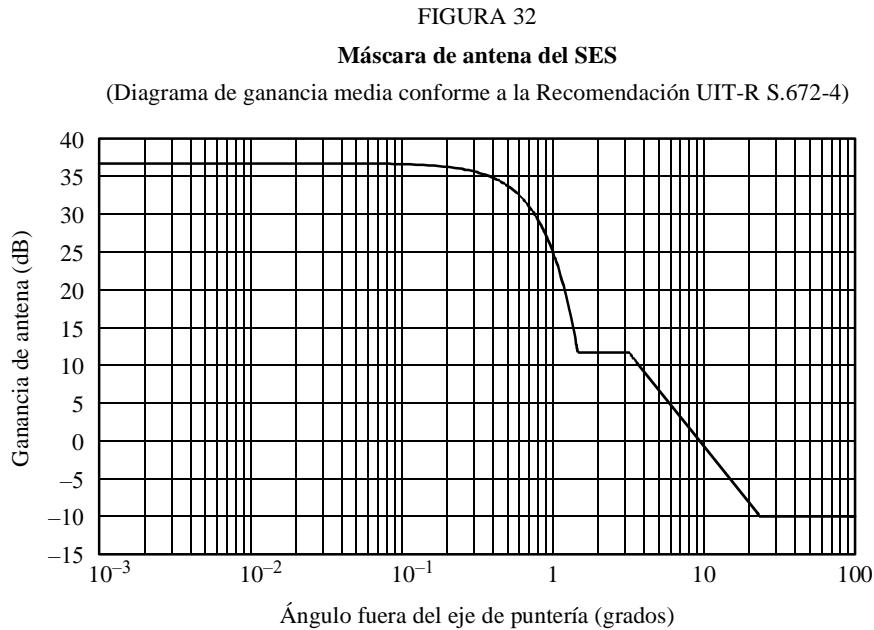
Este sistema se emplea para el estudio de compatibilidad con sensores de barrido cónico. El presente estudio, que se basa en un análisis para el caso más desfavorable, es puramente estadístico y no considera los aspectos temporales. Sin embargo, será completado con un análisis dinámico basado en una constelación real. La única constelación conocida en la actualidad es el sistema Hib-Leo 2. Las características principales de este sistema se presentan en el Cuadro 36.

CUADRO 36

#### Especificaciones del sistema Hib-Leo 2

Parámetros del sistema	Valor
Número de planos de satélites	6
Número de satélites por plano	11
Altitud nominal	780
Tipo de órbita	Polar circular (ángulo de inclinación de 86,5°)
Anchura de banda necesaria	8 × 19 MHz canales (anchura de banda total 194 MHz)
Potencia de cresta	3,5 dBW para los 8 enlaces
Ganancia de antena	36,7 dBi

La Recomendación UIT-R S.672 se aplica para la antena del enlace entre satélites. El diagrama de antena se muestra en la Fig. 32.



1633-32

#### 2.4.2 Características paramétricas de los enlaces entre satélites

Las características técnicas de los sistemas del SES considerados para el análisis de los instrumentos referidos al nadir se indican en el Cuadro 37. Estas características se han basado en las siguientes hipótesis para determinar la influencia de distintos parámetros de configuración:

- se consideran sistemas en órbita polar circular baja (LEO-1 a LEO-4) que cubren altitudes que oscilan entre 700 y 1 000 km y un sistema de la órbita de los OSG;
- las características de transmisión basadas en el sistema Hib-Leo 2 que efectúa actualmente enlaces entre satélites en esta banda de frecuencias, se retienen y adaptan para sistemas LEO y GEO;
- para la anchura de banda necesaria se consideraron tres valores: 200 MHz (8 canales), 100 MHz (4 canales) y 50 MHz (2 canales) y se adoptó una potencia de cresta total de 3,5 dBW, 0,5 dBW y -2,5 dBW, respectivamente;
- se supone una ganancia de antena de 36,7 dBi para el sistema más bajo (LEO-1): la ganancia de antena (recepción y transmisión) para otros escenarios se ajustan para compensar el incremento de la longitud de los enlaces, considerando que su altura mínima se encuentra a 200 km sobre la superficie de la Tierra (1 000 km en el caso del sistema GEO); y considerando que
- estas características se deben actualizar y repetir los análisis toda vez que se dispongan sistemas existentes reales o proyectados.

Se consideró además que el borde superior de la anchura de banda necesaria coincida con el límite superior de la banda de frecuencias atribuida. Por lo tanto, se fija una banda de guarda mínima de 50 MHz mediante la atribución de servicios fijos y móviles entre las atribuciones del SES y del SETS.

CUADRO 37

**Características paramétricas de los enlaces entre satélites**

Parámetros del sistema	Valores				
	LEO-1	LEO-2	LEO-3	LEO-4	GEO
Altitud nominal (km)	700	800	900	1 000	35 900
Tipo de órbita	Polar circular				OSG
Anchura de banda necesaria (8 canales × 25 MHz)	200				
Potencia de cresta total en la anchura de banda necesaria (dBW)	3,5/0,5/-2,5				
Densidad de potencia máxima (dB(W/MHz))	-7,5				
Ganancia de la antena (dBi)	36,7	37,5	38,2	38,8	48,4
Orientación de la antena a la distancia más lejana (referida al nadir local) (grados)	68,34	66,41	64,66	63	10
Distancia máxima del enlace (km)	5 226	5 746	6 229	6 683	83 460

**3 Umbral de compatibilidad**

El umbral de interferencia es de  $-163$  dBW en una anchura de banda de referencia de 100 MHz. El valor que figura en la Recomendación UIT-R SA.1029 (para una banda específica) es el nivel de interferencia máximo admisible para el sensor pasivo.

Este Anexo proporciona un análisis de la interferencia generada por un solo servicio activo. Por lo tanto, es necesario efectuar estudios ulteriores para determinar la repercusión de múltiples servicios activos por encima y por debajo de la banda pasiva.

**4 Evaluación de la interferencia****4.1 Metodología utilizada para determinar el nivel de interferencia**

Éste es un análisis puramente estático que evalúa el caso más desfavorable de la interferencia recibida por un solo satélite de la constelación Hib-Leo 2. La evaluación de la interferencia se realiza en dos pasos.

En el primer paso, se calcula la potencia recibida del enlace entre satélites por el sensor pasivo en diversas configuraciones geométricas, suponiendo que el sensor pasivo y los enlaces entre satélites utilizan la misma frecuencia. Por razones de coherencia con el umbral de interferencia que está referido a una anchura de banda de 100 MHz (véase la Recomendación UIT-R SA.1029), el análisis se efectúa en la parte más baja de la anchura de 100 MHz de la atribución pasiva del SETS (23,6-23,7 GHz), que es la más cercana a la atribución del SES. Por consiguiente, suponiendo que la anchura de banda necesaria del SES es de 200 MHz (véase el Cuadro 37), sólo la mitad de la potencia del SES total es recibida por el sensor pasivo en una anchura de banda de 100 MHz. Esta magnitud de potencia se compara luego con el umbral de interferencia del sensor pasivo. El exceso (si lo hubiera) de la potencia recibida por el sensor pasivo sobre el umbral de interferencia es la atenuación requerida de las emisiones fuera de banda que se debe establecer para proteger el SETS.

El segundo paso consiste en utilizar los límites de emisión fuera de banda para los servicios espaciales contenidos en el Anexo 5 de la Recomendación UIT-R SM.1541. La aplicación de esta Recomendación proporciona atenuaciones espectrales de la parte más baja de la anchura

de 100 MHz de la atribución del SETS que será comparada con los resultados obtenidos del primer paso. Si el umbral de interferencia se excede aún, se deberán especificar métodos para la reducción de la potencia en la banda pasiva.

## 4.2 Cálculos del nivel de interferencia para sensores pasivos con barrido cónico

### 4.2.1 El satélite del SES está justo arriba del sensor pasivo

Una situación geométrica muy simple ocurre cuando el satélite del SES se encuentra justo arriba del sensor del SETS. En esta situación, la ganancia de antena del sensor del SETS es mucho menor que la máxima. Este caso sólo se produce con el radiómetro EOS AMSR-E.

CUADRO 38

#### Análisis de compatibilidad entre el sistema Hib-Leo 2 y el radiómetro EOS AMSR-E

Parámetros	Valor obtenido
Gama de frecuencias del SES (GHz)	23,183-23,377 GHz
p.i.r.e./portadora (dBW)	12,2
Anchura de banda (MHz)	194
Distancia entre la estación espacial del SES y el sensor del SETS (km)	75
Atenuación espacial (dB)	157,5
Ganancia de la antena del SETS (dBi)	-19
Potencia recibida en el SETS en la anchura de banda antedicha (dBW)	-164,3
Potencia recibida equivalente en el SETS en una anchura de banda de 100 MHz (dBW)	-167,2
Umbral de interferencia en una anchura de banda de 100 MHz (dBW)	-163
Atenuación espectral requerida	0

### 4.2.2 El satélite del SES está justo debajo del sensor pasivo

Una situación geométrica muy simple ocurre cuando el satélite del SES se encuentra justo debajo del sensor del SETS. En esta situación, la ganancia de antena del sensor del SETS presenta su valor máximo. Este caso sólo se produce con el radiómetro MEGHA-TROPIC.

CUADRO 39

#### Análisis de compatibilidad entre el sistema Hib-Leo 2 y el radiómetro MEGHA-TROPIC

Parámetros	MEGHA-TROPIC
Gama de frecuencias del SES (GHz)	23,183-23,377
p.i.r.e./portadora (dBW)	12,2
Anchura de banda (MHz)	194
Distancia entre la estación espacial del SES y el sensor del SETS (km)	56
Atenuación espacial (dB)	154,7
Ganancia de antena del SETS (dBi)	40
Potencia recibida en el SETS (dB(W/MHz))	-125,4
Potencia recibida en el SETS (dB(W/100 MHz))	-105,4
Umbral de interferencia en una anchura de banda de 100 MHz (dBW)	-163
Atenuación espectral requerida	57,6

CUADRO 40

**Análisis de compatibilidad entre el sistema Hib-Leo 2 y el radiómetro ADEOS-II AMSR**

Parámetros	ADEOS-II AMSR
Gama de frecuencias del SES (GHz)	23,183 – 23,377
p.i.r.e./portadora (dBW)	12,2 (8 enlaces activados)
Anchura de banda (MHz)	194
Distancia entre la estación espacial del SES y el sensor del SETS (km)	36
Atenuación espacial (dB)	150,8
Ganancia de antena del SETS (dBi)	40
Potencia recibida en el SETS (dB(W/MHz))	-121,5
Potencia recibida en el SETS (dB(W/100 MHz))	-101,5
Umbral de interferencia en una anchura de banda de 100 MHz (dBW)	-163
Atenuación espectral requerida	61,5

**4.2.3 Cálculos cuando el satélite del SES se encuentra en el limbo del sensor del SETS**

Una situación geométrica muy simple ocurre cuando el satélite del SES se encuentra en el limbo del sensor del SETS. En esta situación, la ganancia de la antena del sensor del SETS tiene un nivel muy bajo pero la ganancia de antena del SES presenta un valor cercano al máximo (algunos grados del ángulo con respecto al eje de puntería).

No se han efectuado tolerancias específicas por efecto del cuerpo del satélite.

CUADRO 41

**Análisis de compatibilidad entre el sistema Hib-Leo 2 y el radiómetro MEGHA-TROPIC**

Parámetros	Valor obtenido
Gama de frecuencias del SES (GHz)	23,183-23,377
Anchura de banda (MHz)	194
Ángulo fuera del nadir del SETS	61,9
Ángulo fuera del nadir del SES	62,4
p.i.r.e. del SES (dBW)	18,2
Distancia entre la estación espacial del SES y el sensor del SETS (km)	6 660
Atenuación espacial (dB)	196,4
Ganancia de la antena del SETS (dBi)	-20
Potencia recibida en el SETS dentro de la anchura de banda antedicha (dBW)	-198,2
Potencia recibida equivalente en el SETS en una anchura de banda de 100 MHz (dBW)	-201
Umbral de interferencia en una anchura de banda de 100 MHz (dBW)	-163
Atenuación espectral requerida	0

Cuando el satélite del SETS ve en el limbo al satélite del SES, la potencia integrada en una anchura de banda de referencia de 100 MHz tiene un valor inferior al umbral de interferencia.



### 4.3 Cálculo del nivel de interferencia para el sensor pasivo referido al nadir

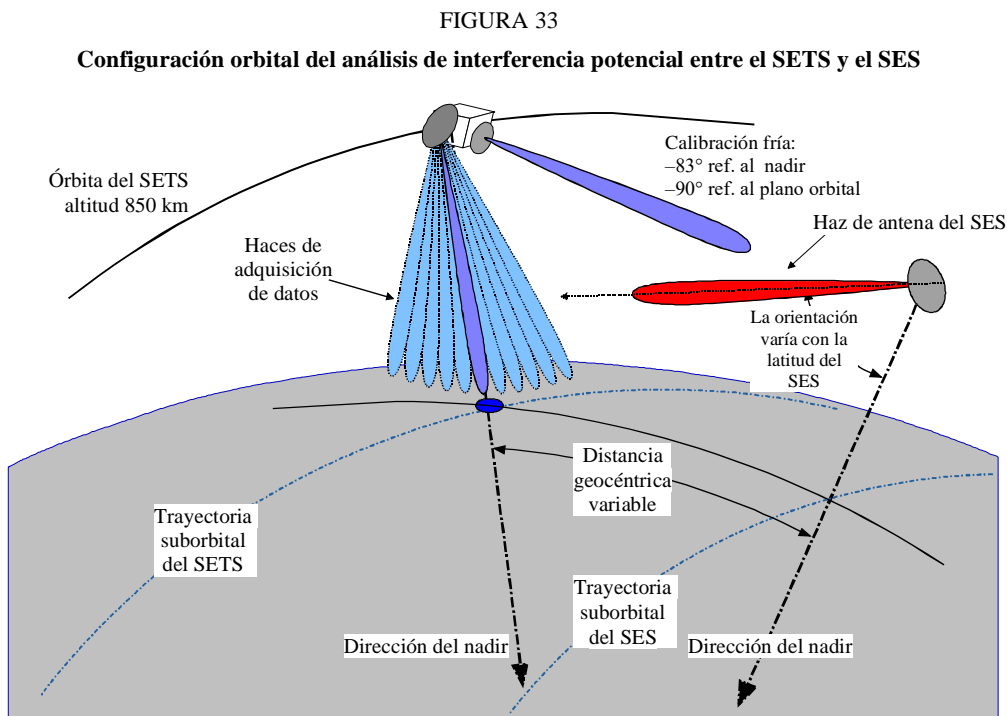
#### 4.3.1 Identificación de las configuraciones más desfavorables

Se analizan cinco configuraciones geométricas en las que el sensor pasivo se encuentra en una órbita heliosincrónica circular de 850 km y un solo satélite de la constelación del SES en órbitas circulares de diversas altitudes, como se indica en el Cuadro 37.

El haz del sensor pasivo que apunta hacia la dirección del nadir (antena de adquisición de datos) se considera como el caso más desfavorable cuando los satélites del SES se encuentran en órbitas más bajas que la del satélite del SETS. Los modos de calibración y de adquisición de datos se consideran simultáneamente.

Considerando que el barrido de la sonda referida al nadir y la calibración del espacio frío se realizan en un plano normal al vector velocidad del satélite de exploración de la Tierra que contiene los haces principales de la antenna de adquisición de datos y de la antenna de calibración, se admite que las peores condiciones de interferencia posibles se encuentran cuando los enlaces del SES se instrumentan en este plano, en razón que los trayectos de interferencia que llevan consigo los haces principales del sensor pasivo y/o las antenas del SES se hacen entonces posibles. En razón que la separación geocéntrica entre los satélites del SETS y del SES es un parámetro variable, el presente análisis explora dichas configuraciones para identificar aquéllas que causan interferencia.

Se adopta el modelo de antenna que figura en la Recomendación UIT-R F.1245 para simular las antenas del SETS y del SES.



Se observa que en el caso de órbitas del SETS y del SES similares (similar inclinación y altitud) como es el caso para los dos sistemas del SES de órbita baja considerados, su velocidad relativa puede ser baja permitiendo así que se produzcan situaciones posibles de interferencia de larga duración.

Los resultados de los balances de enlace en la misma frecuencia para operaciones de sondeo y calibración de espacio frío se ilustran en las Figs. 34, 35, 36, 37 y 38 (caso de barrido transversal). Estas figuras son válidas para 200 MHz y 100 MHz de anchura de banda necesaria y deberían disminuir 3 dB en el caso de una anchura de banda necesaria de 50 MHz. Esto indica claramente las condiciones geométricas que ocasionan interferencia. Se aplica también mayormente al caso AMSU.

FIGURA 34  
**Potencia recibida por el sensor pasivo (LEO-1 a 700 km)**  
 (Balances de enlaces cofrecuencia) (SETS altitud 850 km - SES altitud 700 km)

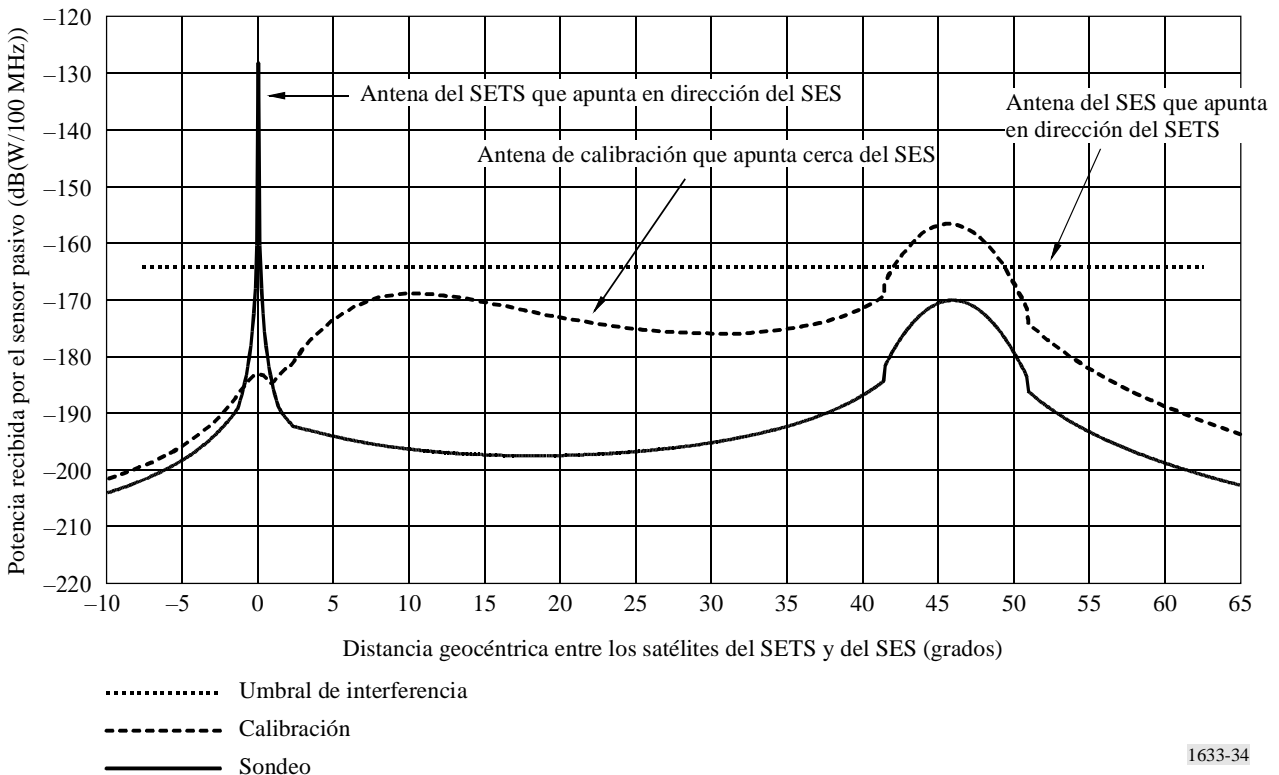


FIGURA 35

**Potencia recibida por el sensor pasivo (LEO-2 a 800 km, cofrecuencia)**  
 (Balances de enlaces cofrecuencia) (SETS altitud 850 km-SES altitud 800 km)

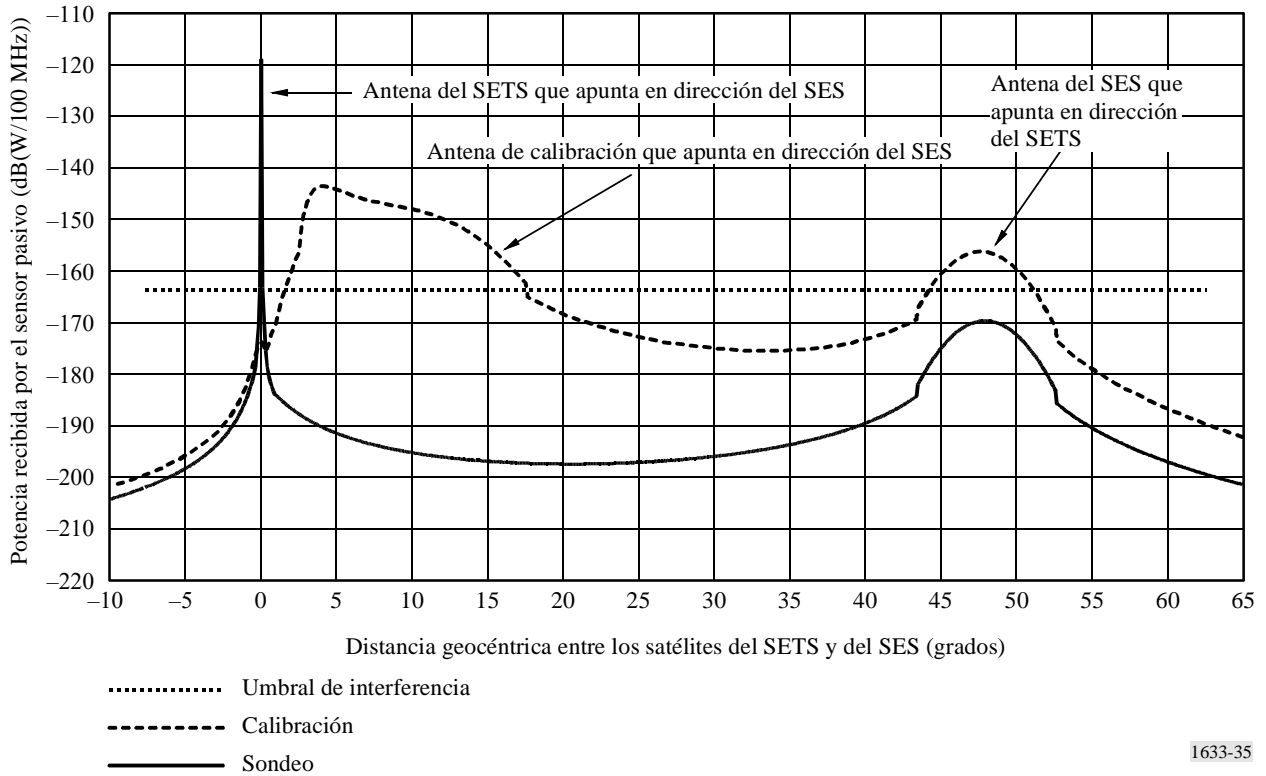


FIGURA 36

**Potencia recibida por el sensor pasivo (LEO-3 a 900 km, cofrecuencia)**  
 (Balances de enlaces cofrecuencia) (SETS altitud 850 km - SES altitud 900 km)

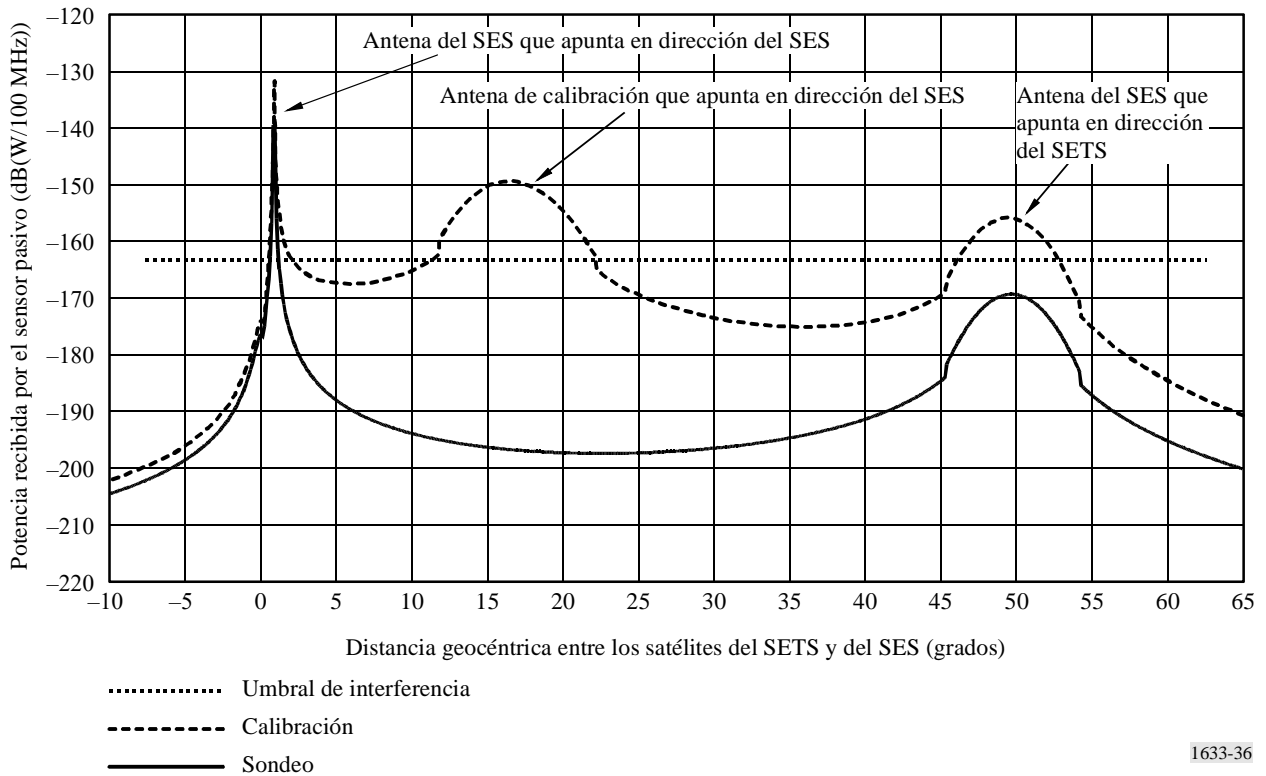
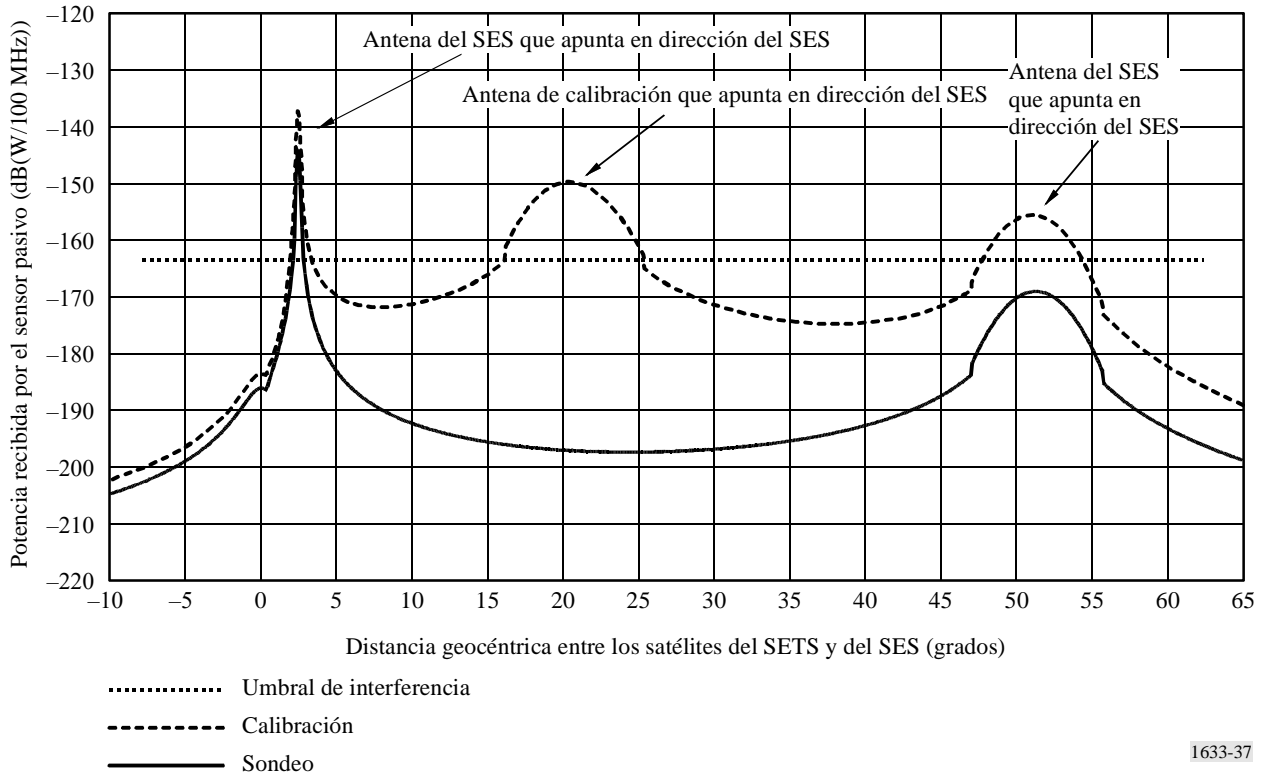


FIGURA 37

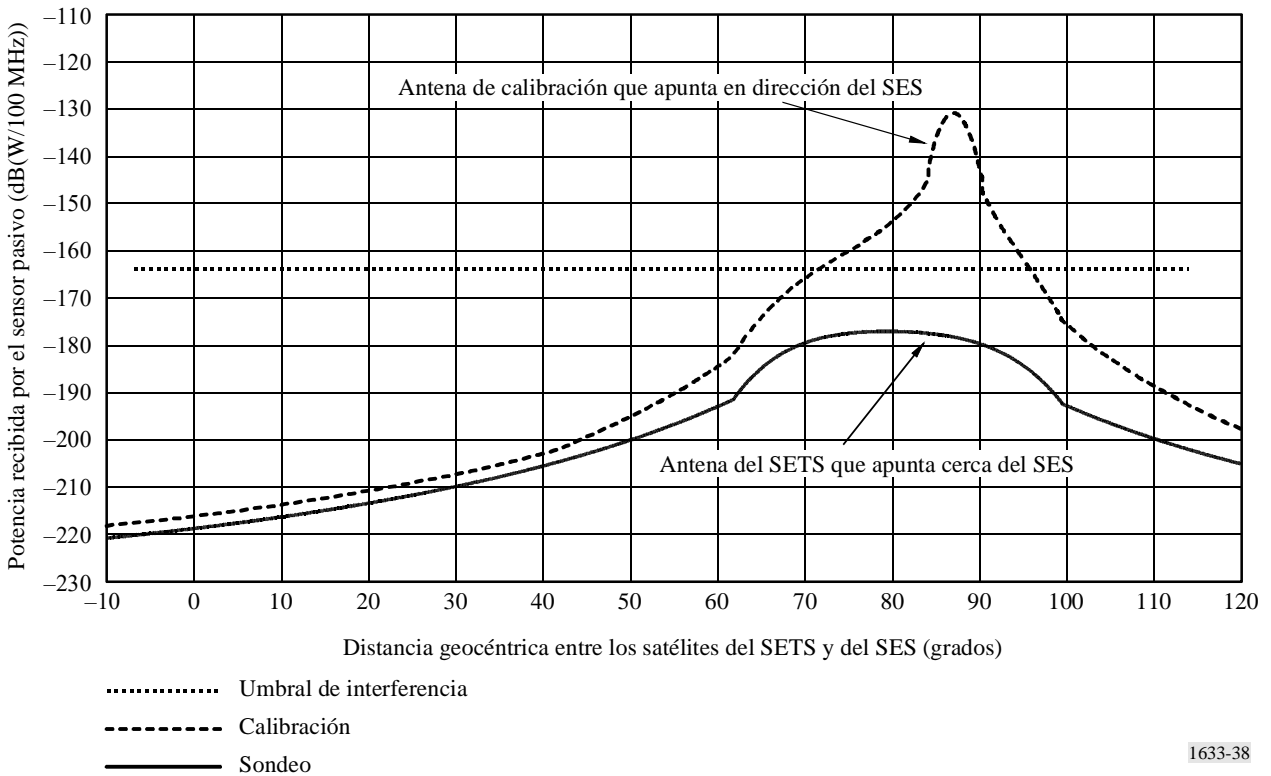
**Potencia recibida por el sensor pasivo (LEO-4 a 1 000 km, cofrecuencia)**  
 (Balances de enlaces cofrecuencia) (SETS altitud 850 km - SES altitud 1 000 km)



1633-37

FIGURA 38

**Potencia recibida por el sensor pasivo (GEO a 35 900 km, cofrecuencia)**  
 (Balances de enlaces cofrecuencia) (SETS altitud 850 km - SES altitud 35 900 km)



1633-38

**4.3.2 Resumen de los balances de enlaces cofrecuencia y comentarios**

Los excesos de la potencia recibida sobre el umbral de interferencia (balances de enlaces cofrecuencia) para el caso más desfavorable se resumen en los Cuadros 42 y 43, para la adquisición de datos y los modos de calibración de espacio frío, así como para las cinco configuraciones analizadas. Los resultados se obtuvieron en configuraciones semiestáticas que conllevan interferencia de un solo satélite de la constelación del SES. Los márgenes negativos indican que se rebasa el umbral de interferencia.

CUADRO 42

**Márgenes para el caso más desfavorable referidos al umbral de interferencia (hipótesis cofrecuencia) (caso AMSU)**

Márgenes para el caso más desfavorable referidos al umbral de interferencia del sensor – Caso AMSU (hipótesis cofrecuencia)						
	LEO-1 (700 km)		LEO-2 (800 km)		LEO-3 (900 km)	
	Sondeo	Calibración	Sondeo	Calibración	Sondeo	Calibración
Distancia angular (grados)	0,00	45,70	0,00	4,20	0,90	0,90
Distancia (km)	150,00	5 557,00	50,00	530,25	124,42	124,42
Pérdida de trayecto (dB)	-163,50	-194,87	-153,96	-174,47	-161,87	-161,87
Ganancia de antena del sensor (dBi)	36,00	0,99	36,00	-4,19	-10,08	-5,09
Ganancia de antena del SES (dBi)	-10,25	36,59	-10,45	35,57	34,22	34,22
Potencia de transmisión del SES (dB(W/100 MHz))	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Potencia recibida (dB(W/100 MHz))	-137,25	-156,79	-127,91	-142,59	-137,23	-132,24
Margen/umbral $B_N = 200/100$ MHz (dB)	-25,75	-6,21	-35,09	-20,41	-25,77	-30,76
Margen/umbral $B_N = 50$ MHz (dB)	-22,75	-3,21	-32,09	-17,41	-22,77	-27,75
	LEO-4 (1 000 km)		LEO-5 (35 900 km)			
	Sondeo	Calibración	Sondeo	Calibración		
Distancia angular (grados)	2,40	2,40	79,30	87,10		
Distancia (km)	340,67	340,67	41 547,55	42 529,43		
Pérdida de trayecto (dB)	-170,62	-170,62	-212,35	-212,55		
Ganancia de antena del sensor (dBi)	-10,08	-5,68	-10,08	35,97		
Ganancia de antena del SES (dBi)	38,31	38,31	47,13	46,13		
Potencia de transmisión del SES (dB(W/100 MHz))	0,50	0,50	0,50	0,50		
Potencia recibida (dB(W/100 MHz))	-141,89	-137,49	-174,80	-129,95		
Margen/umbral $B_N = 200/100$ MHz (dB)	-21,11	-25,51	11,80	-33,05		
Margen/umbral $B_N = 50$ MHz (dB)	-18,11	-22,51	14,80	-30,05		

En todas las configuraciones analizadas, el umbral de interferencia puede estar excedido considerablemente.

Se debe señalar que la potencia no deseada dentro de la anchura de banda de referencia de 100 MHz es idéntica para 200 MHz y 100 MHz de anchura de banda necesaria, pues se supone que la densidad de potencia dentro de la anchura de banda necesaria es la misma. La potencia no deseada es 3 dB inferior en el caso de una anchura de banda necesaria de 50 MHz.

Para el haz de la antena de adquisición de datos dirigido hacia la Tierra, la interferencia se produce en márgenes relativamente cortos de distancias geocéntricas, cuando las antenas del SES o del SETS apuntan en la dirección del otro satélite. Los valores para el caso más desfavorable se obtienen cuando el sensor pasivo y el satélite del SES se encuentran a corta distancia, y el satélite

del SES ocupa una órbita más baja que la del sensor pasivo. Se debe destacar que con márgenes negativos considerables, es probable que muchos píxeles adyacentes en la línea también se contaminen aunque en menor medida (por ejemplo, unos 20 píxeles en el caso de un margen negativo de  $-40$  dB). Los análisis dinámicos serán esenciales para determinar la importancia de la dimensión temporal.

CUADRO 43

**Márgenes para el caso más desfavorable referidos al umbral de interferencia  
(hipótesis cofrecuencia) (caso de barrido transversal)**

Márgenes para el caso más desfavorable referidos al umbral de interferencia del sensor – Caso de barrido transversal (hipótesis cofrecuencia)						
	LEO-1 (700 km)		LEO-2 (800 km)		LEO-3 (900 km)	
	Sondeo	Calibración	Sondeo	Calibración	Sondeo	Calibración
Distancia angular (grados)	0,00	45,70	0,00	45,70	0,90	0,90
Distancia (km)	150,00	5 557,00	50,00	517,74	124,42	124,42
Pérdida de trayecto (dB)	-163,50	-194,87	-153,96	-174,26	-161,87	-161,87
Ganancia de antena del sensor (dBi)	45,00	1,24	45,00	-4,27	-12,33	-4,84
Ganancia de antena del SES (dBi)	-10,25	36,70	-10,45	34,54	34,22	34,22
Potencia de transmisión del SES (dB(W/100 MHz))	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Potencia recibida (dB(W/100 MHz))	-128,25	-156,43	-118,91	-143,49	-139,48	-131,99
Margen/umbral $B_N = 200/100$ MHz (dB)	-34,75	-6,57	-44,09	-19,51	-23,52	-31,01
Margen/umbral $B_N = 50$ MHz (dB)	-31,75	-3,57	-41,09	-16,51	-20,52	-28,01
	LEO-4 (1 000 km)		LEO-5 (35 900 km)			
	Sondeo	Calibración	Sondeo	Calibración		
Distancia angular (grados)	2,40	2,40	87,10	87,10		
Distancia (km)	340,67	340,67	42 529,43	42 529,43		
Pérdida de trayecto (dB)	-170,62	-170,62	-212,55	-212,55		
Ganancia de antena del sensor (dBi)	-12,33	-5,43	-12,33	34,98		
Ganancia de antena del SES (dBi)	38,31	38,31	46,13	46,13		
Potencia de transmisión del SES (dB(W/100 MHz))	0,50	0,50	0,50	0,50		
Potencia recibida (dB(W/100 MHz))	-144,14	-137,24	-178,25	-130,94		
Margen/umbral $B_N = 200/100$ MHz (dB)	-18,86	-25,76	15,25	-32,06		
Margen/umbral $B_N = 50$ MHz (dB)	-15,86	-22,76	18,25	-29,06		

Para el modo de calibración del espacio frío, el umbral de interferencia se rebasa considerablemente en un amplio margen de distancias geocéntricas. El modo de calibración del espacio frío es más vulnerable a las emisiones que proceden de sistemas del SES debido a la orientación específica de la antena de calibración dedicada, en dirección de las órbitas del SES. Se debe señalar que si la calibración está contaminada por la interferencia, los datos adquiridos serán totalmente invalidados.

La interferencia producida por el sistema OSG depende en gran medida de la longitud del enlace y de la orientación de la antena del SES. Conforme a la hipótesis adoptada, no habrá interferencia si el centro del enlace está ubicado en una altitud superior a 8 000 km sobre la superficie de la Tierra.

Se debe destacar que en función de la órbita del SES se deben satisfacer las condiciones geométricas que generan interferencia durante un tiempo considerable. Indudablemente, será necesario efectuar una simulación dinámica para evaluar la importancia relativa de las configuraciones interferentes durante un determinado periodo de tiempo.

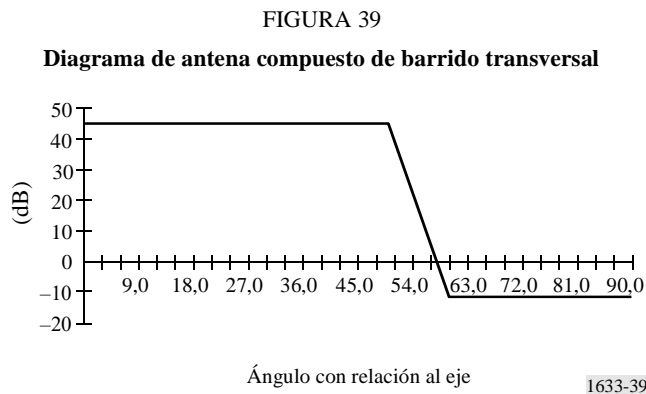
**4.4 Análisis de interferencia dinámica**

Además de los casos estáticos y semiestáticos considerados anteriormente, es necesario efectuar un análisis dinámico para tener en consideración el porcentaje de tiempo cuando se produce la interferencia. Como se indicó anteriormente, no se debe rebasar el umbral de  $-163$  dBW en no más del 0,01% del tiempo en una anchura de banda de 100 MHz.

Se efectuaron simulaciones para determinar la probabilidad de interferencia utilizando un incremento de tiempo (muestreo) de 5 s a fin de obtener resultados precisos. Las simulaciones se interrumpen cuando la función de distribución acumulativa se torna estable. Asimismo, se debe señalar que todas las simulaciones aquí presentadas sólo encaran estudios con la sonda de barrido transversal referida al nadir, en razón que los casos estáticos y semiestáticos considerados anteriormente han indicado que se trata del caso más desfavorable.

**4.4.1 Modelado de la antena de barrido transversal**

Como se indicó anteriormente, la antena de barrido transversal puede ver una línea completa de píxeles ubicada alrededor del nadir a  $\pm 50^\circ$  para el azimut, y en  $\pm 0,55^\circ$  para la elevación. La ganancia de antena máxima es de 45 dBi y, lo que es común para las antenas de radiómetro, hay una considerable disminución del nivel de lóbulo lateral de  $-12$  dBi. La Fig. 39 muestra el diagrama de antena conforme al ángulo con relación al eje del azimut.



**4.4.2 Cálculos dinámicos con el sistema Hib-Leo 2**

La simulación efectuada se basa en una hipótesis simple: cada satélite trata de comunicarse con los 4 más cercanos dentro de la constelación. Se supone la utilización de toda la anchura de banda, y que se emplean los 8 enlaces de cada satélite (4 enlaces para transmitir y 4 enlaces para recibir).

CUADRO 44

**Análisis dinámico entre enlaces del SES del sistema Hib-Leo 2 no OSG y un tipo de sensor de barrido transversal del SETS**

Distribución acumulada (%)	100	23,2	10	1	0,1	0,01	0,008
Barrido transversal: potencia interferente equivalente recibida por el SETS (dBW) (anchura de banda de 194 MHz)	-177	-163	-160	-154	-146	-105	-102

Conforme al Cuadro 44, hay un riesgo de que el satélite del SETS reciba interferencias cuando funcionan los enlaces entre satélites (o el porcentaje de datos interferidos está por encima del aceptable). Teniendo en cuenta la anchura de banda relativa, la atenuación espectral requerida es de 55,1 dB para el sistema Hib-Leo 2.

#### 4.5 Aplicación de la máscara fuera de banda a la transmisión del SES

Considerando ahora que los sistemas del SES transmiten en su propia banda de frecuencias, el rechazo de su potencia de transmisión dentro de la banda atribuida al SETS (pasivo) cercano debe ser suficiente para evitar la interferencia perjudicial, por ejemplo 61 dB para el sensor MEGHATROPIC (véase el Cuadro 39) y hasta 35 dB para el sensor de barrido transversal (véase el Cuadro 41).

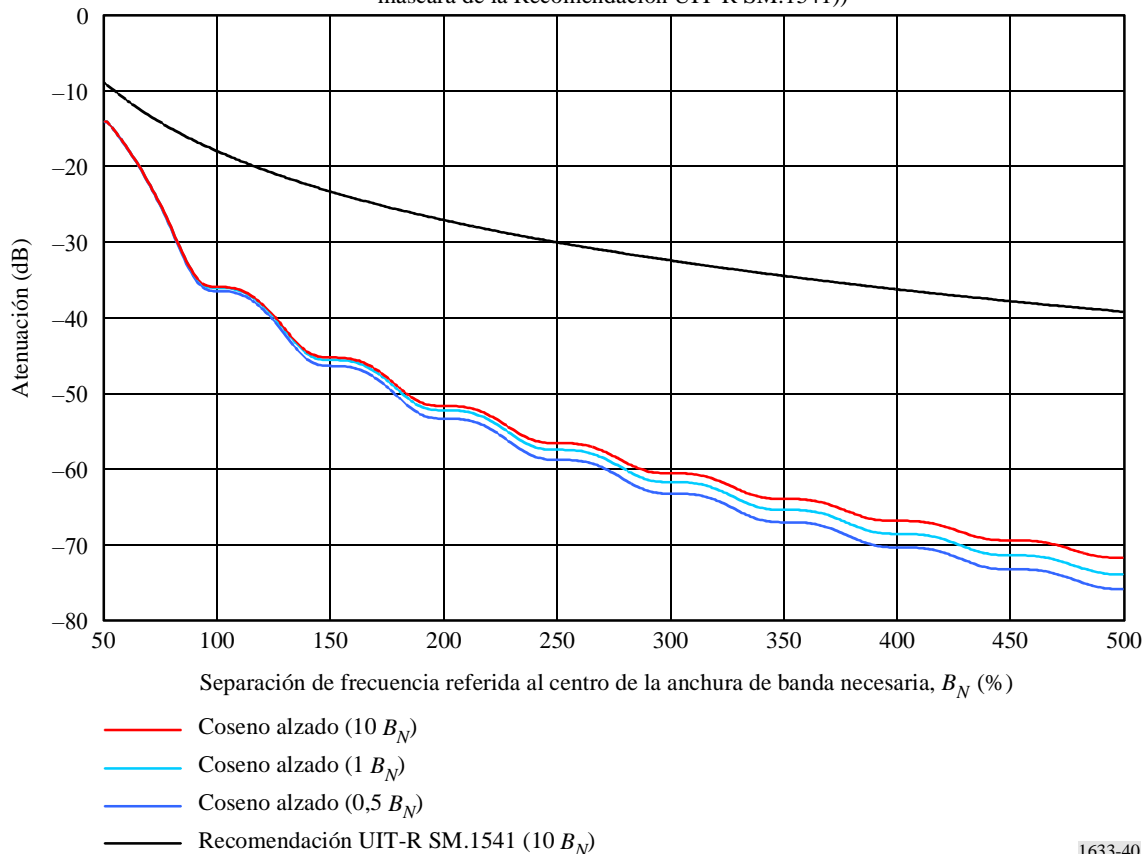
La Fig. 40 representa la potencia que cae dentro de la atribución del SETS que depende de la banda de guarda. Para cubrir las características variables de las emisiones del SES, se realiza una integración gradual para tres valores de la banda pasiva expresados en términos de porcentaje de la anchura de banda necesaria del SES (1 000, 100 y 50%). Hay sólo una pequeña diferencia entre las tres curvas.

En la Fig. 40 se puede observar que la separación de frecuencia se toma desde el centro de la anchura de banda necesaria. Por consiguiente, la separación de frecuencia mínima es la mitad de la anchura de banda necesaria, es decir el 50%. Esta curva se utilizará para determinar la separación mínima entre el centro de la anchura de banda necesaria y el límite inferior de la banda atribuida al SETS, que se requiere para proteger al sensor pasivo de las emisiones del SFS no deseadas.

FIGURA 40

#### Atenuación de la potencia fuera de banda contenida dentro de la anchura de banda del SETS

(Rechazo de potencia total en función de la separación de frecuencia (filtro en coseno alzado, máscara de la Recomendación UIT-R SM.1541))





Asimismo, se proporciona una separación de 50 MHz por la atribución fija y móvil entre las bandas atribuidas al SES y al SETS, en la banda 23,55-23,6 GHz. Por lo tanto, la mínima separación de frecuencia entre el centro de la anchura de banda necesaria que es la referencia de la máscara, es  $B_N/2 + 50$  MHz. Por consiguiente, la banda de guarda adicional requerida es:

$$\text{Desviación del centro de } B_N - (B_N/2 + 50 \text{ MHz})$$

**4.5.1 Sensor de barrido cónico**

En base a los resultados presentados en los Cuadros 38 y 39, los Cuadros 45 y 46 presentan el desplazamiento de frecuencia mínimo que se requiere para proteger al sensor pasivo de la interferencia generada por el sistema Hib-Leo 2.

CUADRO 45

**Resumen de las bandas de guarda necesarias para proteger al AMSR-E de los enlaces Hib-Leo 2**

	<b>Hib-Leo 2</b>
Rechazo de potencia requerida (dB)	0
Anchura de banda necesaria (MHz)	200
Banda pasiva (% $B_N$ )	200
Desplazamiento del centro de la $B_N$ (% $B_N$ )	50
Desplazamiento del centro de la $B_N$ (MHz)	100
Banda de guarda adicional requerida (MHz)	0

CUADRO 46

**Resumen de las bandas de guarda necesarias para proteger a MEGHA-TROPIC de los enlaces del Hib-Leo 2**

	<b>Hib-Leo 2</b>
Rechazo de potencia requerida (dB)	57,6
Anchura de banda necesaria (MHz)	200
Banda pasiva (% $B_N$ )	200
Desplazamiento del centro de la $B_N$ (% $B_N$ )	250
Desplazamiento del centro de la $B_N$ (MHz)	500
Banda de guarda adicional requerida (MHz)	350

CUADRO 47

**Resumen de las bandas de guarda necesarias para proteger  
a ADEOS-II AMSR de los enlaces del Hib-Leo 2**

	<b>Hib-Leo 2</b>
Rechazo de potencia requerida (dB)	61,5
Anchura de banda necesaria (MHz)	200
Banda pasiva (% $B_N$ )	200
Desplazamiento del centro de la $B_N$ (% $B_N$ )	275
Desplazamiento del centro de la $B_N$ (MHz)	550
Banda de guarda adicional requerida (MHz)	400

#### 4.5.2 Sensores referidos al nadir

Sobre la base de los resultados presentados en los Cuadros 42 y 43, los Cuadros 48 a 50 y 51 a 53 indican la separación de frecuencia que se requiere para proteger al sensor pasivo de la interferencia generada por los sistemas ficticios presentados en el Cuadro 37. En cada caso, se seleccionó la peor de las dos configuraciones, sondeo o calibración, para determinar la separación de frecuencia requerida mínima.

CUADRO 48

**Resumen de las bandas de guarda necesarias para proteger al AMSU-A  
de los enlaces del SES (anchura de banda necesaria 200 MHz)**

	<b>LEO-1</b>	<b>LEO-2</b>	<b>LEO-3</b>	<b>LEO-4</b>	<b>GEO</b>
Rechazo de potencia requerida (dB)	25,75	35,09	30,76	25,51	33,05
Anchura de banda necesaria (MHz)	200				
Banda pasiva (% $B_N$ )	200				
Desplazamiento del centro de la $B_N$ (% $B_N$ )	76	92	84	76	87
Desplazamiento del centro de la $B_N$ (MHz)	152	184	168	152	174
Banda de guarda adicional requerida (MHz)	2	34	18	2	14

CUADRO 49

**Resumen de las bandas de guarda necesarias para proteger al AMSU-A  
de los enlaces del SES (anchura de banda necesaria 100 MHz)**

	<b>LEO-1</b>	<b>LEO-2</b>	<b>LEO-3</b>	<b>LEO-4</b>	<b>GEO</b>
Rechazo de potencia requerida (dB)	25,75	35,09	30,76	25,51	33,05
Anchura de banda necesaria (MHz)	100				
Banda pasiva (% $B_N$ )	400				
Desplazamiento del centro de la $B_N$ (% $B_N$ )	76	92	84	76	87
Desplazamiento del centro de la $B_N$ (MHz)	76	92	84	76	87
Banda de guarda adicional requerida (MHz)	0	0	0	0	0

CUADRO 50

**Resumen de las bandas de guarda necesarias para proteger al AMSU-A  
de los enlaces del SES (anchura de banda necesaria 50 MHz)**

	LEO-1	LEO-2	LEO-3	LEO-4	GEO
Rechazo de potencia requerida (dB)	22,75	32,09	27,76	22,51	30,05
Anchura de banda necesaria (MHz)	50				
Banda pasiva (% $B_N$ )	800				
Desplazamiento del centro de la $B_N$ (% $B_N$ )	71	85	79	70	83
Desplazamiento del centro de la $B_N$ (MHz)	36	43	40	35	42
Banda de guarda adicional requerida (MHz)	0	0	0	0	0

CUADRO 51

**Resumen de las bandas de guarda necesarias para proteger al sensor de barrido  
transversal de los enlaces del SES (anchura de banda necesaria 200 MHz)**

	LEO-1	LEO-2	LEO-3	LEO-4	GEO
Rechazo de potencia requerida (dB)	34,75	44,09	31,01	25,76	32,06
Anchura de banda necesaria (MHz)	200				
Banda pasiva (% $B_N$ )	200				
Desplazamiento del centro de la $B_N$ (% $B_N$ )	91	138	84	76	86
Desplazamiento del centro de la $B_N$ (MHz)	182	276	168	152	172
Banda de guarda adicional requerida (MHz)	32	126	18	2	22

CUADRO 52

**Resumen de las bandas de guarda necesarias para proteger al sensor de barrido  
transversal de los enlaces del SES (anchura de banda necesaria 100 MHz)**

	LEO-1	LEO-2	LEO-3	LEO-4	GEO
Rechazo de potencia requerida (dB)	34,75	44,09	31,01	25,76	32,06
Anchura de banda necesaria (MHz)	100				
Banda pasiva (% $B_N$ )	400				
Desplazamiento del centro de la $B_N$ (% $B_N$ )	91	138	84	76	86
Desplazamiento del centro de la $B_N$ (MHz)	91	138	84	76	86
Banda de guarda adicional requerida (MHz)	0	38	0	0	0

CUADRO 53

**Resumen de las bandas de guarda necesarias para proteger al sensor de barrido transversal de los enlaces del SES (anchura de banda necesaria 50 MHz)**

	LEO-1	LEO-2	LEO-3	LEO-4	GEO
Rechazo de potencia requerida (dB)	31,75	41,09	28,01	22,76	29,06
Anchura de banda necesaria (MHz)	50				
Banda pasiva (% $B_N$ )	800				
Desplazamiento del centro de la $B_N$ (% $B_N$ )	85	129	80	71	81
Desplazamiento del centro de la $B_N$ (MHz)	43	65	40	36	41
Banda de guarda adicional requerida (MHz)	0	0	0	0	0

NOTE 1 – En el caso de los sistemas LEO-1 y LEO-2, se obtuvo el caso más desfavorable en el modo adquisición de datos. Este valor se obtiene en el modo calibración en el caso de los sistemas LEO-3, LEO-4 y GEO.

Las simulaciones dinámicas han mostrado que se requiere un rechazo de 55,1 dB. Este rechazo corresponde a una banda de guarda de 320 MHz.

## 5 Técnicas de mitigación de la interferencia

### 5.1 SETS (pasivo)

Es necesario efectuar mayores estudios sobre este tema.

### 5.2 SES

Los resultados del análisis (véanse los Cuadros 45 a 53) indican que, conforme a las hipótesis de trabajo adoptadas, la aplicación de la máscara de coseno alzado no es suficiente en casos de una anchura de banda necesaria de 200 MHz. Se pueden emplear también otras técnicas de mitigación que se ajustan al umbral de interferencia del sensor pasivo.

#### 5.2.1 Límites de anchura de banda necesaria y bandas de guarda

Las ventajas de disminuir la anchura de banda necesaria se pueden ver claramente en los Cuadros 48 y 53.

#### 5.2.2 Filtrado de la banda de base

Se debe señalar que la mayor parte de la supresión fuera de banda aprovecha plenamente la reducción de la forma de onda de modulación y el factor de corte del filtro analógico, si se utiliza a bordo del satélite. Para resolver casos prácticos de interferencia fuera de banda en servicios pasivos, se deberá obtener el espectro típico de los servicios activos de transmisión fuera de su propia anchura de banda. Si no se disponen de dichos espectros, la solución alternativa es obtener un espectro de los servicios activos de transmisión en los bordes de sus propias anchuras de banda: el conocimiento de esos espectros podría dar la información suficiente para predecir la reducción de los espectros en bandas adyacentes.

### **5.2.3 Reducción de la potencia de emisión y de la anchura de banda necesaria**

La reducción de la potencia y de la anchura de banda necesaria se puede llevar a cabo por medio de aplicaciones de baja velocidad de datos ubicadas cerca del borde superior de la banda. Los enlaces del SES más cortos podrían producir una reducción de la p.i.r.e. necesaria. Asimismo, podría ser conveniente una reducción de los lóbulos laterales de la antena.

### **5.2.4 Separación geométrica y órbitas del SES**

Si se mantiene una separación geocéntrica mínima entre el sensor pasivo y los satélites activos, la separación permitiría disminuir la potencia recibida por el sensor o bien reducir la repercusión de la interferencia temporal. Dicha separación podría ser en términos de distancia orbital, separación longitudinal para sistemas en órbitas polares o geoestacionarias, o separación en la inclinación orbital. Las órbitas del SES ubicadas por encima de la órbita del SETS puede mejorar también la compatibilidad.

## **5.3 Repercusiones posibles**

### **5.3.1 SETS (pasivo)**

La reducción de la anchura de banda de medición debido a una interferencia no admisible en la parte inferior de su espectro atribuido puede degradar la calidad de datos por debajo del nivel requerido. Como alternativa se puede modificar el diseño del sensor para mantener su eficacia en el nivel requerido, pero esto aumentará considerablemente los costos de desarrollo y producción del instrumento.

### **5.3.2 SES**

Las técnicas de mitigación de la interferencia para sistemas actualmente en uso pueden no ser prácticas. La introducción de bandas de guarda reducirán el espectro disponible. La posible modificación de la configuración de canal para reducir la anchura de banda ocupada, la adopción de técnicas de modulación mejoradas y el filtrado dentro de banda pueden ser viables para nuevos sistemas, pero esto aumentará los costos.

Las constelaciones del SES que utilizan una amplia anchura de banda necesaria se podrían ubicar lo más alejadas posible de la atribución del SETS (pasivo), en la parte más baja de la atribución del SES.

## **6 Resultados de los estudios**

### **6.1 Resumen**

Los estudios que se han efectuado llegan a la conclusión que, utilizando la máscara de coseno alzado, sería necesario aplicar simultáneamente las técnicas de mitigación descritas anteriormente para asegurar la compatibilidad.

### **6.2 Conclusiones**

La interferencia a un sensor pasivo se puede producir en diversas posiciones de su órbita por enlaces del SES que dependen de muchos parámetros del sistema activo. La probabilidad de interferencia depende en gran medida de las características orbitales relativas del sensor y del sistema del SES, así como del número de satélites que componen el sistema del SES. Se deben poner en práctica simulaciones dinámicas que comprendan el sensor pasivo y las constelaciones del SES para considerar el caso de redes del SES que tengan características diferentes de las del Hib-Leo 2.

Es necesario que el UIT-R investigue y examine las técnicas de mitigación de la interferencia precedentes.

Se hace notar que los sistemas de satélites con órbitas similares a las del sensor podrían producir periodos de interferencia de mayor duración debido a que sus posiciones relativas no varían rápidamente. Aun cuando la interferencia ocurra durante el 0,01% de tiempo en un mes, podría ser de casi el 100% del tiempo durante algunas horas. Esto no satisface el criterio de una sola interferencia del 0,01% de los píxeles de medición.

## Anexo 14

### Análisis de compatibilidad entre el SETS (pasivo) en la banda 31,3-31,5 GHz y el SFS (Tierra-espacio) y el SMS (Tierra-espacio) en la banda 30-31 GHz

#### 1 SETS (pasivo)

##### 1.1 Banda atribuida

La banda 31,3-31,5 GHz está atribuida al SETS (pasivo), al SRA y al SIE (pasivo). Se puede observar que la banda 31,3-31,5 GHz está protegida por el número 5.340 del RR. Las atribuciones adyacentes a las bandas pasivas 31,3-31,8 GHz se muestran en el Cuadro 54.

CUADRO 54

#### Atribuciones en bandas adyacentes

Servicios espaciales en la banda atribuida inferior	Servicios en la banda atribuida inferior	Banda pasiva	Servicios en la banda atribuida superior
<b>30-31 GHz</b>	<b>31-31,3 GHz</b>	<b>31,3-31,5 GHz</b>	<b>31,5-31,8 GHz</b>
FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio) Frecuencias patrón y señales horarias por satélite (espacio-Tierra) 5.542	FIJO MÓVIL Frecuencias patrón y señales horarias por satélite (espacio-Tierra) Investigación espacial 5.544 5.545 5.149	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (pasivo) RADIOASTRONOMÍA INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo) 5.340	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (pasivo) RADIOASTRONOMÍA INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo) Fijo (Regiones 1 y 3) Móvil salvo móvil aeronáutico (Regiones 1 y 3) 5.149 5.546 (Región 1) 5.340 (Región 2) 5.149 (Región 3)

##### 1.2 Aplicación

Las mediciones pasivas en torno de las frecuencias 23,8 GHz (contenido total de vapor de agua), 31,5 GHz (canal de ventana) y 90 GHz (agua líquida) proporcionan datos auxiliares que constituyen uno de los factores predominantes en el proceso de extracción de mediciones de temperatura

efectuadas en el espectro de absorción de O<sub>2</sub>. Estas mediciones auxiliares deben tener características radiométricas y geométricas así como criterios de disponibilidad concordantes con los de las mediciones de temperatura.

### 1.3 Criterios de protección requeridos

Las tres Recomendaciones siguientes establecen los criterios de interferencia para sensores pasivos:

Recomendación UIT-R SA.515 – Bandas de frecuencias y anchuras de banda utilizadas para la detección pasiva por satélite;

Recomendación UIT-R SA.1028 – Criterios de calidad para la teledetección pasiva por satélite;

Recomendación UIT-R SA.1029 – Criterios de interferencia para la teledetección pasiva por satélite.

El primer criterio es la potencia interferente aceptable recibida por el sensor del SETS, que es de  $-163$  dBW en la anchura de banda de referencia de 100 MHz. Este es el nivel de interferencia máximo de todas las fuentes.

El segundo criterio es el límite de la frecuencia de ocurrencia en que se excede el umbral. Para sensores de barrido cónico, el número de células de medición perdidas debido al rebasamiento no debe exceder del 5% en casos en que los eventos de interferencia son aleatorios, y del 1% cuando los eventos de interferencia son sistemáticos. En razón que el SFS no es aleatorio, se aplican los criterios del 1%.

Para sondas referidas al nadir utilizadas para dimensiones tridimensionales de la temperatura atmosférica o de la concentración de gas, la proporción de células de medición perdidas debida a la interferencia no debe rebasar del 0,01%. Este límite de la frecuencia de ocurrencia es válido para sondas de barrido mecánico y sondas de barrido transversal referidas al nadir.

### 1.4 Características operacionales

#### 1.4.1 Sensores de barrido cónico

CUADRO 55

#### Especificaciones para aplicaciones radiométricas por microondas

	Sensor cónico
Anchura de banda del canal (MHz)	100
Tamaño del píxel sobre la trayectoria (diámetro) (km)	26,7
Eficacia del haz (%)	95
Ángulo de incidencia $i$ en el centro de la zona de iluminación (grados)	52
Polarización (lineal)	H,V
Altitud del satélite (km)	817
Ganancia de antena máxima (dBi)	42
Diámetro del reflector (mm)	650
Anchura total del haz principal (grados)	3,12
Anchura del haz de antena de potencia mitad $\theta_{3\text{ dB}}$ (grados)	1,25

La eficacia del haz se define como la energía (sólo el componente de polarización principal) dentro del haz principal, con relación a la energía total en todos los ángulos ( $4\pi$  esterradianes o potencia por unidad de ángulo sólido). El haz principal se define como el cono de  $2,5 \theta_{3 \text{ dB}}$  del ángulo máximo (siendo  $2,5 \theta_{3 \text{ dB}}$  el ángulo máximo de anchura del haz de potencia mitad).

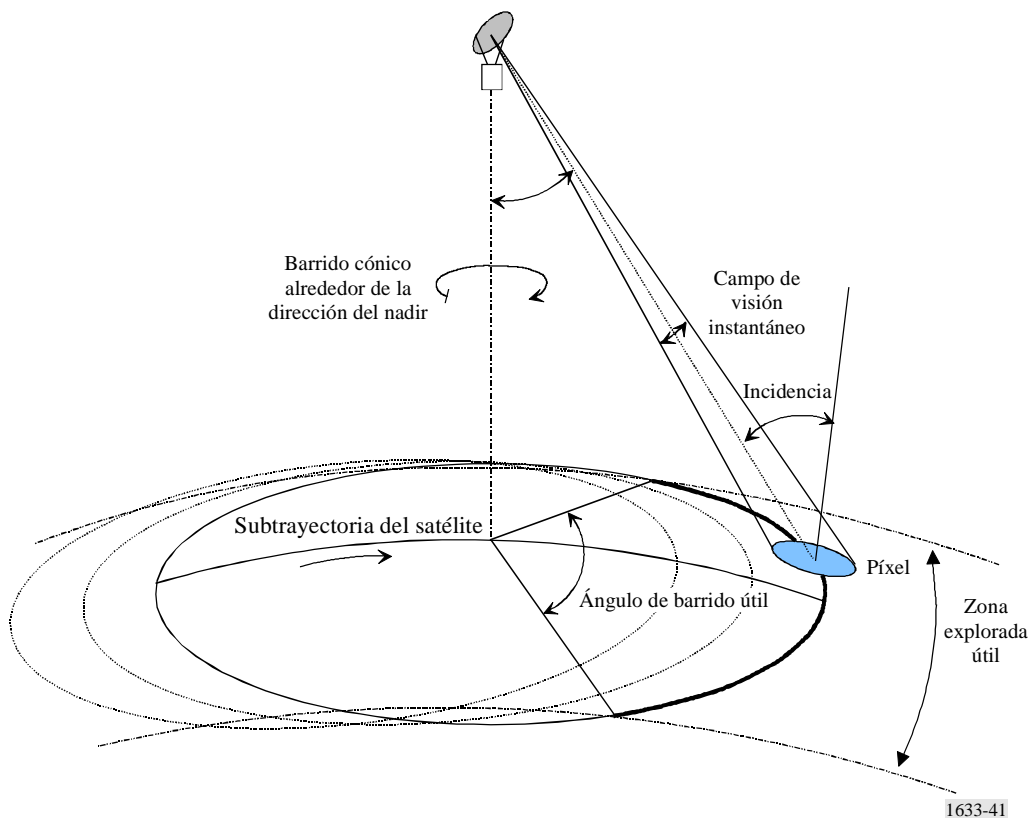
El tamaño del píxel perpendicular a la trayectoria se calcula a partir del contorno de  $-3 \text{ dB}$  del diagrama de antena teniendo en cuenta la altitud del satélite y el ángulo de incidencia  $i$  del eje de puntería del haz.

Desde el punto de vista general, las antenas generalmente utilizadas en aplicaciones radiométricas tienen alta eficacia de haz. El lóbulo principal puede concentrar una cantidad de energía muy elevada. Los primeros lóbulos laterales tienen un nivel de  $-30 \text{ dB}$  aproximadamente, que significa que el nivel de radiación del lóbulo posterior deberá ser de  $-35 \text{ dB}$  como mínimo. Las mediciones de AMSU-A muestran un nivel de lóbulo posterior que es de  $56 \text{ dB}$  por debajo del haz principal.

Es importante destacar que el sensor de barrido cónico no es un sensor referido al nadir, sino que es una configuración de barrido cónico centrada en la dirección del nadir. Es conveniente para la interpretación de las mediciones de superficie mantener un ángulo de incidencia terrestre constante a lo largo de todas las líneas de barrido. El sensor referido al nadir tiene tamaños de píxeles diferentes. La geometría de los instrumentos de barrido cónico se describe en la Fig. 41. La velocidad de rotación del instrumento (y no del satélite) es  $w = 20 \text{ r.p.m.}$

FIGURA 41

Geometría de los radiómetros de microondas de barrido cónico



Las características de geometría típicas de esta clase de instrumentos está basada (para una altura de unos  $850 \text{ km}$ ) en lo siguiente:

- el ángulo de incidencia terrestre  $i$  en el centro de la proyección es de unos  $50^\circ$ ;
- el ángulo de desplazamiento del SETS con respecto al nadir o el ángulo de semicono  $\alpha$  con referencia al nadir es de  $44^\circ$  aproximadamente;



- la zona explorada útil es de unos 1 600 km, y
- el periodo de exploración se fija con el objeto de asegurar plena cobertura y tiempo de integración óptimo (resolución radiométrica).

#### 1.4.2 Sensor de barrido referido al nadir

El sensor de barrido mecánico referido al nadir (AMSU-A) ha estado en operación durante varios años y es el sistema actualmente en uso. Tiene las siguientes características:

- explora transversalmente la trayectoria a través del nadir  $\pm 48,5^\circ$ ;
- 30 píxeles por barrido;
- la anchura de barrido es de 2 300 km;
- el ángulo de incidencia con la Tierra varía con el píxel.

Se ha propuesto un sensor de barrido transversal que tiene haces fijos en una zona explorada similar al AMSU-A. El sensor pasivo referido al nadir que se utilizó para este estudio es la sonda vertical de barrido transversal, en razón que es la más vulnerable a la interferencia. La sonda de barrido transversal es un instrumento puramente estático sin partes en movimiento. La característica principal de esta sonda es que se adquieren simultáneamente todos los píxeles en una línea de exploración, y no secuencialmente como en el caso de los sensores de barrido mecánico (es decir, del tipo AMSU), permitiendo así incrementar considerablemente el tiempo de integración y la resolución radiométrica obtenible. El sensor de barrido transversal incorpora una antena de adquisición de datos fija que apunta en la dirección del nadir y una antena de calibración de espacio frío dedicada. Las características principales de este sensor figuran en el Cuadro 56.

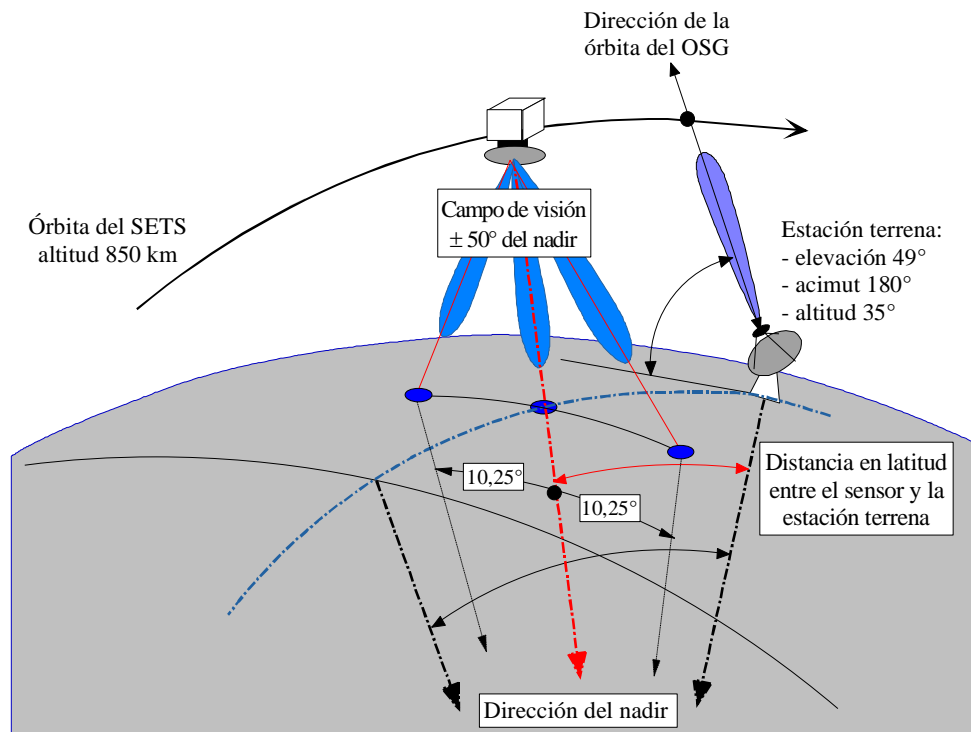
CUADRO 56

#### Características del sensor con proyección hacia el nadir

Parámetros	Sensor de barrido transversal
Ganancia de la antena principal (dBi)	45
Ganancia del lóbulo posterior de la antena (dBi)	-12
Campo de visión instantáneo a -3 dB (grados)	1,1
Campo de visión total perpendicular/en sentido de la trayectoria (grados)	100/1,1
Tamaño del píxel (km)	16
Número de píxeles por línea	90
Resolución radiométrica (K)	0,2
Densidad umbral de interferencia (dB(W/100 MHz))	-163
Altitud del sensor (km)	850
Ganancia de antena de calibración de espacio frío (dBi)	35
Ángulo de calibración de espacio frío (grados referidos a la trayectoria del satélite)	90
Ángulo de calibración de espacio frío (grados referidos a la dirección del nadir)	83
Tipo de barrido	Electrónico

La configuración orbital de este sensor se ilustra en la Fig. 42.

FIGURA 42  
**Configuración de las interferencias de las estaciones terrenas del SFS/SMS OSG al sensor pasivo**  
 (Configuración de la interferencia de la estación terrena del SFS/SMS al sensor con proyección al nadir)



1633-42

## 2 SFS y SMS

### 2.1 Banda de transmisión atribuida

El servicio activo es el enlace ascendente del SFS y los enlaces de conexión del SMS en la banda 30-31 GHz (véase el Cuadro 54).

### 2.2 Aplicación

El conjunto de las características que se tienen en cuenta en este Anexo se obtienen de la Recomendación UIT-R S.1328-3 – Características de los sistemas de satélite que se han de tener en cuenta en los análisis de compartición de frecuencias entre sistemas de satélites geoestacionarios (OSG) y no geoestacionarios (no OSG) del servicio fijo por satélite (SFS) incluidos los enlaces de conexión para el servicio móvil por satélite (SMS). Esta Recomendación contiene información pertinente sobre sistemas típicos.

NOTA 1 – La mayoría de los sistemas que figuran en la Recomendación UIT-R S.1328-3 que tienen enlaces ascendentes del SFS en la gama de 30 GHz tienen una banda de frecuencias limitada generalmente en 30 GHz. A pesar de ello, se supone que los satélites del SFS que tienen enlaces ascendentes en la banda 30-31 GHz tienen características similares a las que funcionan por debajo de 30 GHz.

## 2.3 Niveles basados en la representación espectral

Este Anexo emplea la representación espectral de coseno alzado que se describe en el Anexo 1.

Esta representación espectral está proyectada para estudios de banda por banda y es provisional, pues el UIT-R efectuará más estudios al respecto. La misma, representa de manera muy general la distribución de potencia media típica a través de los dominios fuera de banda y de emisiones no esenciales en una atribución adyacente o cercana.

## 2.4 Características del transmisor

### 2.4.1 Redes de satélite OSG

Las características utilizadas para las estaciones terrenas OSG vienen dadas en el Cuadro 57. Cada una de las redes de satélite OSG está integrada por un solo satélite OSG. No se dispone de información para todos los parámetros del sistema OSG. Estos parámetros aparecen en el Cuadro con la indicación «ND» (no disponible).

CUADRO 57

### Características de las estaciones terrenas de enlace ascendente OSG

Sistema	Ka-1	GSO-20	GSO-F	GSO-G	GSO-H	GSO-13
Servicio		SFS/SMS	SMS	SMS	SMS	SFS
Polarización		LHCP/RHCP	ND	ND	ND	RHCP/LHCP
Modulación		AMDF/MDP-4	MDF/MDT/ MDP-4	MDP-4	MDP-4	ND
Anchura de banda (MHz)	186,6	500	125	0,0768	0,0768	0,340
p.i.r.e. (dBW)	77	62	53,2	67,5	61,5	44,3
Ganancia de antena (dBW)	63,7	43,9	57,2	45,7	55,2	44,3
Potencia del transmisor (dBW)	13,3	18,1	-4	21,8	6,3	0
Número de estaciones		10	Ilimitado	-	-	600 000

## 2.4.2 Redes no OSG

Las características para las estaciones terrenas no OSG se indican en el Cuadro 58.

CUADRO 58

### Características del enlace ascendente de estaciones terrenas no OSG

Sistema	LEO-A	LEO-B	LEOSAT-1	LEOSAT-2
Servicio	SMS	SMS	SFS	SFS
Órbita	Circular	Circular	Circular	Circular
Altitud (km)	780	10 355	700	1 400
Inclinación (grados)	86	50	98,2	48
Satélites en un plano	11	4	40	9
Planos	6	3	21	7
Separación en un plano (grados)	32,7	90	9	
Puesta en fase en el plano (grados)	31,6	30	Aleatorio	
Polarización	RHCP	LHCP	LHCP/RHCP	
Modulación	AMDF/MDP-4	AMDC	MDP-4 conformada AMDF	
Anchura de banda (kHz)	4 370	2 500	500 000	311 000
p.i.r.e. (dBW)	43,5	54,25	15,2-33,6	50,8-60,4
Ganancia de antena (dBi)	56,3	64,8	36	
Potencia del transmisor (dBW)	-12,8	-10,55	-2,4	

## 3 Umbral de interferencia

La interferencia se puede recibir de diversas fuentes de múltiples servicios simultáneamente. El valor indicado en la Recomendación UIT-R SA.1029 (para una determinada banda) es el nivel de interferencia máximo admisible para el sensor pasivo. Por lo tanto, el umbral de compatibilidad es -163 dBW en una anchura de banda de 100 MHz. Este Anexo proporciona un análisis de la interferencia generada por un solo servicio activo. Es necesario efectuar mayores estudios para determinar la repercusión de estos servicios activos múltiples por encima y por debajo de la banda pasiva.

## 4 Evaluación de la interferencia

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

El siguiente análisis se basa en algunos casos geométricos estáticos que son muy importantes.

Para cada caso, la metodología aplicada se divide en dos pasos.

El primer paso comprende el cálculo de la atenuación requerida cuando los enlaces ascendentes del SFS comparten la misma frecuencia que la banda del SETS (pasivo). La interferencia recibida de una portadora se compara entonces con el umbral de interferencia del sensor. La diferencia es la reducción (atenuación) requerida de las emisiones fuera de banda que se deben obtener para proteger el servicio de exploración de la Tierra por satélite. Asimismo, en el presente análisis se supone que la densidad de potencia de la interferencia espectral recibida es constante en toda la banda del SETS de 200 MHz (31,3-31,5 GHz).

El segundo paso comprende el empleo de la representación espectral de coseno alzado descrita en el Anexo 1, y determinar la banda de guarda mínima que sería necesaria (separación entre las atribuciones del servicio pasivo y del servicio activo) para proteger al sensor pasivo.

#### 4.2 Cálculo del nivel de interferencia en el caso de sensores de barrido cónico

Los Cuadros 59 y 60 calculan la p.i.r.e. de un transmisor que emite potencia en sentido vertical sobre la Tierra que corresponde al umbral de interferencia de los sensores. Se consideran dos escenarios: el lóbulo principal y los lóbulos laterales de la antena del sensor.

##### 4.2.1 Determinación de la potencia en la Tierra en el nivel de umbral

El Cuadro 59 proporciona los parámetros para el cálculo de los umbrales de interferencia del haz principal y lóbulos laterales del sensor en la superficie de la Tierra.

CUADRO 59

#### Translación del umbral de interferencia a la Tierra – haz principal y lóbulo laterales del sensor

Sensor de barrido cónico	Haz principal del sensor	Lóbulos laterales del sensor
Umbral de interferencia (dB(W/100 MHz))	-163	-163
Ganancia de antena (dBi)	42	0
Altitud (km)	815	815
Alcance (km)	1 081	815
Pérdida en el espacio libre (dB)	-182,8	-180,4
Atenuación atmosférica (dB)	-1	-1
Pérdida de polarización (circular a lineal) (dB)	-3	-3
p.i.r.e. en la Tierra correspondiente al umbral del sensor (dB(W/100 MHz))	-18,2	21,5

##### 4.2.2 Cálculos con redes OSG y no OSG

Los resultados se presentan en los Cuadros 60 y 61.

CUADRO 60

#### Margen de interferencia en sintonía para sistemas OSG

Sistema	GSO-Ka-1	Terminal residencial OSG	GSO-20	GSO-F	GSO-G	GSO-B	GSO-13
<i>Caso 1 – Haz principal del transmisor</i>							
Haz principal del barrido cónico (dB)	-92,3	-66,8	-73,3	-70,5	-85,8	-79,8	-62,6
Lóbulo lateral del barrido cónico (dB)	-52,5	-27	-33,5	-30,7	-46	-40	-22,8
<i>Caso 2 – Lóbulo lateral del transmisor</i>							
Haz principal del barrido cónico (dB)	-18,9	-11,3	-19,4	-3,3	-30,1	-14,6	-8,3
Lóbulo lateral del barrido cónico (dB)	+20,9	+28,5	+20,4	+36,5	+9,7	+15,4	+31,5

CUADRO 61

**Margen de interferencia en sintonía para sistemas no OSG**

Sistema	LEOSAT-2	LEO-A	LEO-B	LEOSAT-1
<i>Caso 1 – Haz principal del transmisor</i>				
Haz principal del barrido cónico (dB)	-73,8	-61,8	-72,55	-44,9
Lóbulo lateral del barrido cónico (dB)	-34,0	-22,0	-32,75	-5,1
<i>Cas 1 – Faisceau principal de l'émetteur</i>				
Haz principal del barrido cónico (dB)	ND	-5,5	-7,75	-8,9
Lóbulo lateral del barrido cónico (dB)	ND	+34,3	+32,05	+30,9

**4.3 Sonda de barrido transversal con proyección al nadir: cálculo del nivel de interferencia**

Se adoptaron para el análisis las hipótesis básicas siguientes:

- La interferencia se produce por acoplamiento directo entre las antenas del sensor pasivo y de la estación terrena del SFS.
- Ambas antenas están modeladas conforme a la Recomendación UIT-R F.1245.
- Con el objeto de establecer configuraciones posibles para el caso más desfavorable, se supone que la dirección de puntería de la estación terrena del SFS/SMS (dirigida a la órbita geostacionaria en el caso de sistemas del SFS/SMS OSG) está contenida en el plano orbital del satélite de exploración de la Tierra. Esta configuración permite trayectos de interferencia de lóbulo lateral del sensor al lóbulo principal de la estación terrena y lóbulo principal del sensor al lóbulo lateral de la estación terrena. Son también posibles trayectos interferentes de lóbulo principal a lóbulo principal. En el caso de sistemas OSG, esto puede ocurrir sólo con estaciones terrenas ubicadas cerca del Ecuador. En el caso de sistemas no OSG, esto puede ocurrir en cualquier ubicación. Se debe estudiar en mayor profundidad la probabilidad de ocurrencia en un análisis dinámico que no se efectuó en este estudio.
- Se supone que la estación terrena del SFS está ubicada en una latitud de 35°. Este valor se seleccionó como una solución de compromiso para representar el caso más desfavorable del escenario lóbulo lateral del sensor a lóbulo principal de la estación terrena, pues puede representar la latitud más baja a partir de la cual las estaciones terrenas están distribuidas con mayor densidad y en la cual, debido al ángulo de incidencia relativamente alto del trayecto de la interferencia (49° aproximadamente), la protección natural debida a la pérdida del trayecto más las pérdidas de absorción atmosférica es la menor.
- El análisis dinámico que se efectúa en el § 4.4 considerará latitudes entre 0° y 50° N a fin de obtener una extensa gama de resultados.

### 4.3.1 Cálculo con redes OSG y no OSG

Advirtiendo que los escenarios más críticos son los que suponen simultáneamente una p.i.r.e. elevada y/o una anchura de banda necesaria amplia, se seleccionaron tres sistemas OSG con esos criterios para efectuar análisis detallados. Estos sistemas son: «GSO-G», «GSO-Ka-1» y «GSO-20» (véase el Cuadro 57).

Considerando solamente el haz en dirección al nadir del sensor pasivo de barrido transversal, se calculan los siguientes parámetros que dependen de la distancia en latitud entre el sensor pasivo y la estación terrena del SFS/SMS:

- distancia lineal entre el sensor y la estación terrena, (km);
- ángulos de desplazamiento entre el sensor/estación terrena de visión directa y el eje principal de las antenas;
- ganancias mutuas en cada dirección de las antenas del sensor y de la estación terrena;
- pérdida en el espacio;
- absorción atmosférica que depende del ángulo de elevación del trayecto;
- potencia recibida por el sensor pasivo;
- margen referido al umbral de interferencia;
- tamaño de la zona en la superficie de la Tierra en que los datos de sondeo están contaminados por la interferencia.

El problema es más complejo en el caso de estaciones terrenas no OSG pues en este caso la dirección de puntería de la estación terrena es un parámetro variable: una determinada estación terrena se puede apuntar en cualquier dirección (ángulos de elevación y de acimut).

Por razones de conveniencia, el presente estudio se limita a una configuración similar a la adoptada para el caso del SFS OSG, en el que no se consideran los escenarios de lóbulo principal a lóbulo principal. Sin embargo, es claro que esto producirá una evaluación muy optimista de la situación real.

En el caso de sistemas del SFS OSG, las configuraciones de lóbulo principal a lóbulo principal sólo pueden ocurrir con estaciones terrenas ubicadas cerca del Ecuador.

En el caso de sistemas del SFS no OSG, esta configuración se puede producir en cualquier parte de la cobertura del satélite del SFS.

La configuración se describe en la Fig. 42 donde se indican los parámetros geométricos principales del análisis.

### 4.3.2 Resultado de los análisis

Los resultados detallados se indican en las Figs. 43, 44 y 45 en forma de gráficos para los tres sistemas OSG seleccionados. Mientras que el satélite de exploración de la Tierra se mueve en dirección de la estación terrena aparece un primer evento de interferencia cuando el sensor cruza el lóbulo principal de la estación terrena. Se produce entonces un segundo evento cuando el sensor está cerca del cenit de la estación terrena. Las configuraciones lóbulo principal a lóbulo principal son posibles cerca del cenit de las estaciones terrenas ubicadas cerca del Ecuador. En ese caso, el exceso de potencia viene aumentado por la discriminación de la antena de la estación terrena (diferencia entre el lóbulo principal y los lóbulos lejanos).

FIGURA 43

**Potencia recibida de una estación terrena GSO-20 por el sensor pasivo**

(Potencia recibida en la banda atribuida por el sensor pasivo procedente de una estación terrena del SFS/SMSS GSO-20)

(Caso cofrecuencia, estación terrena a 35° de latitud)

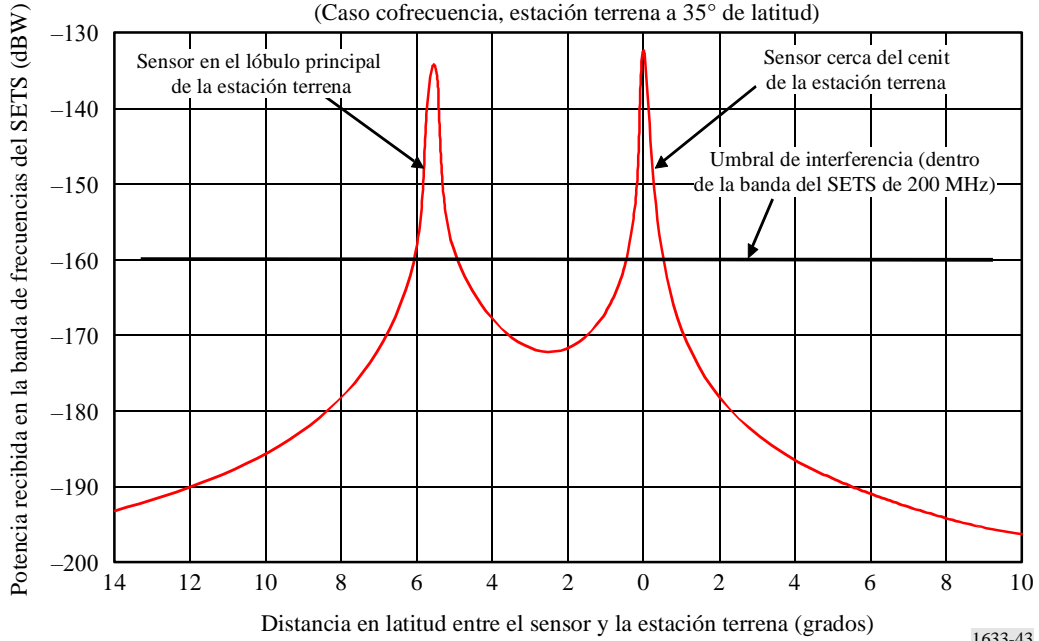


FIGURA 44

**Potencia recibida de una estación terrena GSO-Ka-1 por el sensor pasivo**

(Potencia recibida de una estación terrena GSO-Ka-1 por el sensor pasivo)

(Caso cofrecuencia, estación terrena a 35° de latitud)

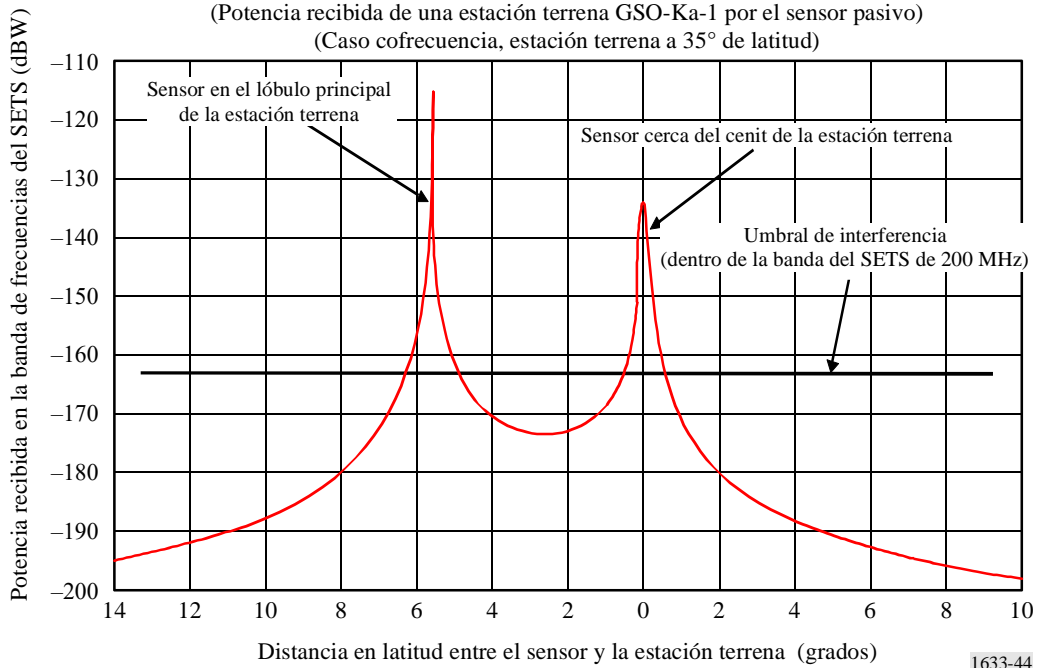
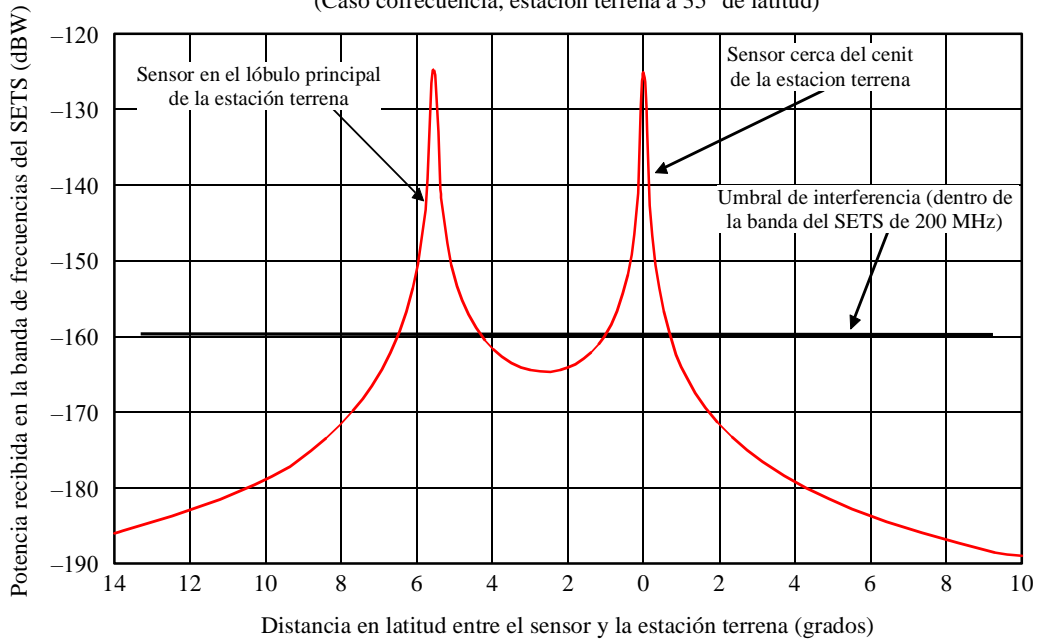




FIGURA 45

**Potencia recibida de la estación terrena GSO-G por el sensor pasivo**  
 (Potencia recibida en la banda atribuida por el sensor pasivo proveniente  
 de una estación terrena SMS GSO-G)  
 (Caso cofrecuencia, estación terrena a 35° de latitud)



1633-45

Los resultados de otros sistemas OSG y no OSG, no analizados en detalle, se deducen de los resultados precedentes mediante la comparación de la ganancia de antena respectiva y la potencia del transmisor.

**4.3.3 Análisis de los resultados**

Eventos de interferencia que ocurren cuando el sensor pasivo está dentro del lóbulo principal de la estación terrena del SFS (véase el Cuadro 62).

CUADRO 62

**Exceso de potencia sobre el umbral de interferencia – Sensor en el lóbulo principal de la estación terrena (hipótesis cofrecuencia)**

	Sistemas del SFS/SMS OSG					
	GSO-Ka-1	GSO-20	GSO-F	GSO-G	GSO-H	GSO-13
Exceso en todos los haces de antena (dB)	44,8	25,8	21	35,3	29,3	12,1
Zona contaminada (km <sup>2</sup> )	100 × 2 200	120 × 2 200	18 × 2 200	245 × 2 200	42 × 2 200	40 × 2 200
Píxeles contaminados/ evento	6 líneas de exploración	7,5 líneas de exploración	1 línea de exploración	16 líneas de exploración	2,6 líneas de exploración	2,5 líneas de exploración
Duración de un evento (s)	15	18	2,7	37	6,3	6

El exceso de potencia es de 35,3 dB (sistema GSO-G) por encima del umbral de interferencia del sensor pasivo. Estos eventos continúan hasta 37 s, que ha de ser comparado con el periodo orbital del sensor pasivo de 100 min. En razón que todos los haces de antena del sensor están permanentemente activados, algunas líneas de exploración (de 90 píxeles cada una) completa se pueden perder en cada evento; esto tiene como consecuencia que unos 1 440 píxeles se pierden por evento en el caso de la red GSO-G. Como el satélite de exploración de la Tierra está ubicado en una órbita casi polar, la condición requerida para la interferencia es una coincidencia dentro de  $\pm 0,6^\circ$  alrededor de la longitud de la estación terrena. La probabilidad de ocurrencia de tales eventos debe ser objeto de ulteriores estudios, considerando en particular los parámetros de deriva de la órbita del sensor pasivo, la densidad y latitud de las estaciones terrenas y el criterio de disponibilidad de los sensores pasivos. Debido a la magnitud de los eventos, la probabilidad de ocurrencia se debe tener debidamente en cuenta.

La interferencia se produce cuando el sensor pasivo está cerca del cenit de la estación terrena del SFS (véase el Cuadro 63).

CUADRO 63

**Exceso de potencia sobre el umbral de interferencia – Sensor cercano al cenit de la estación terrena (hipótesis cofrecuencia)**

	Sistemas del SFS/SMS OSG					
	GSO-Ka-1	GSO-20	GSO-F	GSO-G	GSO-H	GSO-13
Haz en dirección al nadir (dB)	25,9	27,7	8,7	34,9	17,1	13,5
Haces $\pm 50\%$ fuera del nadir (dB)	22,1	23,86	4,86	31,06	13,26	9,7
Zona contaminada (km)	$\Phi$ : 78	$\Phi$ : 94	$\Phi$ : 23	$\Phi$ : 191	$\Phi$ : 34	$\Phi$ : 27
Píxeles contaminados/evento	24	35	2	143	4,4	2,8
Duración de un evento (s)	12	14	3,4	29	5	4

El exceso de potencia es de hasta 35 dB por encima del umbral de interferencia del sensor. Este valor aparece como un factor preocupante en razón que el campo de visión de  $100^\circ$  del sensor de barrido transversal (transversal a la trayectoria) se compone de unos 90 haces de antena adyacentes permanentemente activados, que crean una zona longitudinal de  $\pm 10,25^\circ$  alrededor del emplazamiento de la estación terrena donde el sensor puede recibir interferencia perjudicial en cualquiera de sus haces de antena.

Por lo tanto, la interferencia ocurrirá toda vez que convergen las dos condiciones geométricas siguientes:

- el sensor cruza la latitud de la estación terrena;
- el sensor está ubicado a una distancia longitudinal dentro de  $\pm 10,25^\circ$  de la estación terrena.

Esta configuración se describe en la Fig. 46.

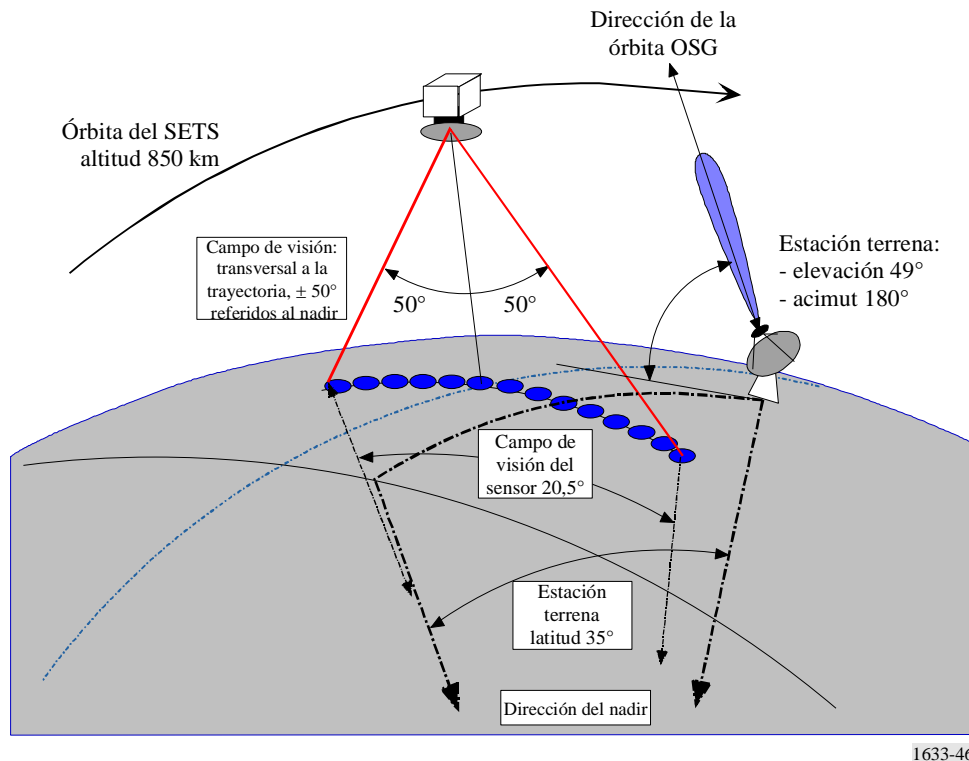
Considerando que la distancia longitudinal entre dos órbitas sucesivas es de unos  $25^\circ$  en el Ecuador, la consecuencia es que la operación del sensor pasivo está entorpecida por un evento de interferencia dos veces al día aproximadamente de una sola estación terrena considerando los

trayectos orbitales ascendentes y descendentes. La probabilidad es del 100%. El número de eventos aumenta con la altitud de la estación terrena, pues la distancia entre órbitas sucesivas disminuye con el coseno de la latitud. Es directamente proporcional al número de estaciones terrenas.

FIGURA 46

**Caso específico del sensor de barrido transversal**

(Configuración de la interferencia de la estación terrena del SFS/SMS al sensor de barrido transversal)



1633-46

En el caso de una estación terrena del SFS GSO-G las características principales de cada evento de interferencia son las siguientes:

- la duración es de unos 29 s;
- una zona circular de la superficie de la Tierra de un diámetro aproximado a 191 km alrededor de cada emplazamiento de estación terrena, está contaminada con interferencia perjudicial;
- esta zona de 28 600 km<sup>2</sup>, que corresponde a 140 píxeles, se debe comparar con la zona de servicio del sensor de referencia de 2 000 000 km<sup>2</sup> como se estipula en las Recomendaciones UIT-R SA.1028 y UIT-R SA.1029;
- el criterio de no disponibilidad de 0,01% se excede en gran medida en las cercanías de las estaciones terrenas.

Se debe señalar que el exceso de potencia puede exceder de 100 dB en el caso de estaciones terrenas ubicadas cerca del Ecuador (coincidencias de lóbulo principal con lóbulo principal). Además de la enorme pérdida de datos esto podría causar daños en los receptores del sensor pasivo.

Interferencia de estaciones terrenas del SFS no OSG (véase el Cuadro 64).

CUADRO 64

**Exceso de potencia sobre el umbral de interferencia (hipótesis cofrecuencia)**

Sensor cerca del cenit de la estación terrena	Sistemas del SFS/SMS no OSG		
	LEO-A	LEO-B	LEOSAT-1
Exceso mínimo, haz del sensor referido al nadir (dB)	12,7	4,5	12
Exceso máximo, haz del sensor referido al nadir (dB)	80	70	80
Exceso mínimo, haces a $\pm 50^\circ$ fuera del nadir (dB)	6,7	ninguno	6

Como en el caso del SFS OSG, el evento «cercano al cenit» (véase la Fig. 47) ocurre dos veces por día en todas las estaciones terrenas con la posibilidad adicional de un trayecto interferente de lóbulo principal a lóbulo principal para el que se requiere un análisis dinámico.

En el Cuadro 64 se resumen los resultados que indican el caso de exceso mínimo en el que se produce la interferencia de lóbulo principal a lóbulo lejano (estación terrena), y el caso de exceso máximo en el que se establece una coincidencia de lóbulo principal con lóbulo principal.

Evidentemente si el caso mínimo induce interferencia relativamente menor similar a los casos del SFS OSG menores, la posible ocurrencia de exceso máximo es un factor de serias consecuencias con sistemas que tienen una anchura de banda necesaria amplia. Asimismo, el caso de exceso máximo puede conducir a una situación de difícil solución en el que la aplicación de las máscaras fuera de banda puede ser insuficiente.

#### 4.4 Análisis de interferencia dinámico

Además de los casos estáticos y semiestáticos citados, es necesario un análisis dinámico para tener en cuenta el porcentaje de tiempo durante el cual se produce la interferencia. Como se indicó anteriormente, no se debe rebasar el umbral de  $-163$  dBW en más del 0,01% del tiempo en una anchura de banda de 100 MHz.

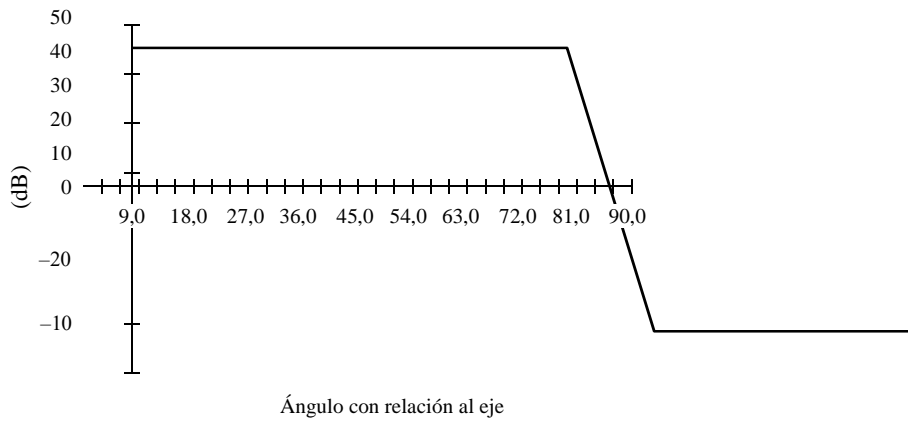
Se efectuaron simulaciones para determinar la probabilidad de interferencia utilizando un incremento de tiempo de 5 s a fin de obtener resultados precisos. Las simulaciones se interrumpieron cuando la función de distribución acumulativa se hizo estable. Además, se debe señalar que todas las simulaciones presentadas sólo se ocuparon de la sonda de barrido transversal en dirección al nadir pues los casos estáticos y semiestáticos citados han indicado que es el caso más desfavorable.

##### 4.4.1 Modelado de la antena de barrido transversal

Como se indicó anteriormente la antena de barrido transversal puede ver una línea completa de píxeles ubicada alrededor del nadir en  $\pm 50^\circ$  para el acimut, y en  $\pm 0,55^\circ$  para la elevación. La ganancia de antena máxima es de 45 dBi y, como es común para las antenas de radiómetros, hay una disminución pronunciada en el nivel de lóbulo lateral de  $-12$  dBi. La Fig. 47 siguiente muestra el diagrama de antena conforme al ángulo con relación al eje del acimut.

FIGURA 47

Diagrama de antena compuesto de barrido transversal utilizado para el análisis dinámico



1633-47

4.4.2 Cálculos dinámicos con sistemas OSG

CUADRO 65

Análisis dinámico entre el sistema OSG GSO-20 y el SETS con sólo una estación terrena que funciona en la posición N0, E0

Distribución acumulativa (%)	4,2	1	0,1	0,08	0,01	0,003
Barrido transversal: correspondiente a la potencia de interferencia recibida por el SETS (dBW) (anchura de banda de 500 MHz)	-210	-193	-175	-163	-134	-75

El Cuadro 65 indica que es posible encontrar una diferencia de 88 dB entre el umbral de -163 dBW y la potencia máxima recibida por el radiómetro de -75 dBW. Dicho nivel puede causar daños en el sensor.

CUADRO 66

Análisis dinámico entre el sistema OSG GSO-20 y el SETS con sólo una estación terrena que funciona en la posición N50, E0

Distribución acumulativa (%)	6,8	1	0,09	0,01	0,003
Barrido transversal: correspondiente a la potencia de interferencia recibida por el SETS (dBW) (anchura de banda de 500 MHz)	-212	-188	-163	-134	-129

CUADRO 67

Análisis dinámico entre el sistema OSG Ka-1 y el SETS con sólo una estación terrena que funciona en la posición N0, E0

Distribución acumulativa (%)	4,2	1	0,07	0,01	0,003
Barrido transversal: correspondiente a la potencia de interferencia recibida por el SETS (dBW) (anchura de banda de 186,6 MHz)	-212	-197	-163	-136	-129

De acuerdo con los Cuadros precedentes existe el riesgo que el satélite del SETS reciba interferencia cuando una sola estación terrena está en funcionamiento (o el porcentaje de datos interferidos está por encima del nivel aceptable). Con respecto a la anchura de banda relativa, las atenuaciones espectrales requeridas son de 22 dB para el sistema GSO-20 y de 24,3 dB para el sistema Ka-1.

Se estima que un número considerable de estaciones terrenas está en funcionamiento en los sistemas de satélite para los cuales los resultados de las simulaciones dinámicas figuran en los Cuadros 65 a 67. El aumento del número de estaciones terrenas incluidas en las simulaciones dinámicas puede incrementar el porcentaje de tiempo en que se excede el criterio del SETS. En este caso, se deben reexaminar las conclusiones formuladas en el § 4.5 con respecto al valor de las bandas de guarda requeridas.

#### 4.4.3 Cálculos dinámicos con sistemas no OSG

CUADRO 68

**Análisis dinámico entre el sistema del SMS no OSG LEO-B y el SETS con seis estaciones terrenas que funcionan uniformemente sobre el Ecuador**

Distribución acumulativa (%)	24,2	1	0,1	0,01	0,003
Barrido transversal: correspondiente a la potencia de interferencia recibida por el SETS (dBW) (anchura de banda de 2,5 MHz)	-236	-208	-163	-152	-150

De acuerdo con el Cuadro 68 existe el riesgo que el satélite del SETS reciba interferencia cuando funcionan seis estaciones terrenas (o el porcentaje de datos interferidos está por encima del nivel aceptable). En ese caso, la atenuación espectral requerida es de 11 dB para el SMS LEO-B.

Se estima que un número considerable de estaciones terrenas está en funcionamiento en los sistemas de satélite para los cuales los resultados de las simulaciones dinámicas figuran en el Cuadro 68. El aumento del número de estaciones terrenas incluidas en las simulaciones dinámicas puede incrementar el porcentaje de tiempo en que se excede el criterio del SETS. En este caso, se deben reexaminar las conclusiones formuladas en el § 4.5 con respecto al valor de las bandas de guarda requeridas.

#### 4.5 Aplicación de las máscaras fuera de banda a la transmisión de la estación terrena del SFS

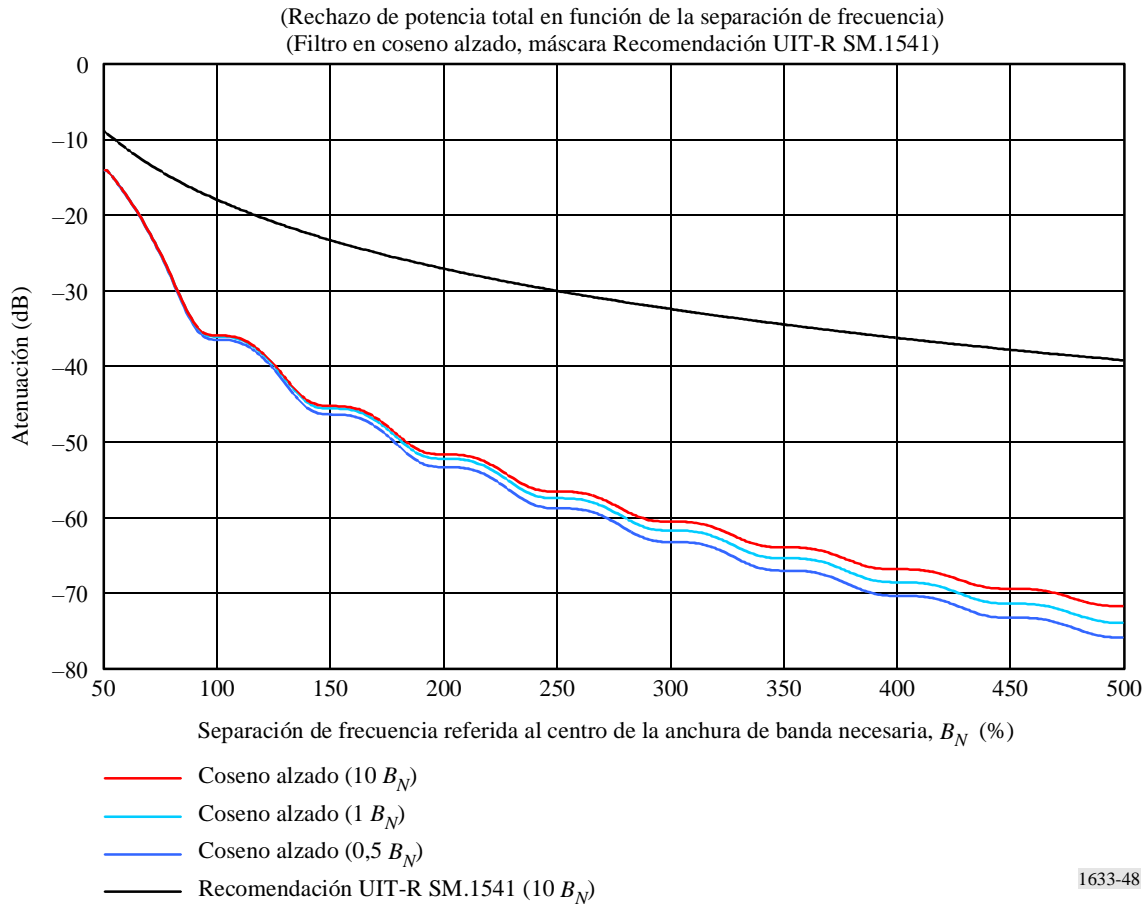
Considerando ahora que las estaciones terrenas del SFS emiten en su propia banda de frecuencias, el rechazo de su potencia de la banda atribuida al SETS (pasivo) adyacente debe ser, por ejemplo:

- 25,9 a 44,8 dB para el sistema OSG Ka-1 (24,3 dB con análisis dinámico), haciendo caso omiso a la posible aparición de configuraciones de lóbulo principal a lóbulo principal en el caso de estaciones terrenas cercanas al Ecuador.
- 12,7 dB para el sistema LEO-A no OSG.
- 11 dB para el sistema LEO-B no OSG.

La Fig. 48 representa la potencia que cae dentro de la atribución del SETS que depende de la banda de guarda. Para cubrir las características variables de las emisiones del SFS, se efectúa una integración gradual para tres valores de la banda pasiva, expresados en términos de porcentaje de la anchura de banda necesaria del SFS (1 000, 100 y 50%). Entre las tres curvas hay sólo una pequeña diferencia.

FIGURA 48

**Atenuación de la potencia fuera de banda contenida dentro de la anchura de banda del SETS**



Se puede observar en la Fig. 48 que el desplazamiento de frecuencia se toma del centro de la anchura de banda necesaria. Esto se utilizará para determinar la distancia mínima entre el centro de la anchura de banda necesaria y el límite superior de la banda atribuida al SFS que se requiere para proteger la banda adyacente atribuida al SETS de las emisiones del SFS no deseadas.

Asimismo, se proporciona una separación de 300 MHz por la atribución a los servicios fijo y móvil entre el SFS y el SETS en la banda 31-31,3 GHz. Por lo tanto, la separación de frecuencia mínima entre el centro de la anchura de banda necesaria, que constituye la referencia en la máscara, se define como:  $B_N/2 + 300$  MHz.

En consecuencia, la banda de guarda adicional requerida tiene un desplazamiento del centro de  $B_N - (B_N/2 + 300$  MHz).

**4.5.1 Sonda de barrido transversal referida al nadir**

Suponiendo que se adopta esta máscara y que representa fiablemente las características espectrales reales de los transmisores del SFS, se pueden obtener las condiciones siguientes que se resumen en los Cuadros 69 y 70 para sistemas del SFS OSG y en el Cuadro 71 para sistemas del SFS no OSG (casos mínimo y máximo). En la última línea de dichos Cuadros se indica la banda de guarda adicional que sería necesaria para proteger los sensores pasivos de las emisiones no deseadas en la banda 31,3-31,5 GHz.

CUADRO 69

**Resumen de las bandas de guarda necesarias para proteger a los sensores pasivos de las estaciones terrenas del SFS OSG (lóbulos lejanos del sensor en el lóbulo principal de la estación terrena)**

	<b>GSO-Ka-1</b>	<b>GSO-20</b>	<b>GSO-F</b>	<b>GSO-G</b>	<b>GSO-H</b>	<b>GSO-13</b>
Rechazo de la potencia requerida (dB)	44,8	25,8	21	35,3	29,3	12,1
Anchura de banda necesaria (MHz)	186,6	500	125	0,0768	0,0768	0,340
Banda pasiva (% $B_N$ )	107	40	160	> 1 000	> 1 000	> 1 000
Desplazamiento del centro de $B_N$ (% $B_N$ )	145	75	70	90	80	50
Desplazamiento del centro de $B_N$ (MHz)	271	375	88	Despreciable	Despreciable	Despreciable
Banda de guarda adicional requerida (MHz)	0	0	0	0	0	0

CUADRO 70

**Resumen de las bandas de guarda necesarias para proteger a los sensores pasivos de las estaciones terrenas del SFS OSG (sensor cercano al cenit de la estación terrena)**

	<b>GSO-Ka-1</b>	<b>GSO-20</b>	<b>GSO-F</b>	<b>GSO-G</b>	<b>GSO-H</b>	<b>GSO-13</b>
Rechazo de la potencia requerida (dB)	25,9	27,7	8,7	34,9	17,1	13,5
Anchura de banda necesaria (MHz)	186,6	500	125	0,0768	0,0768	0,340
Banda pasiva (% $B_N$ )	107	40	160	> 1 000	> 1 000	> 1 000
Desplazamiento del centro de $B_N$ (% $B_N$ )	80	80	50	–	–	–
Desplazamiento del centro de $B_N$ (MHz)	150	400	63	–	–	–
Banda de guarda adicional requerida (MHz)	0	0	0	0	0	0



CUADRO 71

**Resumen de las bandas de guarda necesarias para proteger a los sensores pasivos de las estaciones terrenas del SFS no OSG (sensor cercano al cenit de la estación terrena)**

	<b>LEO-A</b>	<b>LEO-B</b>	<b>LEOSAT-1</b>
Rechazo de potencia requerida mínima (dB)	12,7	4,5	12
Anchura de banda necesaria (MHz)	4,37	2,5	500
Banda pasiva (% $B_N$ )	> 1 000	> 1 000	40
Desplazamiento del centro de $B_N$ (% $B_N$ )	50	< 50	50
Desplazamiento del centro de $B_N$ (MHz)	Despreciable	Despreciable	250
Banda de guarda adicional requerida (MHz)	0	0	0
Rechazo de potencia requerida máxima (dB)	80	70	80
Desplazamiento del centro de $B_N$ (% $B_N$ )	550	450	550
Desplazamiento del centro de $B_N$ (MHz)	24	6,25	2 750
Banda de guarda adicional requerida (MHz)	0	0	2 200

- Para todos los sistemas OSG considerados en este estudio, la aplicación de una máscara de coseno alzado resuelve la mayoría de los problemas de interferencia posibles causados por enlaces Tierra-espacio entre estaciones terrenas y satélites. No obstante se debe seguir investigando (análisis dinámico) la probabilidad que aparezcan configuraciones de lóbulo principal a lóbulo principal en estaciones terrenas ubicadas cerca del Ecuador y que producen un aumento muy considerable de los niveles de interferencia indicados en el Cuadro 65 (hasta 88 dB aproximadamente).
- La conclusión es similar con redes no OSG, excepto para sistemas que tienen una anchura de banda necesaria amplia en razón de la mayor probabilidad de coincidencias de lóbulo principal con lóbulo principal. El sistema LEOSAT-1 presenta un problema particular debido a su amplia anchura de banda necesaria y de su órbita cercana a la órbita del SETS. Esto podría producir coincidencias de lóbulo principal con lóbulo principal de larga duración que produzcan eventos de interferencia inaceptables y posibles daños a los receptores del sensor aun con la aplicación de la máscara de coseno alzado. Sin embargo, en razón del gran número de satélites especificados en el concepto del sistema precedente, la utilización actual de esta red es improbable con esta configuración (840 satélites proyectados inicialmente).

#### 4.5.2 Sensores de barrido cónico

En base a los resultados indicados en los Cuadros 60 y 61, se presenta en los Cuadros 72 y 73 el desplazamiento de frecuencia mínimo entre el centro de la anchura de banda necesaria y el límite inferior de la banda atribuida que se requiere para proteger el sensor pasivo de la interferencia generada por los enlaces ascendentes del SFS. Los desplazamientos de frecuencia se calculan sobre la base de una máscara de coseno alzado.

Se observa que el desplazamiento de frecuencia mínimo es la mitad de la anchura de banda necesaria, es decir el 50%.

Se debe tener presente que hay una separación de 300 MHz entre la atribución al SFS/SMS y la atribución al SETS (pasivo). Por consiguiente, la separación de frecuencia mínima entre el centro de la anchura de banda necesaria, que es el valor de referencia en la máscara, es  $B_N/2 + 300$  MHz.

Las zonas sombreadas en los Cuadros indican que los márgenes son positivos y que no se prevé interferencia perjudicial. Esto tiene por objeto proporcionar una ayuda visual para determinar la magnitud del problema de interferencia.

CUADRO 72

**Cálculo del desplazamiento de frecuencia requerido para proteger la banda atribuida al servicio pasivo que utiliza la máscara de coseno alzado (sistemas OSG)**

Sistema	GSO-Ka-1	Terminal residencial OSG	GSO-20	GSO-F	GSO-G	GSO-H	GSO-13
Anchura de banda necesaria (MHz)	186,6	3	500	125	0,0768	0,0768	0,340
<i>Caso 1 – Haz principal del transmisor</i>							
Haz principal de barrido cónico (dB)	-92,3	-66,8	-73,3	-70,5	-85,8	-79,8	-62,6
Desplazamiento del centro de $B_N$ (%)	>1 000	394	533	475	957	725	329
Desplazamiento del centro de $B_N$	>1,9 GHz	11,8 MHz	2,7 GHz	594 MHz	0,8 MHz	0,6 MHz	1,2 MHz
Banda de guarda adicional requerida	>1,5 GHz	0	2,15 GHz	232 MHz	0	0	0
Lóbulo lateral de barrido cónico (dB)	-52,5	-27	-33,5	-30,7	-46	-40	-22,8
Desplazamiento del centro de $B_N$ (%)	217	78	88	83	165	125	71
Desplazamiento del centro de $B_N$ (MHz)	405	2,4	440	104	0,13	0,96	0,25
Banda de guarda adicional requerida (MHz)	12	0	0	0	0	0	0
<i>Caso 2 – Lóbulo lateral del transmisor</i>							
Haz principal de barrido cónico (dB)	-18,9	-11,3	-19,4	-3,3	-30,1	-14,6	-8,3
Desplazamiento del centro de $B_N$ (%)	65	50	70	50	80	50	50
Desplazamiento del centro de $B_N$ (MHz)	122	1,5	350	125	0,07	0,04	0,17
Banda de guarda adicional requerida (MHz)	0	0	0	0	0	0	0
Lóbulo lateral de barrido cónico (dB)	+20,9	+28,5	+20,4	+36,5	+9,7	+15,4	+31,5

CUADRO 73

**Cálculo del desplazamiento de frecuencia requerido para proteger la banda atribuida al servicio pasivo que utiliza la máscara de coseno alzado (sistemas no OSG)**

Sistema	LEOSAT-2	LEO-A	LEO-B	LEOSAT-1
Anchura de banda necesaria (MHz)	311	4,37	2,5	500
<i>Caso 1 – Haz principal del transmisor</i>				
Lóbulo lateral de barrido cónico (dB)	-73,8	-61,8	-72,55	-44,9
Desplazamiento del centro de $B_N$ (%)	547	323	523	142
Desplazamiento del centro de $B_N$ (MHz)	1 700	14,2	13,1	710
Banda de guarda adicional requerida (MHz)	1 250	0	0	160
Lóbulo lateral de barrido cónico (dB)	-34,0	-22,0	-32,75	-5,1
Desplazamiento del centro de $B_N$ (%)	89	75	87	50
Desplazamiento del centro de $B_N$ (MHz)	277	3,3	2,2	250
Banda de guarda adicional requerida (MHz)	0	0	0	0
<i>Caso 2 – Lóbulo lateral del transmisor</i>				
Lóbulo lateral de barrido cónico (dB)	ND	-5,5	-7,75	-8,9
Desplazamiento del centro de $B_N$ (%)		50	50	50
Desplazamiento del centro de $B_N$ (MHz)		2,2	1,25	250
Banda de guarda adicional requerida (MHz)		0	0	0
Lóbulo lateral de barrido cónico (dB)	ND	+34,3	+32,05	+30,9

En la mayoría de los casos, parece ser que la aplicación de la máscara de coseno alzado es una solución satisfactoria para proteger a los sensores pasivos de las emisiones no deseadas generadas por estaciones terrenas del SFS OSG y no OSG, salvo en el caso de coincidencias de lóbulo principal con lóbulo principal y la repercusión total de múltiples estaciones terrenas en simulaciones dinámicas que aun requieren mayor investigación.

Sin embargo, algunos sistemas que utilizan simultáneamente una amplia anchura de banda necesaria y una p.i.r.e. elevada presentan serios problemas en el caso de configuraciones de lóbulo principal con lóbulo principal. En los sistemas GSO Ka-1, GSO-20 y LEOSAT-2 el desplazamiento de frecuencia requerido para proteger la banda pasiva no es posible. En consecuencia, se deberán efectuar estudios sobre estos sistemas.

## 5 Técnicas de mitigación de la interferencia

### 5.1 SETS (pasivo)

Es necesario intensificar los estudios sobre este tema.

## 5.2 SFS y SMS

Los resultados de los análisis (véanse los Cuadros 60 y 61 para el sensor de barrido cónico y los Cuadros 62 a 64 para el sensor con proyección al nadir) indican que, en la mayoría de los casos, la separación de 300 MHz entre las atribuciones al SFS y al SETS y la aplicación de la máscara de coseno alzado ofrecen una protección adecuada a los sensores pasivos. Sin embargo algunas cuestiones críticas que suponen la alineación de los lóbulos principales con sistemas que aplican simultáneamente una p.i.r.e. elevada y una amplia anchura de banda necesaria permanecen sin resolver y requieren mayores estudios. En razón que la probabilidad de coincidencias de lóbulo principal con lóbulo principal puede ser alta en el caso de sistemas del SFS no OSG y en estaciones terrenas del SFS OSG cercanas al Ecuador, no se puede aplicar un desplazamiento de frecuencia adicional en estos sistemas para proporcionar protección a la atribución pasiva adyacente.

## 5.3 Repercusiones posibles

### 5.3.1 SETS (pasivo)

La posible repercusión del SETS (pasivo) no se puede determinar hasta que no se apliquen las técnicas de mitigación de la interferencia (véase el § 5.1).

### 5.3.2 SFS y SMS

Este Anexo se basa en la utilización de la representación espectral de coseno alzado. Las consecuencias de dicha representación espectral se están estudiando en el UIT-R.

## 6 Resultados de los estudios

### 6.1 Resumen

Este Anexo aborda las cuestiones de protección de la banda pasiva 31,3-31,5 GHz considerando diversos sensores del SETS. De acuerdo con las características del SFS, el nivel por encima del umbral puede estar en el orden de 88 dB en el caso de la alineación de lóbulo principal con lóbulo principal; este nivel puede causar daños a los sensores.

Se debe tener presente que para la mayoría de las redes OSG y no OSG, que han sido consideradas en el estudio, la protección de la banda 31,3-31,5 GHz atribuida al SETS (pasivo) aprovecha la separación de 300 MHz entre los dos servicios si se utiliza una atenuación apropiada. Sin embargo, será necesario continuar investigando otros tipos de redes.

Se debe señalar que en razón de la falta de información de la utilización actual de la banda 30-31 GHz por sistemas del SFS/SMS y las características apropiadas del sistema, se adoptaron para los fines de este estudio las características de los sistemas del SFS/SMS utilizadas en una banda cercana. Por consiguiente, es posible que alguna de las conclusiones indicadas en este Anexo puedan ser modificadas.

### 6.2 Conclusiones

Este análisis muestra que es necesario estudiar más ampliamente las técnicas de mitigación aplicables. Salvo en el caso específico de alineación de lóbulos principales, que tiene una probabilidad menor del 0,01% que se produzca conforme al análisis dinámico, y la repercusión total de múltiples estaciones terrenas en la simulación dinámica que aun requiere mayor investigación, basada en las características conocidas de los sistemas del SFS/SMS empleados en el estudio, la banda 31,3-31,5 GHz puede estar protegida si se utiliza atenuación de coseno alzado o cualquier técnica de modulación que proporciona una atenuación igual o mejor.

## Anexo 15

### Análisis de compatibilidad entre sistemas del SETS (pasivo) que funciona en la banda 31,3-31,5 GHz y el sistema del servicio fijo que funciona en la banda 31-31,3 GHz

#### 1 SETS (pasivo)

##### 1.1 Banda atribuida

La banda 31-31,3 GHz está atribuida al servicio fijo y es adyacente a la banda 31,3-31,5 GHz atribuida al SETS. Este Anexo proporciona cálculos de niveles de emisiones no deseadas de sistemas del servicio fijo que funcionan por debajo de 31,3 GHz y que pueden caer dentro de la banda 31,3-31,5 GHz.

Se debe señalar que conforme al número 5.340 del RR, se prohíben todas las emisiones en la banda 31,3-31,5 GHz.

Las atribuciones adyacentes a las bandas pasivas 31,3-31,5 GHz se indican en el Cuadro 74.

CUADRO 74

#### Atribuciones de bandas adyacentes

Servicios en la banda atribuida inferior	Banda pasiva	Servicios en la banda atribuida superior
<b>31-31,3 GHz</b>	<b>31,3-31,5 GHz</b>	<b>31,5-31,8 GHz</b>
FIJO MÓVIL Frecuencias patrón y señales horarias por satélite (espacio-Tierra) Investigación espacial 5.544	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (pasivo) RADIOASTRONOMÍA INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo)	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (pasivo) RADIOASTRONOMÍA INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo) Fijo (Regiones 1 y 3) Móvil salvo móvil aeronáutico (Regiones 1 y 3)

##### 1.2 Aplicación

Ésta es una de las bandas utilizadas para efectuar sondeo atmosférico cercano al nadir junto con bandas tales como 23,8 GHz y 50,3 GHz para la caracterización de cada capa de la atmósfera terrestre.

En la banda de 31 GHz, se requiere una anchura de banda de 416 MHz para obtener una precisión de 0,2 K. Esto significa que la comunidad de usuarios de microondas de servicios pasivos necesitan proteger las bandas de 31,3-31,5 GHz y 31,5-31,8 GHz.

Esta banda se utilizará también con la banda 31,5-31,8 GHz como «ventana dividida». Esto permitirá efectuar una comparación de las mediciones efectuadas en las dos sub-bandas para verificar la calidad de los datos. Esto, a su vez, permitirá utilizar la banda total cuando se prevé que la calidad es buena para aumentar la sensibilidad del sensor.

### 1.3 Criterios de protección requeridos

Recomendación UIT-R SA.515 – Bandas de frecuencias y anchuras de banda utilizadas para la detección pasiva por satélite.

Recomendación UIT-R SA.1028 – Criterios de calidad para la teledetección pasiva por satélite.

Recomendación UIT-R SA.1029 – Criterios de interferencia para la teledetección pasiva por satélite.

### 1.4 Características operacionales

Se consideran las características operacionales siguientes para el sistema del SETS:

- Se supone que el sensor tiene una antena con una ganancia máxima de 45 dBi.
- El sensor del SETS apunta en la dirección del nadir.
- El tamaño del píxel para un sensor con una altitud de 850 km es de 201 km<sup>2</sup> (diámetro 16 km).

## 2 Servicio fijo

### 2.1 Banda atribuida

Véase el Cuadro 74.

### 2.2 Aplicación

Esta banda se puede utilizar para sistemas del servicio fijo punto a punto (P-P) y sistemas del servicio fijo P-MP.

### 2.3 Niveles basados en documentos UIT existentes

Las siguientes Recomendaciones UIT-R proporcionan información sobre emisiones no deseadas de sistemas del servicio fijo:

Recomendación UIT-R F.1191 – Anchuras de banda y emisiones no deseadas de los sistemas digitales del servicio fijo.

Recomendación UIT-R SM.329 – Emisiones no deseadas en el dominio no esencial.

Recomendación UIT-R SM.1541 – Emisiones no deseadas en el dominio fuera de banda.

### 2.4 Características del transmisor

Las siguientes características fueron consideradas para sistemas del servicio fijo P-P y P-MP que funcionan en esta banda.

CUADRO 75

**Características de sistemas P-P  
(Recomendación UIT-R F.758)\***

Separación de canales (MHz)	56	3,5
Ganancia de antena (máxima) (dBi)	45	45
Pérdida de alimentador/multiplexor (mínima) (dB)	0	0
Tipo de antena	Parabólica	Parabólica
Potencia de salida máxima del transmisor (dBW)	0	0
p.i.r.e. (máxima) (dBW)	45	45

\* Dado que la Recomendación UIT-R F.758 no proporciona información sobre los sistemas P-P utilizados en esta banda, estos parámetros se basan en los correspondientes a sistemas que se han de instalar en la banda 37-39,5 GHz, con la ganancia de antena apropiada.

CUADRO 76

**Características de los sistemas P-MP  
(Recomendación UIT-R F.758)**

Separación de canales (MHz)	50	2,5
Sentido de transmisión	Centro a terminal remoto	terminal remoto a centro
Ganancia de antena (máxima) (dBi)	15	36
Pérdida de alimentador/multiplexor (mínima) (dB)	0	0
Tipo de antena	Bocina 15° × 90°	Parabólica 2° × 2°
Potencia de salida máxima del transmisor (dBW)	10	4
p.i.r.e. (máxima) (dBW)	25	40

## 2.5 Características operacionales

### 2.5.1 Características operacionales P-P

Se propone utilizar como primer paso una densidad de terminales de 1 terminal por km<sup>2</sup>\*.

### 2.5.2 Características operacionales P-MP

Se propone utilizar como primer paso una densidad de terminales de 0,3 terminales por km<sup>2</sup>\*.

- *Reutilización de frecuencia:* se emplea generalmente una reutilización de frecuencia de 2 y se considera como escenario típico. Un factor de reutilización de frecuencia de 1 se debe considerar como la situación para el caso más desfavorable, que ocurre excepcionalmente.

---

\* Se debe señalar que esos números representan el planteamiento para el caso más desfavorable y que será mejorado para obtener un número de sistemas del servicio fijo que se ajusta a la realidad en cada una de las bandas consideradas.

- *Antena de sector*: la anchura típica de la antena de sector es de 90°. En algunos casos, se prevén antenas de sector de 45° cuando se debe transportar desde una estación una elevada cantidad de tráfico.

En base a estas consideraciones, el centro de distribución de una célula P-MP puede, generalmente, prestar servicios a dos abonados cocanal dentro de una determinada célula.

## 2.6 Potencia de transmisión dentro de la banda

Véanse los Cuadros 75 y 76.

## 3 Umbral de compatibilidad (si fuera aplicable)

El criterio de protección del sensor pasivo es de –163 dBW en una anchura de banda de 100 MHz (no se deben exceder durante más del 0,01% del tiempo como se estipula en la Recomendación UIT-R SA.1029).

La interferencia se puede recibir simultáneamente de diversas fuentes de múltiples servicios. El valor que figura en la Recomendación UIT-R SA.1029 (para una determinada banda) es el nivel de interferencia máximo admisible para el sensor pasivo.

En este Anexo se efectúa un análisis de la interferencia generada por un solo servicio activo.

Es necesario continuar estudiando este tema para determinar la repercusión de múltiples servicios activos que funcionan por encima y por debajo de la banda pasiva.

## 4 Evaluación de la interferencia

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

El primer paso de este método es calcular la potencia aceptable de señales emitidas por sistemas del servicio fijo que puedan caer dentro de un píxel del SETS.

$$\text{Potencia global en la Tierra en 100 MHz} = \text{criterios de protección del SETS (dB(W/100 MHz))} - \text{Ganancia del SETS} + \text{pérdida en el espacio libre}$$

Es posible calcular entonces el nivel de emisiones no deseado por sistema del servicio fijo que cae dentro de la anchura de banda de referencia de 100 MHz del SETS:

$$\text{Potencia por transmisor (dB(W/100 MHz))} = \text{potencia global en la Tierra en 100 MHz} - \text{número de transmisores (en píxel del SETS)} - \text{ganancia del servicio fijo en la dirección del SETS}$$

### 4.2 Cálculo

Para sistemas P-P, se utilizó la Recomendación UIT-R F.1245 para calcular la ganancia de antena en dirección del cenit. La densidad de los terminales que funcionan en la misma frecuencia se toma como 1 terminal por km<sup>2</sup>.

Para estaciones terminales P-MP, se utilizó la Recomendación UIT-R F.1245 para calcular la ganancia de antena en dirección del cenit. Para estaciones centrales P-MP, se utilizó la Recomendación UIT-R F.1336 para calcular la ganancia de antena en la dirección del cenit. La densidad de emplazamiento de la estación central que funciona en la misma frecuencia se toma como 0,3 terminales por km<sup>2</sup>. En el mismo emplazamiento, dos estaciones centrales pueden emplear la misma frecuencia empleando una antena de sector de 90°. Por lo tanto, dentro de la misma célula, dos estaciones terminales pueden utilizar la misma frecuencia.



CUADRO 77

**Nivel de emisiones no deseadas admisible por sistema del servicio fijo P-P que cae dentro de la banda del SETS**

Frecuencia (GHz)	31,3	
Criterio de interferencia (dB(W/100 MHz))	-163	
Altitud (km)	850	
Anchura de banda de referencia (MHz)	100	
Ganancia del SETS	45	
Pérdida en el espacio libre	181	
Potencia global en la Tierra (dB(W/100 MHz))	-27	
Potencia global en la Tierra (dB(W/MHz))	-47,1	
<i>Tipo de estación</i>	Central	Terminal
Separación de canales (MHz)	56	3,5
Ganancia de la antena del servicio fijo	45	45
Ganancia del servicio fijo en la dirección del SETS	-12,3	-12,3
Potencia global (dBW/MHz)	-34,8	-34,8
Densidad de los sistemas por km <sup>2</sup>	1,0	1,0
Tamaño del píxel (km <sup>2</sup> )	201	201
Número de transmisores	201	201
Potencia por transmisor (dB(W/MHz))	-57,8	-57,8
Potencia por transmisor (dB(W/100 MHz))	-37,8	-37,8

CUADRO 78

**Nivel de emisiones no deseadas admisible por sistema del servicio fijo P-MP que cae dentro de la banda del SETS**

Frecuencia (GHz)	31,3	
Criterio de interferencia (dB(W/100 MHz))	-163	
Altitud (km)	850	
Anchura de banda de referencia (MHz)	100	
Ganancia del SETS	45	
Pérdida en el espacio libre	181	
Potencia global en la Tierra (dB(W/100 MHz))	-27	
Potencia global en la Tierra en dB(W/MHz)	-47,1	
<i>Tipo de estación</i>	Central	Terminal
Separación de canales (MHz)	50	2,5
Ganancia de la antena del Servicio fijo	15	36
Ganancia del service fijo en la dirección del SETS	-11,6	-10,1
Potencia global (dB(W/MHz))	-35,5	-37,0
Densidad de los sistemas por km <sup>2</sup>	0,6	0,6
Tamaño del píxel (km <sup>2</sup> )	201	201
Número de transmisores	121	121
Potencia por transmisor (dB(W/MHz))	-56,3	-57,8
Potencia por transmisor (dB(W/100 MHz))	-36,3	-37,8

### 4.3 Valores obtenidos

#### 4.3.1 Nivel de emisiones no deseadas conforme a las Recomendaciones UIT-R

Como primera medida sólo se consideran las emisiones no deseadas que caen dentro del dominio no esencial (si la banda de guarda es mayor que el dominio fuera de banda). Se utilizan entonces los niveles de atenuación estipulados en el Apéndice 3 del RR y en la Recomendación UIT-R SM.329 para calcular los niveles de las emisiones no deseadas del servicio fijo que caen dentro del dominio de emisiones no esenciales (desplazamiento mayor que el 250% de la anchura de banda necesaria o de separación de canales comparado con la frecuencia central de la señal del service fijo). En el caso de sistemas del servicio fijo, la atenuación especificada en el Apéndice 3 del RR se debe dar en dBc, cuyo valor mínimo es 70 dBc o  $(43 + 10 \log (P))$ .

Basado en el paso inicial, para un sistema que funciona con una potencia de salida de 0 dBW y una separación de canales de 56 MHz (véase el Cuadro 74), los límites de emisiones no esenciales para este sistema es:

$$P \text{ (dBW)} - (43 + P) \quad \text{dB en una anchura de banda de referencia de 1 MHz}$$

El Cuadro 79 proporciona el nivel de emisiones no deseadas que pueden caer en una anchura de banda de referencia de 100 MHz.

CUADRO 79

#### Cálculo del nivel de emisiones no deseadas que pueden caer dentro de una anchura de banda de 100 MHz

Sistema del service fijo	Nivel de emisiones no esenciales por MHz (dBW)	Nivel de emisiones no esenciales por 100 MHz (dBW)
56 MHz P-P (Cuadro 75)	-43	-23
3,5 MHz P-P (Cuadro 75)	-43	-23
50 MHz P-MP (Cuadro 76)	-43	-23
2,5 MHz P-MP (Cuadro 76)	-43	-23

El paso inicial permite llegar a la conclusión que aun cuando sólo se consideran emisiones no deseadas que caen dentro del dominio de emisiones no esenciales los criterios de protección del SETS no se satisfacen.

#### 4.3.2 Perfeccionamiento de los cálculos

En razón que el paso inicial para efectuar los cálculos ha señalado que los criterios de interferencia del SETS no se satisfacen, se mejorarán los cálculos teniendo en cuenta las características de los sistemas de emisiones no deseadas que serán utilizados en esta banda. En particular, las secciones siguientes están basadas en las características de los sistemas proporcionados por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación (ETSI). El método, que se describe en las secciones siguientes, fue utilizado por la Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones (CEPT) para calcular la banda de guarda requerida, de modo tal que las emisiones no deseadas provenientes de sistemas del service fijo que caen dentro de la banda del SETS satisfacen los criterios de interferencia para el SETS que figuran en el § 4.2 ( $-37,8 \text{ dB (W/100 MHz)}$ ). Los resultados se tuvieron en cuenta para establecer la disposición de canales para sistemas del service fijo que funcionan en la banda 31-31,3 GHz.

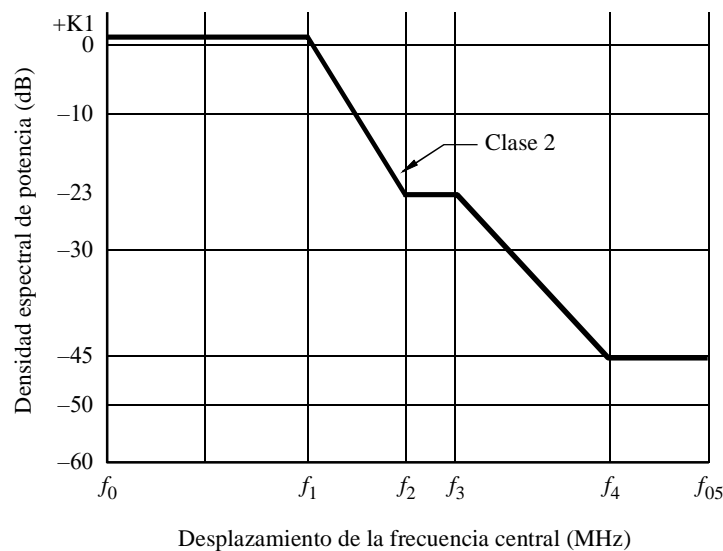
4.3.2.1 Sistemas del service fijo P-P

4.3.2.1.1 Máscaras de emisiones fuera de banda para sistemas P-P

A los fines del presente análisis se examinará la máscara fuera de banda especificada en la Norma ETSI EN 300 197 para sistemas radioeléctricos fijos; equipos punto a punto y parámetros para sistemas radioeléctricos para la transmisión de señales digitales que funcionan en 32 GHz y 38 GHz.

El análisis, que tiene en cuenta el caso más desfavorable de las máscaras de emisiones fuera de banda que figuran en la norma ETSI EN 300 197, conduce a examinar la siguiente máscara (véase la Fig. 49).

FIGURA 49  
Máscara de emisiones fuera de banda



1633-49

NOTA 1 – El nivel de 0 dB indicado en las máscaras de espectro relacionan la densidad espectral de potencia de la frecuencia central nominal sin tener en cuenta la portadora residual.

El Cuadro 80 proporciona los valores de  $f_i$  que dependen de la separación de canales y que se pueden extender de 3,5 MHz a 56 MHz conforme a la Norma ETSI EN 300 197.

CUADRO 80

Puntos de corte de la máscara de emisiones fuera de banda

Separación de canales (MHz)	K1 (dB)	$f_1$ (MHz)	$f_2$ (MHz)	$f_3$ (MHz)	$f_4$ (MHz)	$f_5$ (MHz)
3,5	+1	1,3	2	2,3	4,3	8,75
7	+1	2,8	5,6	7	14	17,5
14	+1	5,6	11,2	14	28	35
28	+1	11	19	25	45	70
56	+1	18	32	40	70	140

#### 4.3.2.1.2 Niveles de emisiones no esenciales para sistemas P-P

En la Recomendación UIT-R SM.329 se indican los niveles de emisiones no esenciales en particular. Este análisis considera los niveles adoptados en Europa y utilizados por algún otro país (niveles categoría B).

Para sistemas P-P que funcionan con una separación de canales mayor que 10 MHz, el límite de emisiones no esenciales es de  $-60$  dB(W/MHz).

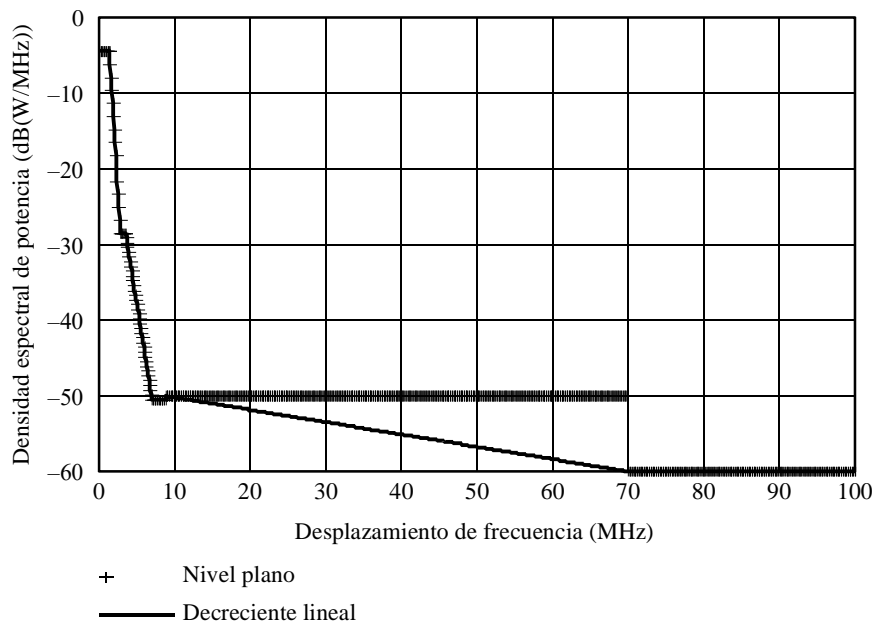
En el caso de sistemas P-P que funcionan con una separación de canales menor que 10 MHz, hay un paso antes de alcanzar este valor de  $-60$  dB(W/MHz). Para un desplazamiento de  $2,5 \times$  separación de canales comparado con la frecuencia central a un desplazamiento de 70 MHz, el límite es igual a  $-50$  dB(W/MHz) (o  $-60$  dBW en una anchura de banda de referencia de 100 kHz).

En el caso de sistemas P-P que funcionan con una separación de canales más baja que 10 MHz, para obtener resultados más reales se formuló la hipótesis que hay una disminución lineal entre el punto de  $-50$  dB(W/MHz) en la máscara y el punto correspondiente al nivel de  $-60$  dB(W/MHz).

En la Fig. 50 se proporciona un ejemplo de máscara de emisiones no deseadas para un sistema que utiliza una separación de canales de 3,5 MHz.

FIGURA 50

Nivel de emisiones no deseadas para un sistema de espaciamiento de canales de 3,5MHz



Máscara de emisiones no deseadas para un sistema AMDF ( $0$  dB/ $3,5$  MHz/ $f_c = 31$  250 MHz)

**4.3.2.1.3 Resultados de los cálculos para sistemas P-P**

En las secciones siguientes se calculan los niveles de emisiones no deseadas que pueden ser recibidos por el sistema SETS en una anchura de banda de referencia de 100 MHz, que depende de la banda de guarda.

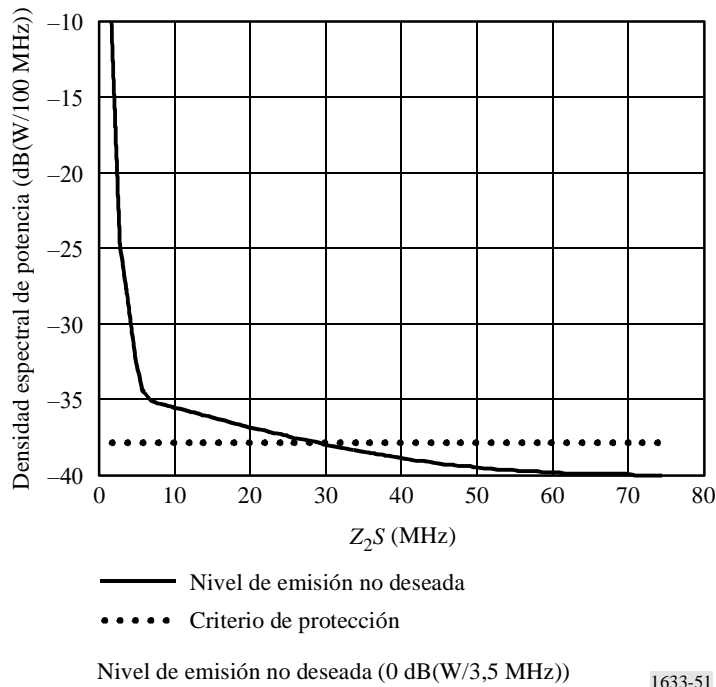
Se debe señalar que las Normas ETSI proporcionan una potencia de salida máxima de 0 dBW para sistemas punto a punto que utilizan esta banda.

**4.3.2.1.3.1 Separación de canales de 3,5 MHz para sistemas P-P**

En la Fig. 51 se indica el resultado del cálculo para un sistema P-P de separación de canales de 3,5 MHz.

FIGURA 51

**$Z_2S$  para sistemas P-P del servicio fijo que utiliza separación de canales de 3,5 MHz**

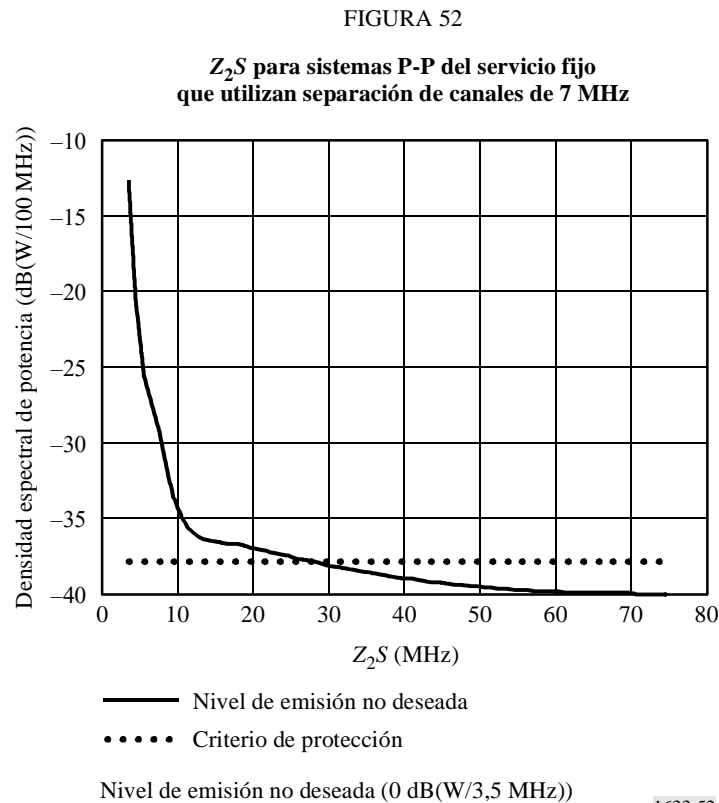


El término  $Z_2S$  se define en la Recomendación UIT-R F.746 como la separación superior entre la frecuencia central del canal final y el borde superior de la banda. Esto tiene por consecuencia una banda de guarda de  $28,75 - 3,5/2 = 27$  MHz suponiendo que hay una disminución lineal entre el punto de  $-50$  dB(W/MHz) en la máscara y el punto correspondiente al nivel de  $-60$  dB(W/MHz).

En este caso, la banda de guarda es mayor que el dominio fuera de banda y, en consecuencia, sólo caerán en la banda del SETS las emisiones no esenciales.

#### 4.3.2.1.3.2 Sistemas P-P con separación de canales de 7 MHz

La Fig. 52 indica el resultado del cálculo para un sistema punto a punto con separación de canales de 7 MHz.



El término  $Z_2S$  se define en la Recomendación UIT-R F.746 como la separación superior entre la frecuencia central del canal final y el borde superior de la banda. Esto tiene por consecuencia una banda de guarda de  $27,5 - 7/2 = 24$  MHz suponiendo que hay una disminución lineal entre el punto de  $-50$  dB(W/MHz) en la máscara y el punto correspondiente al nivel de  $-60$  dB(W/MHz).

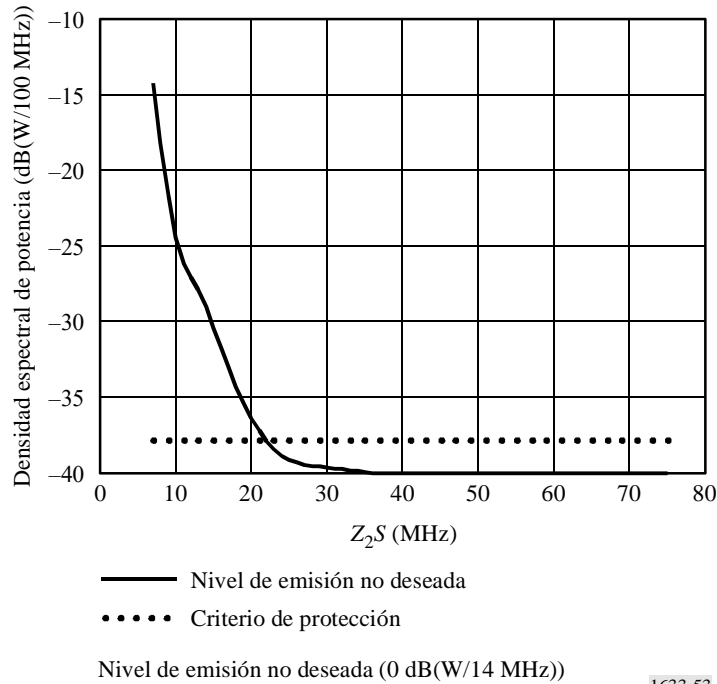
En este caso, la banda de guarda es mayor que el dominio fuera de banda y, en consecuencia, sólo caerán en la banda del SETS las emisiones no esenciales.

#### 4.3.2.1.3.3 Sistemas P-P con separación de canales de 14 MHz

En razón que la separación de canales es mayor que 10 MHz, no hay necesidad en este caso de formular las hipótesis consideradas en la parte anterior para las emisiones no esenciales. La Fig. 53 indica el resultado del cálculo para un sistema P-P que utiliza separación de canales de 14 MHz.

FIGURA 53

$Z_2S$  para un sistema P-P del servicio fijo de 0 dBW que utiliza una separación de canales de 14 MHz



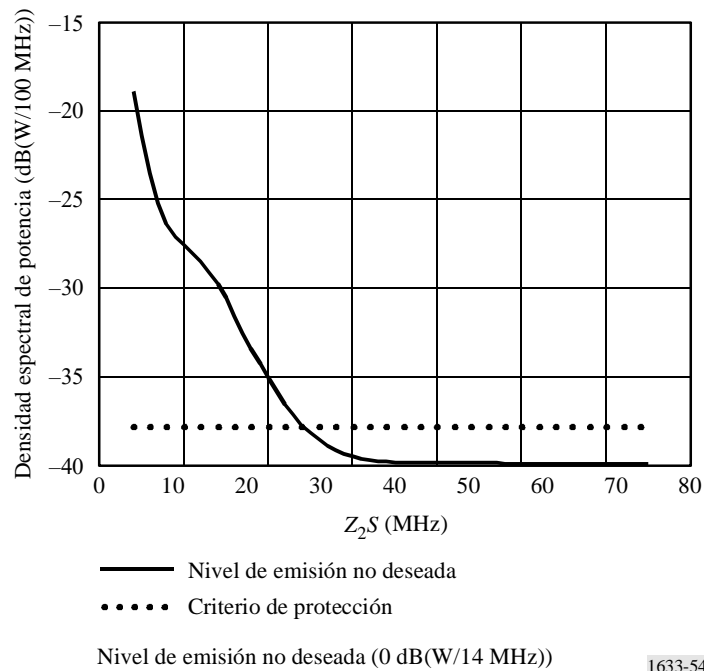
Esto da origen a una banda de guarda de  $22 - 14/2 = 15$  MHz.

#### 4.3.2.1.3.4 Sistemas P-P con separación de canales de 28 MHz

La Fig. 54 indica el resultado del cálculo para un sistema P-P con separación de canales de 28 MHz.

FIGURA 54

$Z_2S$  para un sistema P-P del servicio fijo de 0 dBW que utiliza una separación de canales de 28 MHz



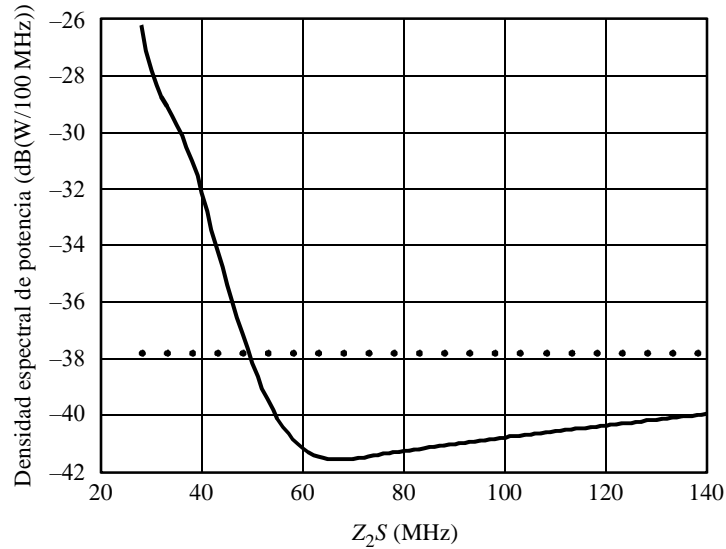
Esto da origen a una banda de guarda de  $34 - 28/2 = 20$  MHz.

**4.3.2.1.3.5 Sistemas P-P con separación de canales de 56 MHz**

La Fig. 55 indica el resultado del cálculo para un sistema P-P con separación de canales de 56 MHz.

FIGURA 55

**$Z_2S$  para un sistema P-P del servicio fijo de 0 dBW que utiliza una separación de canales de 56 MHz**



— Nivel de emisión no deseada  
 ..... Criterio de protección

Nivel de emisión no deseada (0 dB(W/28 MHz))

1633-55

Esto da origen a una banda de guarda de  $49 - 56/2 = 21$  MHz.

**4.3.2.1.3.6 Resumen de los resultados para sistemas P-P**

El Cuadro 81 proporciona un resumen de los resultados calculados para sistemas P-P que utilizan una separación de canales de 3,5 MHz a 56 MHz.

CUADRO 81

**Banda de guarda en función de la separación de canales**

Separación de canales (MHz)	$Z_2S$ (MHz)	Banda de guarda (MHz)
3,5	28,75	27
7	27,5	24
14	22	15
28	34	20
56	49	21

**4.3.2.2 Sistemas del servicio fijo P-MP**

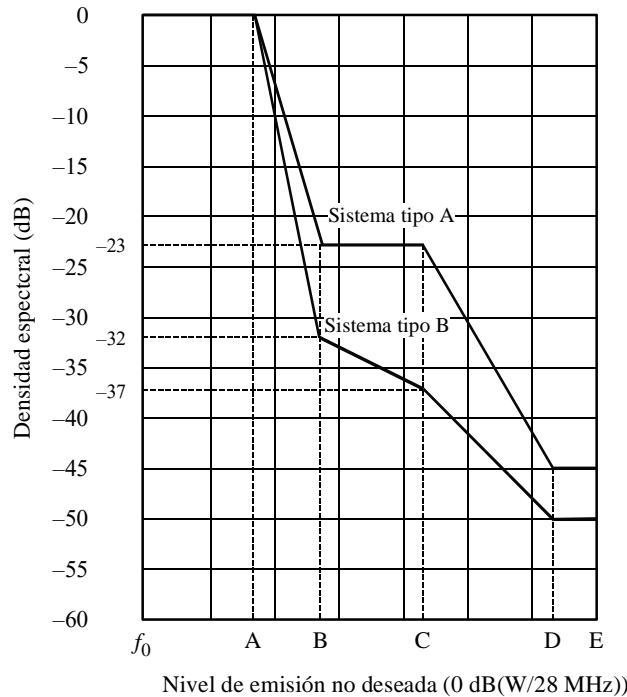
Se debe señalar que el nivel aceptable de emisiones no deseadas por nivel del sistema del servicio fijo P-MP que se obtiene en el caso de la estación terminal (véase el Cuadro 79) es igual al nivel de emisiones no deseadas aceptable por nivel del sistema del servicio fijo P-P (véase el Cuadro 78).



**4.3.2.2.1 Máscara de emisiones fuera de banda para sistemas P-MP**

A los fines de este análisis, se consideran las máscaras fuera de banda especificadas en la Norma ETSI que proporciona información sobre sistemas radioeléctricos fijos; equipo multipunto; y el sistema radioeléctrico digital multipunto que funciona en la gama de frecuencias de 31 GHz a 33,4 GHz (32 GHz). El primer paso del análisis es determinar el caso más desfavorable de máscaras de emisiones fuera de banda. Esto lleva a considerar los casos ilustrados en la Fig. 56.

FIGURA 56  
Máscaras de espectro, tipos A y B



1633-56

El Cuadro 82 indica los puntos de corte correspondientes para sistemas tipo A, que dependen de la separación de canales y que se pueden extender entre 3,5 y 112 MHz conforme a la Norma ETSI.

CUADRO 82

**Puntos de corte de la máscara de emisiones fuera de banda**

Puntos de separación de canales copolares en la Fig. 56 (MHz)	Punto A 0 dB (MHz)	Punto B -23 dB (MHz)	Punto C -23 dB (MHz)	Punto D -45 dB (MHz)	Punto E -45 dB (MHz)
3,5	1,5	2,8	3,7	7	8,75
7	2,8	5,6	7	14	17,5
14	5,6	11,2	14	28	35
28	11,2	22,4	28	56	70
56	22,5	45	56	112	140
112	45	90	112	224	280

Se debe señalar que estas máscaras son aplicables para estaciones terminales y estaciones de base.

#### 4.3.2.2.2 Niveles de emisiones no esenciales para sistemas P-MP

La Norma EN 301 390 determina los niveles de emisiones no esenciales para sistemas P-P (son iguales a las que figuran en la Recomendación UIT-R SM.329 en la Categoría B) y para sistemas P-MP.

En los Cuadros 83 y 84 se comparan los límites que dependen del tipo de sistema.

CUADRO 83

#### Límites de emisiones no esenciales en el caso de sistemas que utilizan una separación de canales (SC) menor que 10 MHz

Desplazamiento de frecuencia	$2,5 \times SC - 56$ MHz	56-70 MHz	70-112 MHz	> 112 MHz
Límite P-P (Categoría B) (dB (W/MHz))	-50	-50	-60	-60
Límite P-MP (EN 301 390) (dB (W/MHz))	-50	-60	-60	-70

CUADRO 84

#### Límites de emisiones no esenciales en el caso de sistemas que utilizan una SC mayor que 10 MHz

Desplazamiento de frecuencia	$2,5 \times SC - \text{máx (112 MHz; } 4,5 \times SC)$	> máx (112 MHz; $4,5 \times SC)$
Límite P-P (Categoría B) (dB(W/MHz))	-60	-60
Límite P-MP (EN 301 390) (dB(W/MHz))	-60	-70

#### 4.3.2.2.3 Resultados de los cálculos para sistemas P-MP

Se utiliza el mismo método que para el sistema P-P.

##### 4.3.2.2.3.1 Sistemas P-MP con separación de canales de 3,5 MHz y 7 MHz

Conforme a los cálculos efectuados en el § 4.3.2.1.3.1, sólo las emisiones no esenciales caen dentro de la banda del SETS (la banda de guarda calculada para sistemas P-P es mayor que el dominio fuera de banda).

Teniendo en cuenta que:

- el nivel aceptable de emisiones no deseadas que se obtiene en el caso de sistemas P-MP (véase el Cuadro 79) es el mismo que el nivel aceptable de emisiones no deseadas que fue considerado en los análisis para sistemas P-P (véase el Cuadro 78);
- los límites de emisiones no esenciales para sistemas P-MP son más estrictos que para sistemas P-P;

se puede deducir que la banda de guarda, que fue calculada para sistemas P-P, abarcará también el caso de sistemas P-MP.

### 4.3.2.2.3.2 Sistemas P-MP con separación de canales de 14 MHz

Teniendo en cuenta que:

- la máscara de emisiones fuera de banda para sistemas P-P y para sistemas P-MP son similares (véanse los Cuadros 80 y 82);
- que el nivel aceptable de emisiones no deseadas que se obtiene en el caso de sistemas P-MP (véase el Cuadro 79) es similar al nivel aceptable de emisiones no deseadas que fue considerado en los análisis para sistemas P-MP (véase el Cuadro 78);

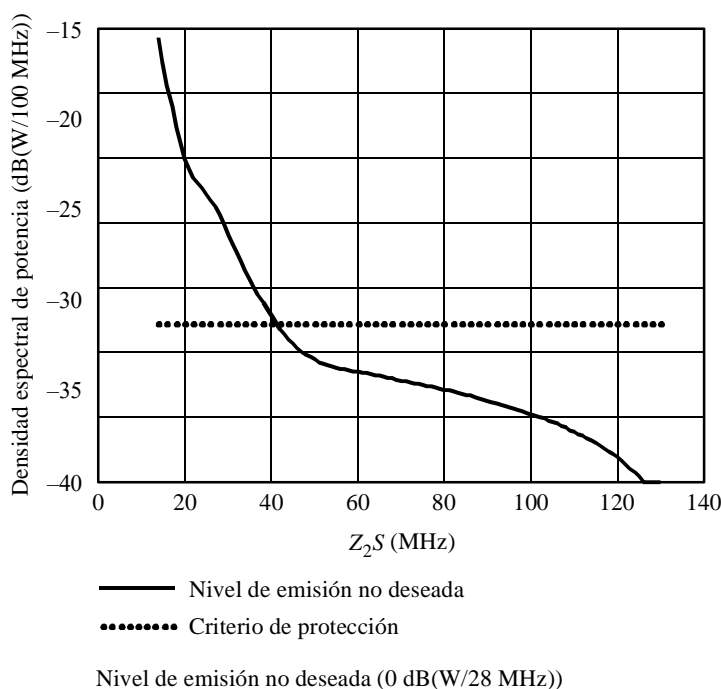
se puede deducir que la banda de guarda, calculada para sistemas P-P, abarcará también el caso de sistemas P-MP con separación de canales de 14 MHz.

### 4.3.2.2.3.3 Sistemas P-MP con separación de canales de 28 MHz

La Fig. 57 indica el resultado del cálculo para un sistema P-MP con separación de canales de 28 MHz.

FIGURA 57

$Z_2S$  para un sistema P-MP del servicio fijo de 0 dBW que utiliza una separación de canales de 28 MHz



1633-57

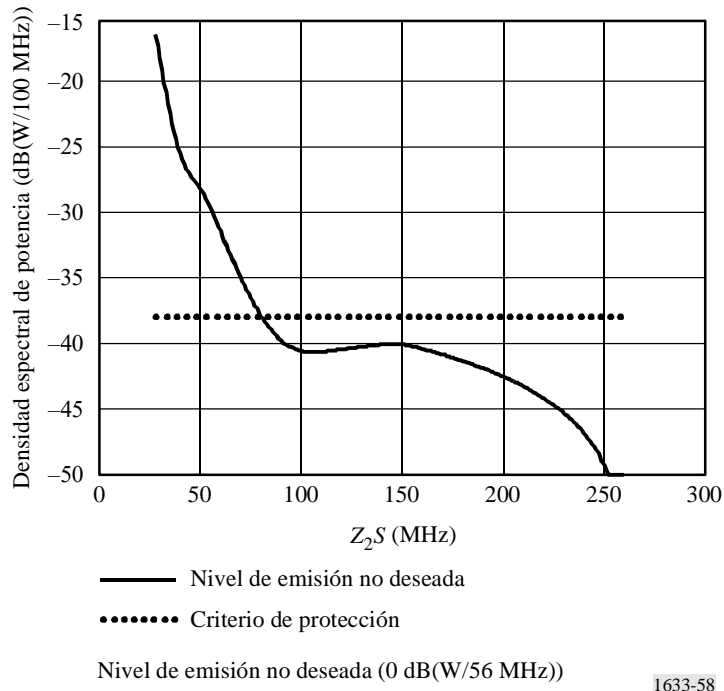
El término  $Z_2S$  se define en la Recomendación UIT-R F.746 como la separación superior entre la frecuencia central del canal final y el borde superior de la banda. Esto tiene por consecuencia una banda de guarda de  $41 - 28/2 = 27$  MHz.

### 4.3.2.2.3.4 Sistemas P-MP con separación de canales de 56 MHz

La Fig. 58 indica el resultado del cálculo para un sistema P-MP con separación de canales de 56 MHz.

FIGURA 58

$Z_2S$  para un sistema P-MP del servicio fijo de 0 dBW que utiliza una separación de canales de 56 MHz



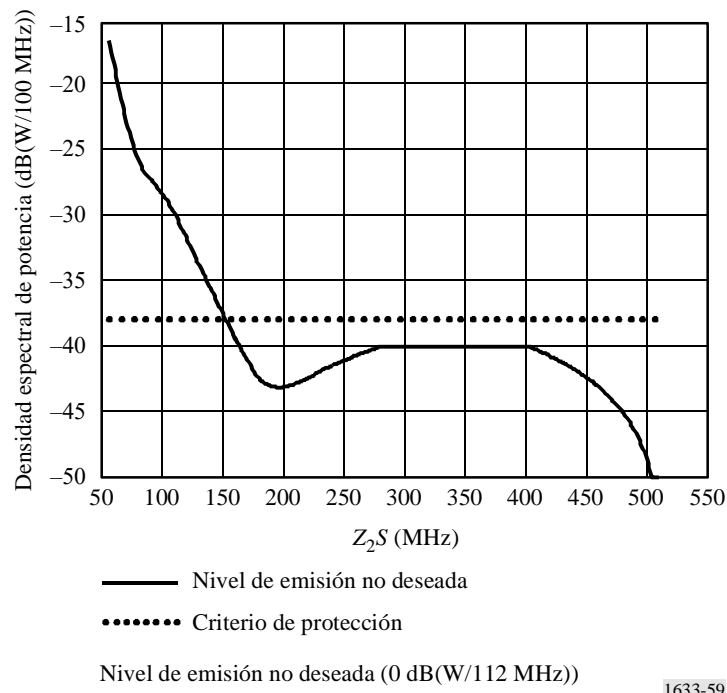
Esto da origen, para una potencia de salida de 0 dBW, a una banda de guarda de  $80 - 56/2 = 52$  MHz.

**4.3.2.2.3.5 Sistemas P-MP con separación de canales de 112 MHz**

La Fig. 59 indica el resultado del cálculo para un sistema P-MP con separación de canales de 112 MHz.

FIGURA 59

$Z_2S$  para un sistema P-MP del servicio fijo de 0 dBW que utiliza una separación de canales de 112 MHz



Esto da origen, para una potencia de salida de 0 dBW, a una banda de guarda de  $152 - 112/2 = 96$  MHz.

### 4.3.3 Resumen y conclusiones para sistemas P-P y P-MP

El Cuadro 85 proporciona un resumen de los resultados calculados para sistemas P-P y P-MP que utilizan una separación de canales de 3,5 MHz a 112 MHz (incluidos los resultados suministrados en el Cuadro 81).

CUADRO 85

#### Banda de guarda en función de la separación de canales

Separación de canales (MHz)	$Z_2S$ (MHz)	Banda de guarda (MHz)
3,5	28,75	27
7	27,5	24
14	22	15
28	41	27
56	80	52
112	152	96

Los planes de separación de canales de 56 MHz y de 112 MHz no están incluidos en la disposición de canales que figura en el Anexo 8 a la Recomendación UIT-R F.746 en razón del número limitado de canales que se tuvieron en cuenta. Específicamente, sólo se tuvo en cuenta un canal dúplex por división de frecuencia (DDF) para una separación de 56 MHz y un canal dúplex por división en el tiempo (DDT) para un separación de 112 MHz. La disposición de canales del Anexo 8 a la Recomendación UIT-R F.746 incluye una banda de guarda de 31 MHz en la parte superior de la banda 31-31,3 GHz.

Se debe señalar que en razón que la banda de guarda que figura en el Anexo 8 a la Recomendación UIT-R F.746 es mayor que la mínima requerida para un separación de canal de 3,5, 7, 14 y 28 MHz, se obtiene un margen adicional comparado con la potencia aceptable indicada en los Cuadros 77 y 78.

## 5 Técnicas de mitigación de la interferencia

### 5.1 SETS (pasivo)

Los sistemas del SETS no pueden utilizar una banda de guarda en el borde inferior de la banda atribuida pues funcionan en la totalidad de la atribución de 200 MHz.

## 5.2 Servicio fijo

La utilización de la banda de guarda de 31 MHz para sistemas instalados conforme al Anexo 8 a la Recomendación UIT-R F.746 y que emplean máscaras para emisiones fuera de banda más estrictas que las que figuran en la Recomendación UIT-R SM.1541 y límites para emisiones no esenciales más estrictos que los que se indican en la Recomendación UIT-R SM.329 (Categoría B), aseguran que los niveles de emisiones no deseadas de sistemas del servicio fijo que caen dentro de la banda 31,3-31,5 GHz satisfacen la potencia admisible señalada en los Cuadros 77 y 78 (-38 dB (W/100 MHz) aproximadamente).

Se pueden utilizar otras técnicas de mitigación, tales como filtrado, para asegurar que la potencia máxima aceptable dentro de la banda pasiva esté de acuerdo con lo especificado.

## 5.3 Repercusiones posibles

### 5.3.1 SETS

No hay repercusiones.

### 5.3.2 Servicio fijo

Si los sistemas del servicio fijo aplican técnicas de mitigación que utilizan límites fuera de banda y de emisiones no esenciales conforme a la Recomendación UIT-R SM.329 (Categoría B), no se ha determinado aún la repercusión para el servicio fijo en países que no observan estos límites. Si el servicio fijo aplica otras técnicas para satisfacer el límite -38 dB(W/100 MHz), será necesario determinar también la repercusión de dichas técnicas.

## 6 Resultados de los estudios

### 6.1 Resumen

En este Anexo se puso de manifiesto que los sistemas del servicio fijo que funcionan en la banda 31-31,3 GHz utilizados en Europa emplean máscaras más estrictas para las emisiones fuera de banda que las que figuran en la Recomendación UIT-R SM.1541 y los límites para emisiones no esenciales más estrictos que los especificados en la Recomendación UIT-R SM.329 (Categoría B) satisfacen la protección de potencia máxima aceptable de -38 dB(W/100 MHz). Se debe señalar que las densidades de los terminales que fueron consideradas en el análisis de compatibilidad representan el enfoque para el caso más desfavorable y pueden ser mejorados.

### 6.2 Conclusiones

Cuando los sistemas del servicio fijo observan las disposiciones de canales que figuran en el Anexo 8 a la Recomendación UIT-R F.746 y se ajustan a límites más estrictos para emisiones no deseadas que los que figuran en la Recomendación UIT-R SM.1541 y en el Apéndice 3 del RR, el nivel de emisiones no deseadas de sistemas del servicio fijo que utilizan la banda de 31-31,3 GHz puede alcanzar un valor de -38 dB(W/100 MHz), que asegura la compatibilidad entre el servicio fijo que funciona en la banda 31-31,3 GHz y el SETS que funciona en la banda 31,3-31,5 GHz.

## Anexo 16

### Análisis de compatibilidad entre sistemas del SETS (pasivo) que funcionan en la banda 31,5-31,8 GHz y sistemas del servicio fijo que funcionan en la banda 31,8-33,4 GHz

#### 1 SETS (pasivo)

##### 1.1 Banda atribuida

La banda 31,8-33,4 GHz está atribuida al servicio fijo y es adyacente a la banda 31,5-31,8 GHz atribuida al SETS. Este Anexo proporciona cálculos de niveles de emisiones no deseadas de sistemas del servicio fijo que funcionan por encima de 31,8 GHz y que pueden caer dentro de la banda 31,5-31,8 GHz.

Las atribuciones adyacentes a la banda pasiva 31,5-31,8 GHz se indican en el Cuadro 86.

CUADRO 86

#### Atribuciones de bandas adyacentes

Servicios en la banda atribuida inferior	Banda pasiva	Servicios en la banda atribuida superior
31,3-31,5 GHz	31,5-31,8 GHz	31,8-32 GHz
EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (pasivo) RADIOASTRONOMÍA INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo)	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (pasivo) RADIOASTRONOMÍA INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo) Fijo (Regiones 1 y 3) Móvil salvo móvil aeronáutico (Regiones 1 y 3)	FIJO RADIONAVEGACIÓN INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio lejano) (espacio-Tierra)

##### 1.2 Aplicación

Ésta es una de las bandas utilizadas para sondeo atmosférico cercano al nadir junto con las bandas de 23,8 GHz y 50,3 GHz para la caracterización de cada capa de la atmósfera terrestre.

En la banda 31 GHz se requiere una anchura de banda de 416 MHz para obtener 0,2 K de exactitud. Esto significa que la comunidad de usuarios de microondas de servicios pasivos necesita proteger la banda de 31,3-31,5 GHz así como la banda 31,5-31,8 GHz.

Esta banda se utilizará también conjuntamente con la banda 31,3-31,5 GHz como «ventana dividida». Se puede efectuar una comparación de las mediciones efectuadas en las dos sub-bandas para verificar la calidad de los datos. Esto permitirá entonces utilizar la banda completa cuando se estima que la calidad para aumentar la sensibilidad del sensor es buena.

### 1.3 Criterios de protección requeridos

Recomendación UIT-R SA.515 – Bandas de frecuencias y anchuras de banda utilizadas para la detección pasiva por satélite.

Recomendación UIT-R SA.1028 – Criterios de calidad para la teledetección pasiva por satélite.

Recomendación UIT-R SA.1029 – Criterios de interferencia para la teledetección pasiva por satélite.

### 1.4 Características operacionales

Se consideran las características operacionales siguientes para el sistema del SETS:

- Se supone que el sensor del SETS tiene una antena con una ganancia máxima sobre el eje de puntería de 45 dBi.
- El sensor del SETS apunta en la dirección del nadir.
- El tamaño del píxel para un sensor con una altitud de 850 km es de 201 km<sup>2</sup> (diámetro 16 km).

## 2 Servicio fijo

### 2.1 Banda atribuida

Véase el Cuadro 86.

### 2.2 Aplicación

Conforme a la nota número 5.547 del RR, la banda 31,8-33,4 GHz está disponible para aplicaciones de alta densidad en el servicio fijo.

Esta banda se puede utilizar para sistemas del servicio fijo P-P y sistemas del servicio fijo P-MP.

### 2.3 Niveles basados en documentos de la UIT existentes

Las siguientes Recomendaciones UIT-R proporcionan información sobre emisiones no deseadas de sistemas del servicio fijo:

Recomendación UIT-R F.1191 – Anchuras de banda y emisiones no deseadas de los sistemas digitales del servicio fijo.

Recomendación UIT-R SM.329 – Emisiones no deseadas en el dominio no esencial.

Recomendación UIT-R SM.1541 – Emisiones no deseadas en el dominio fuera de banda.

### 2.4 Características del transmisor

Se consideraron las siguientes características (Cuadros 87 y 88) para sistemas P-P y P-MP que funcionan en la banda 31,8-33,4 GHz.



CUADRO 87

**Características de sistemas P-P  
(Recomendación UIT-R F.758)**

Separación de canales (MHz)	56	3,5
Ganancia de antena (máxima) (dBi)	46	46
Pérdida de alimentador/multiplexor (mínima) (dB)	0	0
Tipo de antena	Parabólica	Parabólica
Potencia de salida máxima del transmisor (dBW)	-3	-3
p.i.r.e. (máxima) (dBW)	43	43

CUADRO 88

**Características de los sistemas P-MP  
(Recomendación UIT-R F.758)**

Tipo de estación	Central	Terminal
Separación de canales (MHz)	28	28
Ganancia de antena (máxima) (dBi)	14	Parabólica 41 Planar 28
Pérdida de alimentador/multiplexor (mínima) (dB)	0	0
Acimut/elevación de anchura de banda de antena (3 dB) (grados)	> 15	1,2 × 1,2
Potencia de salida máxima del transmisor (dBW)	-5	-10
p.i.r.e. (máxima) (dBW)	9	31/18

## 2.5 Características operacionales

La Recomendación UIT-R F.1520 proporciona la disposición de canales para sistemas que utilizan separaciones de 3,5 MHz, 7 MHz, 14 MHz, 28 MHz y 56 MHz para ser aplicados a la banda 31,8-33,4 GHz.

### 2.5.1 Características operacionales P-P

Se propone utilizar como primer paso una densidad de terminales de 1 terminal por km<sup>2</sup>\*

### 2.5.2 Características operacionales P-MP

Se propone utilizar como primer paso una densidad de terminales de 0,3 terminales por km<sup>2</sup>\*

- *Reutilización de frecuencia:* se emplea generalmente una reutilización de frecuencia de 2 y se considera como escenario típico. Un factor de reutilización de frecuencia de 1 se debe considerar como la situación para el caso más desfavorable, que ocurre excepcionalmente.
- *Antena de sector:* la anchura típica de la antena de sector es de 90°. En algunos casos, se prevén antenas de sector de 45° cuando se debe transportar desde una estación una elevada cantidad de tráfico.

---

\* Se debe señalar que esos números representan el planteamiento para el caso más desfavorable y que será mejorado para obtener un número de sistemas del servicio fijo que se ajusta a la realidad en cada una de las bandas consideradas.

En base a estas consideraciones, el centro de distribución de una célula P-MP puede, generalmente, prestar servicios a dos abonados cocanal dentro de una determinada célula.

## 2.6 Potencia de transmisión dentro de la banda

Véanse los Cuadros 87 y 88.

## 3 Umbral de compatibilidad

El criterio de protección del sensor pasivo es de  $-163$  dBW en una anchura de banda de 100 MHz (no se deben exceder durante más del 0,01% del tiempo como se estipula en la Recomendación UIT-R SA.1029). En el § 2.4 se indica un conjunto de características para sistemas del servicio fijo que se utilizan en esta banda. De acuerdo con esta información, es posible calcular la potencia permitida de cada sistema del servicio fijo que cae dentro de la banda del SETS.

La interferencia se puede recibir simultáneamente de diversas fuentes de múltiples servicios. El valor que figura en la Recomendación UIT-R SA.1029 (para una determinada banda) es el nivel de interferencia máximo admisible para el sensor pasivo.

En este Anexo se efectúa un análisis de la interferencia generada por un solo servicio activo.

Es necesario continuar estudiando este tema para determinar la repercusión de múltiples servicios activos que funcionan por encima y por debajo de la banda pasiva.

## 4 Evaluación de la interferencia

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

El primer paso de este método es calcular la potencia aceptable de señales emitidas por sistemas del servicio fijo que puedan caer dentro de un píxel del SETS:

$$\text{Potencia global en la Tierra en 100 MHz} = \text{criterios de protección del SETS (dB(W/100 MHz))} - \text{ganancia del SETS} + \text{pérdida en el espacio libre}$$

Es posible calcular entonces el nivel de emisiones no deseado por sistema del servicio fijo que cae dentro de la anchura de banda de referencia de 100 MHz del SETS:

$$\text{Potencia por transmisor (dB(W/100 MHz))} = \text{potencia global en la Tierra en 100 MHz} - \text{número de transmisores (en píxel del SETS)} - \text{ganancia del servicio fijo en la dirección del SETS}$$

### 4.2 Cálculo

Para sistemas P-P (véase el Cuadro 89), se utilizó la Recomendación UIT-R F.1245 para calcular la ganancia de antena en dirección del cenit. La densidad de los terminales que funcionan en la misma frecuencia se supone que es un terminal por  $\text{km}^2$ .

Para estaciones terminales P-MP (véase el Cuadro 90), se utilizó la Recomendación UIT-R F.1245 para calcular la ganancia de antena en dirección del cenit. Para estaciones centrales P-MP, se utilizó la Recomendación UIT-R F.1336 para calcular la ganancia de antena en la dirección del cenit. La densidad de emplazamiento de la estación central que funciona en la misma frecuencia se toma como 0,3 terminales por  $\text{km}^2$ . En el mismo emplazamiento, dos estaciones centrales pueden utilizar la misma frecuencia empleando una antena de sector de  $90^\circ$ . Por lo tanto, dentro de la misma célula, dos estaciones terminales pueden utilizar la misma frecuencia.

CUADRO 89

**Nivel de emisiones no deseadas admisible por sistema del servicio fijo P-P  
que cae dentro de la banda del SETS**

Frecuencia (GHz)	31,8	
Criterio de interferencia (dB(W/100 MHz))	-163	
Altitud (km)	850	
Anchura de banda de referencia (MHz)	100	
Ganancia del SETS	45	
Pérdida en el espacio libre	181	
Potencia global en la Tierra (dB(W/100 MHz))	-27	
Potencia global en la Tierra (dB(W/MHz))	-47,0	
<i>Tipo de estación</i>	Central	Terminal
Separación de canales (MHz)	56,0	3,5
Ganancia de antena del servicio fijo	46	46
Ganancia del servicio fijo en la dirección del SETS	-12,6	-12,6
Potencia global (dB(W/MHz))	-34,4	-34,4
Densidad de los sistemas por km <sup>2</sup>	1,0	1,0
Tamaño del píxel (km <sup>2</sup> )	201	201
Número de transmisores	201	201
Potencia por transmisor (dB(W/MHz))	-57,4	-57,4
Potencia por transmisor (dB(W/100 MHz))	-37,4	-37,4

CUADRO 90

**Nivel de emisiones no deseadas admisible por sistema del servicio fijo  
P-MP que cae dentro de la banda del SETS**

Frecuencia (GHz)	31,8	
Criterio de interferencia (dB(W/100 MHz))	-163	
Altitud (km)	850	
Anchura de banda de referencia (MHz)	100	
Ganancia del SETS	45	
Pérdida en el espacio libre	181	
Potencia global en la Tierra (dB(W/100 MHz))	-27	
Potencia global en la Tierra (dB(W/MHz))	-47,0	
<i>Tipo de estación</i>	Central	Terminal
Separación de canales (MHz)	28	28
Ganancia de antena del servicio fijo	14	41
Ganancia del servicio fijo en la dirección del SETS	-11,5	-11,3
Potencia global (dB(W/MHz))	-35,4	-35,7
Densidad de los sistemas por km <sup>2</sup>	0,6	0,6
Tamaño del píxel por km <sup>2</sup>	201	201
Número de transmisores	121	121
Potencia por transmisor (dB(W/MHz))	-56,2	-56,5
Potencia por transmisor (dB(W/100 MHz))	-36,2	-36,5

### 4.3 Valores obtenidos

#### 4.3.1 Nivel de emisiones no deseadas conforme a las Recomendaciones UIT-R

Como primera medida sólo se consideran las emisiones no deseadas que caen dentro del dominio no esencial (si la banda de guarda es mayor que el dominio fuera de banda). Se utilizan entonces los niveles de atenuación estipulados en el Apéndice 3 del RR y en la Recomendación UIT-R SM.329 para calcular los niveles de las emisiones no deseadas del servicio fijo que caen dentro del dominio de emisiones no esenciales (desplazamiento mayor que el 250% de la anchura de banda necesaria o de separación de canales comparado con la frecuencia central de la señal del servicio fijo). En el caso de sistemas del servicio fijo, la atenuación especificada en el Apéndice 3 del RR se debe dar en dBc, cuyo valor mínimo es 70 dBc o  $(43 + 10 \log(P))$ .

Basado en el paso inicial, para un sistema que funciona con una potencia de salida de 0 dBW y una separación de canales de 56 MHz (véase el Cuadro 86), el límite de emisiones no esenciales para este sistema es:

$$P \text{ (dBW)} - (43 + P) \quad \text{dB en una anchura de banda de referencia de 1 MHz.}$$

El Cuadro 91 proporciona el nivel de emisiones no deseadas que pueden caer en una anchura de banda de referencia de 100 MHz.

CUADRO 91

#### Cálculo del nivel de emisiones no deseadas que pueden caer dentro de una anchura de banda de 100 MHz

Sistema del servicio fijo	Nivel de emisiones no esenciales por MHz (dBW)	Nivel de emisiones no esenciales por 100 MHz (dBW)
56 MHz P-P (Cuadro 87)	-43	-23
3,5 MHz P-P (Cuadro 87)	-43	-23
28 MHz P-MP (Estación central, Cuadro 88)	-43	-23
28 MHz P-MP (Estación terminal, Cuadro 88)	-43	-23

El paso inicial permite llegar a la conclusión que aun cuando sólo se consideran emisiones no deseadas que caen dentro del dominio de emisiones no esenciales los criterios de protección del SETS no se satisfacen.

#### 4.3.2 Perfeccionamiento de los cálculos

Los sistemas del servicio fijo que funcionan en esta banda pueden satisfacer los límites estipulados en la Norma ETSI EN 300 197 y en la Categoría B que figura en la Recomendación UIT-R SM.329 como los que se instalarán en la banda 31-31,3 GHz (véase el Anexo 15 a la presente Recomendación).

Las potencias aceptables por terminal que fueron calculadas en los Cuadros 89 y 90 presentan valores cercanos a los que fueron considerados en el Anexo 15, que trata de la compatibilidad entre el SETS (pasivo) que funciona en la banda 31,3-31,5 GHz y sistemas del servicio fijo que funcionan en la banda 31-31,3 GHz. Esto significa que las bandas de guarda, que fueron calculadas en el Anexo 15, son suficientes para proteger la operación del SETS. La banda de guarda correspondiente viene indicada en el Cuadro 92.

CUADRO 92

**Banda de guarda en función de la separación de canales**

<b>Separación de canales (MHz)</b>	<b>Z<sub>2S</sub> (MHz)</b>	<b>Banda de guarda (MHz)</b>
3,5	28,75	27
7	27,5	24
14	22	15
28	41	27
56	80	52

**5 Técnicas de mitigación de la interferencia****5.1 SETS (pasivo)**

La Recomendación UIT-R F.1520 proporciona la disposición de canales para sistemas del servicio fijo que se utilizan en esta banda (véase la Fig. 60).

En el Cuadro 93 se indican las bandas de guarda recomendadas en esta disposición de canales y la diferencia con las bandas de guarda requeridas que fueron calculadas en el Anexo 15, sobre la cuestión de compatibilidad entre sistemas del SETS (pasivo) que funcionan en la banda 31,3-31,5 GHz y sistemas del servicio fijo que funcionan en la banda 31-31,3 GHz.

En consecuencia, si el sistema que utiliza una máscara más estricta en emisiones fuera de banda que las que figuran en la Recomendación UIT-R SM.1541 y satisface los límites indicados en la Recomendación UIT-R SM.329 (Categoría B) dentro del dominio de emisiones no esenciales, se establece una banda de guarda de 12 MHz aproximadamente dentro de la banda atribuida al SETS, se asegurará la protección de los sistemas del SETS.

**5.2 Servicio fijo**

Los cálculos precedentes se basan en la hipótesis que los sistemas del servicio fijo que utilizan la banda 31,8-33,4 GHz emplean máscaras más rigurosas para emisiones fuera de banda que las que figuran en la Recomendación UIT-R SM.1541 y límites que se ajustan a los límites para emisiones no esenciales indicados en la Recomendación UIT-R SM.329 (Categoría B).

Se pueden utilizar también otras técnicas de mitigación de la interferencia tales como filtrado para disminuir el nivel de emisiones no deseadas de sistemas del servicio fijo que caen dentro de la banda del SETS.



### **5.3 Repercusión de las técnicas de mitigación de la interferencia**

#### **5.3.1 SETS**

Teniendo en cuenta que:

- para satisfacer los requisitos de los sistemas del SETS en términos de verificación de la calidad de las mediciones efectuadas en la banda 31,3-31,5 GHz (en la banda 31,5-31,8 GHz tiene una disponibilidad mayor que 200 MHz);
- para obtener una exactitud mejor que 0,2 K, en razón que se dispone de más de 416 MHz para efectuar mediciones;

la aplicación de una banda de guarda de 12 MHz en la parte superior de la banda 31,5-31,8 GHz atribuida al SETS puede no tener repercusiones para el funcionamiento de los sensores del SETS.

Si los sistemas del servicio fijo no utilizan las técnicas de mitigación descritas en el § 5.2, la banda de guarda será entonces mayor y puede afectar el funcionamiento del sensor del SETS.

#### **5.3.2 Servicio fijo**

Si los sistemas del servicio fijo aplican límites más restrictivos para emisiones no deseadas que los que figuran en la Recomendación UIT-R SM.1541 dentro del dominio fuera de banda, así como el límite de Categoría B especificado en la Recomendación UIT-R SM.329, se deberá determinar la repercusión para el servicio fijo en países que no observan dichos límites. Si el servicio fijo aplica otras técnicas, se deberá determinar la repercusión que causan las mismas.

## **6 Resultados de los estudios**

### **6.1 Resumen**

El análisis efectuado en las secciones anteriores señala que la banda de guarda, generalmente indicada en la disposición de canales que figura en la Recomendación UIT-R F.1520 puede no ser suficiente para reducir los niveles de emisiones no deseadas de los sistemas del servicio fijo en la banda 31,8-33,4 GHz a los niveles requeridos para satisfacer los criterios de protección del SETS.

Los proyectistas pueden considerar la posibilidad de incluir una banda de guarda en la parte superior de la banda 31,5-31,8 GHz cuando se diseñan sistemas del SETS a fin de asegurar la protección de las mediciones efectuadas por el SETS. La conveniencia y utilidad de aplicar técnicas de mitigación en este amplio estudio requiere una investigación más profunda.

### **6.2 Conclusiones**

Considerando sistemas del servicio fijo que utilizan una máscara más restrictiva para emisiones no deseadas que las especificadas en la Recomendación UIT-R SM.1541 y en el Apéndice 3 del RR, y teniendo en cuenta la disposición de canales para sistemas del servicio fijo en esta banda (Recomendación UIT-R F.1520), la protección del SETS (pasivo) se puede asegurar cuando el sistema del SETS (pasivo) incluye una banda de guarda de 12 MHz como mínimo en el borde de la banda de 31,8 GHz. Si los sistemas del servicio fijo no se ajustan a las condiciones precedentes, se requerirán bandas de guarda mucho mayores en el borde de la banda para asegurar la compatibilidad.

## Anexo 17

### Análisis de compatibilidad entre sistemas del SETS (pasivo) que funcionan en la banda 31,5-31,8 GHz y sistemas de radionavegación que funcionan en la banda 31,8-33,4 GHz

#### 1 SETS (pasivo)

##### 1.1 Banda atribuida

La banda 31,8-33,4 GHz está atribuida al servicio de radionavegación y es adyacente a la banda 31,5-31,8 GHz atribuida al servicio de exploración de la Tierra por satélite. Este Anexo proporciona cálculos de niveles de emisiones no deseadas del sistema de radionavegación que funcionan por encima de 31,8 GHz y que pueden caer dentro de la banda 31,5-31,8 GHz.

Las atribuciones adyacentes a la banda pasiva 31,5-31,8 GHz se indican en el Cuadro 94.

CUADRO 94

#### Atribuciones de bandas adyacentes

Servicios en la banda atribuida inferior	Banda pasiva	Servicios en la banda atribuida superior
31,3-31,5 GHz	31,5-31,8 GHz	31,8-32 GHz
EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (pasivo) RADIOASTRONOMÍA INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo)	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (pasivo) RADIOASTRONOMÍA INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo) Fijo (Regiones 1 y 3) Móvil salvo móvil aeronáutico (Regiones 1 y 3)	FIJO RADIONAVEGACIÓN INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio lejano) (espacio-Tierra)

##### 1.2 Aplicación

Ésta es una de las bandas utilizadas para sondeo atmosférico cercano al nadir junto con las bandas de 23,8 GHz y 50,3 GHz para la caracterización de cada capa de la atmósfera terrestre.

En la banda 31 GHz se requiere una anchura de banda de 416 MHz para obtener 0,2 K de exactitud. Esto significa que la comunidad de usuarios de microondas de servicios pasivos necesita proteger la banda de 31,3-31,5 GHz así como la banda 31,5-31,8 GHz.

Esta banda se utilizará también conjuntamente con la banda 31,3-31,5 GHz como «ventana dividida». Se puede efectuar una comparación de las mediciones efectuadas en las dos sub-bandas para verificar la calidad de los datos. Esto permitirá entonces utilizar la banda completa cuando se estima que la calidad para aumentar la sensibilidad del sensor es buena.



### 1.3 Criterios de protección requeridos

Recomendación UIT-R SA.515 – Bandas de frecuencias y anchuras de banda utilizadas para la detección pasiva por satélite.

Recomendación UIT-R SA.1028 – Criterios de calidad para la teledetección pasiva por satélite.

Recomendación UIT-R SA.1029 – Criterios de interferencia para la teledetección pasiva por satélite.

### 1.4 Características operacionales

Se consideran las características operacionales siguientes para el sistema del SETS:

- Se supone que el sensor del SETS tiene una antena con una ganancia máxima sobre el eje de puntería de 45 dBi.
- El sensor del SETS apunta en la dirección del nadir.
- El tamaño del píxel para un sensor con una altitud de 850 km es de 201 km<sup>2</sup> (diámetro 16 km).

## 2 Servicio de radionavegación

### 2.1 Banda atribuida

Véase el Cuadro 94.

### 2.2 Aplicación

Los sistemas de radionavegación identificados para funcionar en la banda 31,8-33,4 GHz son servicios que funcionan a bordo de una aeronave. El sistema efectúa operaciones en forma continua en el plano mundial principalmente durante el vuelo. Esto abarca un margen de alturas que se extiende desde el suelo a unos 9000 m aproximadamente (ó 30000 pies). Los tiempos de vuelo pueden ser de hasta seis horas, y generalmente la mayor parte del tiempo transcurre en ruta, pero se espera un tiempo mayor en los puntos de partida o de destino. La información de una administración indica que en esta banda de frecuencias efectúa operaciones un número limitado de aeronaves en todo el mundo con sistemas de radionavegación.

El término «radionavegación» en todo el texto se refiere a un sistema de radar a bordo de aeronaves que funcionan en la banda 31,8-33,4 GHz. Una administración ha informado la utilización mundial de esta banda para el servicio de radionavegación en términos de un número limitado de sistemas de radar a bordo de aeronaves. El sistema de radar se utiliza para cartografía terrestre, detección de tormentas y navegación, pero no principalmente para funciones tales como maniobras de aproximación a los aeropuertos y aterrizaje. Se proyecta el reemplazo de algunos sistemas de frecuencia fija por sistemas con agilidad de frecuencia.

### 2.3 Niveles basados en disposiciones y Recomendaciones UIT-R

#### 2.3.1 Número 1.153 del RR

En el RR se define la *anchura de banda ocupada* como sigue:

«**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 se supone que el borde inferior de la anchura de banda ocupada estuviera en el límite superior de la atribución de radiolocalización o por debajo de la misma, la potencia total de las emisiones no deseadas en las frecuencias por encima de la anchura de banda atribuida no será mayor de 0,5% de  $P$ , donde  $P$  es la potencia dentro de la banda. Por consiguiente, la potencia total de la emisión no deseada en frecuencias dentro de la banda del SETS y por encima de la misma, no será mayor que  $P - 23$  dB.

### 2.3.2 Recomendación UIT-R SM.1541

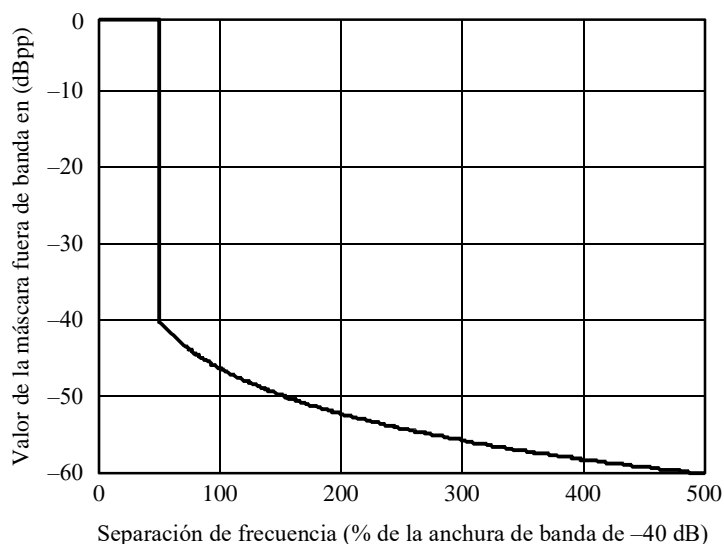
En el Anexo 8 de la Recomendación UIT-R SM.1541 se especifica una máscara genérica para emisiones fuera de banda destinada a radares primarios. Esto se repite más abajo como una relación segmentada. La variable dependiente  $F$  es el desplazamiento de frecuencia del centro de la banda como porcentaje de la anchura de banda de  $-40$  dB del radar, como se ilustra en la Fig. 61, donde:

- $F$ : es el desplazamiento de frecuencia del centro de la banda como porcentaje de la anchura de banda de  $-40$  dB del radar; y
- dBpp: se expresa en decibelios referidos al valor máximo de la potencia de cresta, medido con la anchura de banda de referencia dentro de la anchura de banda ocupada.

Proporciona la atenuación mínima para la potencia de emisión fuera de banda, dentro de una anchura de banda de referencia, relativa a la potencia de cresta dentro de la banda.

FIGURA 61

Máscara fuera de banda para radares primarios



1633-61

## 2.4 Características del transmisor

Se utilizan dos sistemas de radar: un sistema emplea frecuencia fija (en el 80% de las estaciones de aeronave) y el otro (en el 20% de estaciones de aeronave) con la opción de utilizar agilidad de frecuencia (nueve canales en la banda 32,2-33 GHz). Las características técnicas de los sistemas que funcionan en el servicio de radionavegación figuran en la Recomendación UIT-R F.1571 y se enumeran en el Cuadro 95.

CUADRO 95

**Anchura de banda de emisiones de los sistemas en el servicio de radionavegación que funcionan en la banda 31,8-33,4 GHz**

Parámetro	Sistema 1	Sistema 2
Tipo de sintonía	Frecuencia fija; sintonía continua sobre 31,8-33,4 GHz	Frecuencia fija o saltos de frecuencia; funciona en cualquiera de los dos modos sobre uno de los nueve canales discretos separados en 100 MHz (32,2-33 GHz)
Tipo de emisión	Impulsos no modulados	Impulsos no modulados
Anchura de banda de la emisión de RF (MHz)	37	17 (instantánea) 117 (por saltos)
Anchura del impulso ( $\mu$ s)	0,2	0,2
Frecuencia de repetición de impulsos (pps)	2 000	1 600
Potencia de cresta del transmisor (kW)	60	39
Tipo de antena	Reflector parabólico	Reflector parabólico
Ganancia del haz principal de la antena (dBi)	44	41,1
Barrido de la antena	Elevación: $-30^{\circ}$ a $+10^{\circ}$ , manual Acimut: $360^{\circ}$ a 7, 12 ó 21 r.p.m.	Elevación: $-30^{\circ}$ a $+10^{\circ}$ , manual Acimut: $360^{\circ}$ a 12 ó 45 r.p.m.

Del Cuadro 95 se llega a la conclusión que el concepto de técnica de compresión de impulsos que utiliza impulsos codificados (con capacidad de detección de errores) no se aplica en los sistemas de radar considerados.

Se debe señalar que la rotación de la antena es mecánica, es decir el haz de antena no se controla electrónicamente.

## 2.5 Características operacionales

Se pueden activar hasta 18 aeronaves que efectúan operaciones en estos sistemas de radionavegación en una pequeña zona geográfica (es decir, con una separación menor que 1 km entre ellas), aunque muy a menudo sólo funcionan 1 a 3 aeronaves simultáneamente.

## 2.6 Potencia de transmisión dentro de la banda

Véase el Cuadro 95.

## 3 Umbral de compatibilidad

El criterio de protección del sensor pasivo es de  $-163$  dBW en una anchura de banda de 100 MHz (no se deben exceder durante más del 0,01% del tiempo como se estipula en la Recomendación UIT-R SA.1029). En el § 2.4 se indica un conjunto de características para sistemas del servicio fijo que se utilizan en esta banda. De acuerdo con esta información, es posible calcular la potencia permitida de cada sistema de radionavegación que cae dentro de la banda del SETS.

La interferencia se puede recibir de diversas fuentes de múltiples servicios simultáneamente. El valor que figura en la Recomendación UIT-R SA.1029 (para una determinada banda) es el nivel de interferencia máximo admisible para el sensor pasivo.

En este Anexo se efectúa un análisis de la interferencia generada por un solo servicio activo.

Es necesario continuar estudiando este tema para determinar la repercusión de múltiples servicios activos que funcionan por encima y por debajo de la banda pasiva.

## 4 Evaluación de la interferencia

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

El primer paso es analizar la atenuación requerida para satisfacer los criterios de protección del SETS (pasivo). El segundo paso es calcular la atenuación cuando la banda del SETS (pasivo) cae apenas fuera de la anchura de banda de  $-40$  dB del radar.

### 4.2 Cálculo del nivel de interferencia

#### 4.2.1 Atenuación requerida en la banda pasiva

En el Cuadro 96 se indica la atenuación requerida para los cuatro sistemas de radiolocalización para los cuales el lóbulo principal de la antena del instrumento del SETS (pasivo) «ve» el lóbulo lateral de la antena del radar del sistema de radionavegación.

CUADRO 96

#### Análisis de compatibilidad con el radar

	Sistema 1	Sistema 2
Frecuencia (GHz)	31,8	31,8
Potencia de radionavegación (dBW)	47,8	45,9
Ganancia de la antena de radionavegación	-10	-10
Altitud (km)	850	850
Pérdida en el espacio libre	181	181
Ganancia del SETS	45	45
Potencia en una anchura de banda de referencia de 100 MHz	-98,2	-100
Criterio de interferencia (dB(W/100 MHz))	-163	-163
Atenuación requerida	-64,8	-63

#### 4.2.2 Cálculo de emisiones no deseadas de los Sistemas 1 y 2 del radar

Para efectuar este análisis se utiliza la hipótesis que la anchura de banda de  $-40$  dB del radar está ubicada dentro de la banda de radionavegación y que la banda del SETS está ubicada en el 50% del valor de  $-40$  dB como se ilustra en la Fig. 61.

Se han calculado los niveles de atenuación para los Sistemas 1 y 2. Esto se llevó a cabo utilizando la máscara y las ecuaciones que figuran en el Anexo 8 a la Recomendación UIT-R SM.1541. Para los cálculos de la anchura de banda necesaria y de la anchura de banda de  $-40$  dB se debe conocer el tiempo de subida del impulso. Este parámetro ha sido estimado en 50 ns para los Sistemas 1 y 2. Esto dio como resultado una  $B_N$  de 17,9 MHz y una  $B_{-40}$  de 76 MHz para ambos Sistemas. Cabe señalar que considerando las características del Sistema 2 que figuran en el Cuadro 95, el canal de radar más cercano está ubicado en 32,2 GHz aproximadamente, dando lugar a una banda de guarda mayor (ya aplicada). Para el Sistema 1, la anchura de banda de referencia del SETS (pasivo) de 100 MHz (31,7-31,8 GHz) se extiende del 50% al 181,6% en la Fig. 61. La potencia de la emisión no deseada que cae dentro de la anchura de banda de 100 MHz de  $-45,7$  dBpp para el Sistema 1.

### 4.3 Valores obtenidos

Los márgenes resultantes que suponen una ganancia de la antena del radar de  $-10$  dBi (en la dirección del sensor) son de 19,1 dB para el Sistema 1. Es muy probable que el Sistema 2, debido a su mayor separación de frecuencia, será compatible con el funcionamiento de los sistemas del SETS (pasivo) en la banda adyacente.

## 5 Técnicas de mitigación de la interferencia

### 5.1 SETS (pasivo)

Conforme a la descripción efectuada en el § 1.2, puede ser posible para la banda 31,5-31,8 GHz aplicar una banda de guarda en el extremo de la atribución al servicio pasivo en el borde de la banda de 31,8 GHz.

### 5.2 Servicio de radionavegación

Se pueden utilizar técnicas de reducción de las interferencias para sistemas que se emplean actualmente desde un punto de vista práctico. La mayor parte de los radares que se utilizan en la gama 31,8-33,4 GHz son ágiles en frecuencia y tienen anchuras de banda de emisión de RF relativamente pequeñas comparadas con la banda atribuida. Se deberá investigar la posibilidad de evitar emisiones en la parte inferior del espectro adyacente al borde de la banda pasiva existente en 31,8 GHz y tratar de resolver la diferencia. Por ejemplo, es posible que el análisis de compatibilidad dé por resultado un análisis positivo cuando el canal de radar más cercano con respecto al borde existente de la banda pasiva tiene una separación de frecuencia de 2 a 2,5 veces aproximadamente la anchura de banda de  $-40$  dB del sistema de radionavegación.

### 5.3 Repercusiones posibles

#### 5.3.1 SETS (pasivo)

Mediante la aplicación de una banda de guarda apropiada para evitar la posible interferencia proveniente de una banda adyacente, el SETS (pasivo) puede tener condiciones más favorables para efectuar sus mediciones. La conveniencia y utilidad para utilizar esta banda de guarda debe ser objeto de una investigación más profunda.

#### 5.3.2 Servicio de radionavegación

Será necesario continuar investigando la viabilidad de mantener la banda de radar de  $-40$  dB completa dentro de la banda de radionavegación combinada con una separación de frecuencia adicional o un límite de potencia de cresta inferior (es decir, los futuros radares para la banda 31,8-33,4 GHz pueden tener parámetros diferentes).

## **6 Resultados de los estudios**

### **6.1 Resumen**

En este análisis de compatibilidad se ha calculado la interferencia potencial de los sistemas de radionavegación en la banda adyacente superior de la gama de frecuencias 31,5-31,8 GHz atribuida al SETS (pasivo).

### **6.2 Conclusiones**

Este análisis de compatibilidad dio como resultado una diferencia de 19,1 dB para el Sistema 1 (véase el Cuadro 95), suponiendo una ganancia de antena de  $-10$  dBi en la dirección del sensor. Se han establecido técnicas de mitigación para ambos servicios y sería necesario continuar investigando para determinar la aplicación y conveniencia de su aplicación. La utilización de una banda de guarda en el servicio de radionavegación o en la banda del SETS (pasivo) daría por resultado un análisis positivo. Asimismo, teniendo en cuenta la utilización de este sistema por la aeronave, la interferencia puede estar por debajo del criterio de disponibilidad del sensor pasivo.

El Sistema 2 de radionavegación indicado en el Cuadro 95 será compatible en razón de su mayor separación de frecuencia (400 MHz aproximadamente) con respecto al borde de la banda pasiva 31,5-31,8 GHz.

## **Anexo 18**

### **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**

#### **1 SRA**

##### **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).

##### **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.

### 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  $-153 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ . Para efectuar observaciones del continuum con antena parabólica simple que utilizan la anchura de banda total de 1 GHz, el límite de  $dfp$  umbral es de  $-137 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ .

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,  $-116 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , 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.

#### 1.4 Características operacionales

Las observaciones de radioastronomía en la banda 42,5-43,5 GHz se efectúan en todas las Regiones de la UIT. En el Cuadro 97 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.

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  $\mu\text{K}$ , que implica integraciones del orden de 2000 a 4000 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 los Cuadros podría efectuar observaciones en la banda de 43 GHz en cualquier momento.



CUADRO 97

## 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 Noto Cagliari	11° 38' 43"	44° 31' 14"	44	32	S
		15° 03' 00"	36° 31' 48"	85 570	32	S
		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
Región 2						
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 97 (Continuación)

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	Antarctica	N/A	-90° 00' 00"	3 000	Diversos	S

## 2 SFS y SRS

### 2.1 Banda de transmisión atribuida

El servicio activo considerado funciona en la banda 41,5-42,5 GHz.

### 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 98.

### 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.

NOTA 1 – S significa estaciones en las que se efectuaron operaciones con antena parabólica simple, y VLBI. 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 geostacionarios 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.

## 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° a 0,65°. 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 98 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.

CUADRO 98

**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	

CUADRO 98 (Fin)

Parámetros	SFS OSG	SFS no OSG (MEO)
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	
Tamaño de la antena de la estación terrena terminal: – Cabecera/centro (m) – HDFSS (VSAT) (m)	– 1,8 a 2,7 – 0,3 a 0,6	– 1,5 a 2,7 – 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.

## 2.5 Características operacionales

Véase la Recomendación UIT-R S.1557 y el § 2.4.

## 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  $-117$  dB(W/m<sup>2</sup>) para ángulos de elevación de 25° a 90° en condiciones de atmósfera despejada.

El valor de  $-117$  dB(W/(m<sup>2</sup> · 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.

### 3 Umbral de compatibilidad

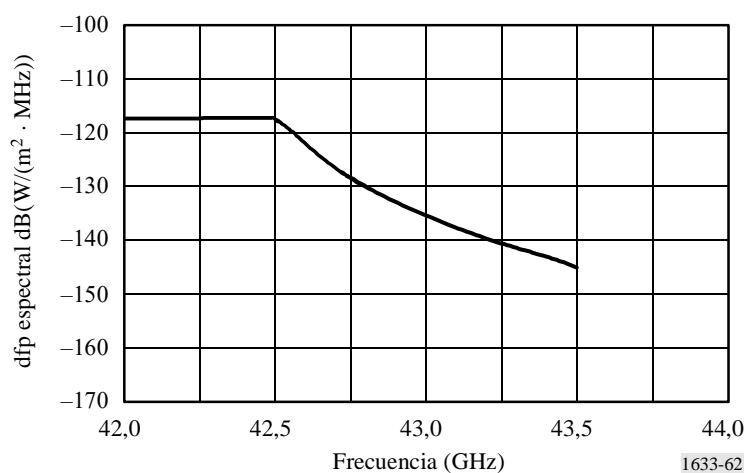
Véase el § 1.3.

### 4 Evaluación de la interferencia

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

En la Fig. 62 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.

FIGURA 62  
Característica espectral



#### 4.2 Cálculo del nivel de interferencia

La curva de la característica espectral que se ilustra en la Fig. 62 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°.

El cálculo no tiene en cuenta la repercusión de la atenuación atmosférica<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Véase la Recomendación UIT-R P.676. El valor variará entre 1 y 2 dB a nivel del mar.

### 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:

- $-97 \text{ dB}(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{GHz}))$ , que es de 37 dB por encima del umbral del continuum para la banda 42,5-43,5 GHz;
- $-120 \text{ dB}(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot 500 \text{ kHz}))$  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.

## 5 Técnicas de reducción de la interferencia

### 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.

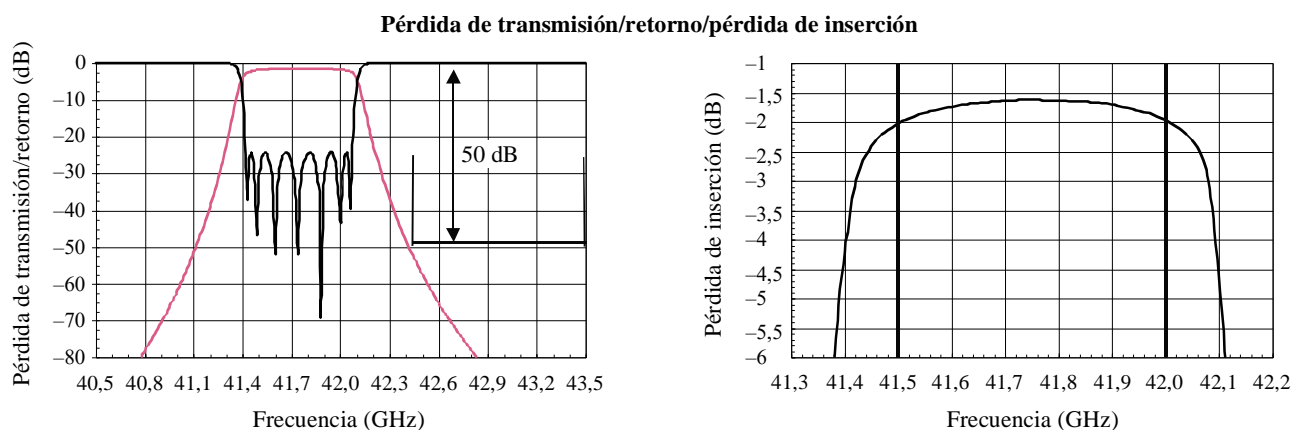
### 5.2 SFS y SRS

#### 5.2.1 Filtrado del satélite

*Caso 1 – Estación espacial de haces múltiples*

Para portadoras de banda ancha, la curva de la Fig. 63 muestra un ejemplo de las características de diseño de filtrado típico en esta banda con un filtro de 7 polos.

FIGURA 63



$N = 7$ , filtro TE101

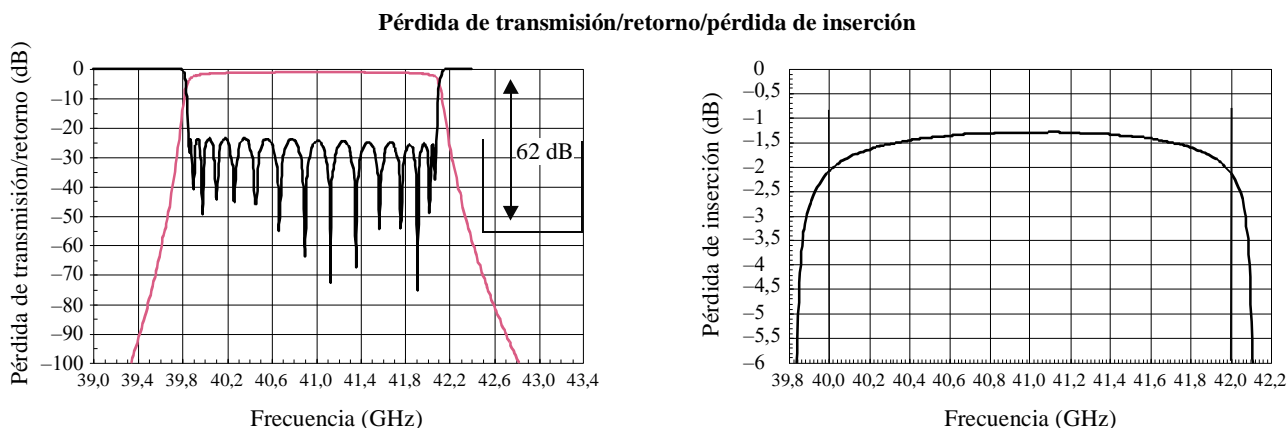
Tamaño (W × H × L): 1,125" × 1,125" × 3,80"/Peso: 0,24 lb (cobre).

1633-63

*Caso 2 – Estación espacial con sistema de antenas controlado por fase*

En la Fig. 64 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 64



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).

1633-64

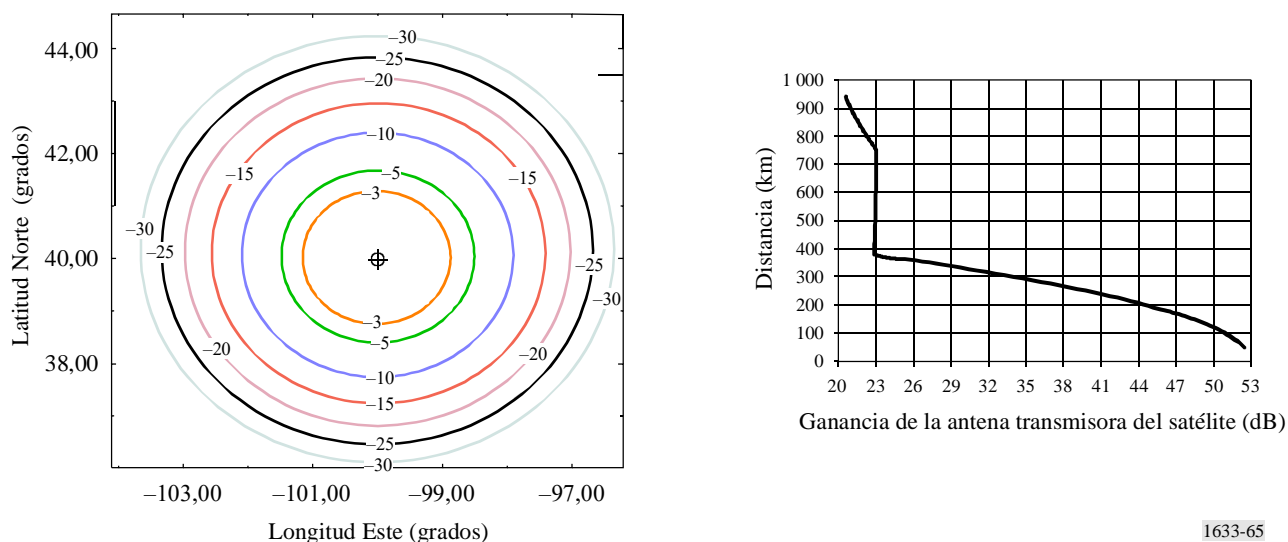
### 5.2.2 Separación geográfica

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 9 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. 65 se indican los contornos de ganancia para una antena de estación espacial OSG que tiene una ganancia de cresta de 53 dBi y una anchura de haz de 3 dB de 0,4°. La curva que aparece a la derecha de la Fig. 65 permite establecer la ventaja que tiene la separación geográfica con relación a la ganancia de cresta para cualquier distancia.

FIGURA 65

**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**



1633-65

### 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.

### 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.

### 5.2.5 Métodos de mitigación adicionales

En la Recomendación UIT-R SM.1542 se indican métodos adicionales de mitigación de la interferencia.

## 5.3 Repercusiones posibles

### 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 la 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.

### 5.3.2 SFS y SRS

#### 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 2818 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.



### 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.

### 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.

### 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.

## 6 Resultados de los estudios

### 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 dfp 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 § 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 parabólica simple 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 mitigación; 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.

## 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 97) 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 parabólica simple.

## Anexo 19

### **Análisis de compatibilidad entre sistemas del SETS (pasivo) que funcionan en la banda 50,2-50,4 GHz y sistemas del SFS (Tierra-espacio) que funcionan en la banda 47,2-50,2 GHz**

#### 1 SETS (pasivo)

##### 1.1 Banda atribuida

En el Cuadro 99 se indican las atribuciones adyacentes a la banda pasiva del SETS de 50,2-50,4 GHz. Se debe observar que la banda 50,2-50,4 GHz está protegida por la nota número 5.340 del RR y también se aplica la nota número 5.340.1 del RR.

## CUADRO 99

## Atribuciones en bandas adyacentes

Servicios en la banda atribuida inferior	Banda pasiva	Servicios en la banda atribuida superior
47,2-50,2 GHz	50,2-50,4 GHz	50,4-51,4 GHz
FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) MÓVIL 5.149 5.340 5.552 5.552A 5.555	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (pasivo) INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo) 5.340 5.555 <sup>a</sup>	FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) MÓVIL Móvil por satélite (Tierra-espacio)

## 1.2 Aplicación

Es ésta una de las diversas bandas entre 50 GHz y 60 GHz que se utilizan colectivamente para proporcionar perfiles de temperatura tridimensionales de la atmósfera.

Estas mediciones se aplican a modelos de predicción meteorológica numérica. El modelo recopila datos cada seis horas y se utiliza para la predicción meteorológica de pequeñas zonas (10 km o menos) en un tiempo breve (6 a 48 h).

## 1.3 Criterios de protección requeridos

Las tres Recomendaciones siguientes establecen los criterios de interferencia para los sensores pasivos:

- Recomendación UIT-R SA.515 – Bandas de frecuencias y anchuras de banda utilizadas para la detección pasiva por satélite.
- Recomendación UIT-R SA.1028 – Criterios de calidad para la teledetección pasiva por satélite.
- Recomendación UIT-R SA.1029 – Criterios de interferencia para la teledetección pasiva por satélite.

El primer criterio es la potencia interferente aceptable recibida por el sensor del SETS, que es de  $-166$  dBW en la anchura de banda de referencia de 100 MHz. Este es el nivel de interferencia máximo de todas las fuentes.

El segundo criterio es el límite de la frecuencia de ocurrencia en que se rebasa el umbral. Para sondas que apuntan al nadir utilizadas para la medición tridimensional de la temperatura atmosférica o concentración de gas la proporción de células de medición perdidas debida a la interferencia no debe exceder de 0,01%. Este límite de la frecuencia de ocurrencia es válido para sondas en dirección al nadir de barrido mecánico y de barrido transversal.

## 1.4 Características operacionales

Se han considerado tres tipos de diseños de sensor para efectuar mediciones en esta gama de frecuencias. El detector de barrido transversal a la trayectoria que explora a través del nadir, el detector de barrido cónico que explora en un arco frente a la estación espacial a través de su trayectoria, y el detector de barrido transversal que utiliza múltiples haces fijos a través de su

trayectoria. Se analizará el sensor de barrido transversal en razón que representa el futuro en sondeos por microonda. Este sensor tiene la ventaja específica de permitir un tiempo de integración mayor. En el Cuadro 100 se indican las características de operación del sensor en estudio.

CUADRO 100

**Parámetros del sensor de barrido transversal**

Parámetro	Valor
Altitud (km)	850
Órbita	Polar heliosincrónica
Ganancia del lóbulo principal de la antena (dBi)	45
Anchura del haz de 3 dB de la antena (grados)	1,1
Diagrama de la antena	Recomendación UIT-R F.1245
Campo de visión (referido al sensor)	$\pm 50^\circ$ transversal a la trayectoria referido al nadir
Campo de visión (referido al centro de la Tierra)	$\pm 10,25^\circ$ geocéntrico
Diámetro del píxel en el nadir (km)	16
Píxeles por barrido	90
Anchura del barrido (km)	2 300

**2 SFS (Tierra-espacio)****2.1 Banda de transmisión**

Véase el Cuadro 99.

**2.2 Aplicación**

El servicio activo en estudio para este Anexo es el SFS (Tierra-espacio) en la banda 47,2-50,2 GHz.

**2.3 Niveles basados en la representación espectral**

Este Anexo utiliza la representación espectral de coseno alzado, que se describe en el Anexo 1 de esta Recomendación.

La representación espectral tiene por objeto efectuar estudios en cada banda y es provisional, a la espera de ulteriores estudios en el UIT-R. Representa de manera muy general la distribución de potencia media típica en los dominios de emisiones fuera de banda y de emisiones no esenciales en una atribución adyacente o cercana.

**2.4 Características del transmisor**

Las características para el SFS y el SMS se obtienen a través de la Recomendación UIT-R S.1328-3 – Características de los sistemas de satélite que se han de tener en cuenta en los análisis de compartición de frecuencias entre sistemas de satélites geoestacionarios (OSG) y no OSG del servicio fijo por satélite (SFS) incluidos los enlaces de conexión para el servicio móvil por satélite (SMS), y se enumeran en los Cuadros 101 y 102.

## 2.5 Características operacionales

CUADRO 101

### Características de las estaciones terrenas para el enlace ascendente con satélites no OSG

Sistema	MEOSAT-X	LEO V1	LEO V2
Órbita	Circular	Circular	Circular
Altitud (km)	10 352	1 350	10 355
Inclinación (grados)	50	47	50
Satélites en un plano	8	6	5
Planos	4	12	3
Polarización	LHCP/RHCP	LHCP/RHCP	LHCP/RHCP
Modulación	MDP-4 O	MDP-4	MDP-4 O
Anchura de banda (MHz)	500	90	300
Atribución pasiva (% de $B_N$ )	40	222	67
p.i.r.e. (dBW)	88	60,2	69,7
Ganancia de la antena (dBi)	66,08	54,4	57,8
Potencia del transmisor (dBW)	21,92	5,8	11,9

CUADRO 102

### Características de las estaciones terrenas para el enlace ascendente con satélites OSG

Sistema	GSO-VX	GEO-SV	GEOSAT		GSOV-B1	GSOV-B2
			Cabecera	Usuario		
Polarización	LHCP/RHCP	LHCP/RHCP	LHCP/RHCP	RHCP/LHCP	Lineal	
Modulación	MDP-4 D	MDP-4 D	MDP-4	MDP-4	MDP-4	MDP-4
Anchura de banda (MHz)	300	200	125	11	105,6	150
Atribución pasiva (% de $B_N$ )						
p.i.r.e. (dBW)	73,8	75,5	83,9	69,2	31,5	84,7
Ganancia de la antena (dBi)	59,5	59,5	64,8	59,3	45,2	65,4
Potencia del transmisor (dBW)	14,3	16	19,1	9,8	-13,7	19,3

## 3 Umbral de compatibilidad

Hay dos criterios para esta banda. El primero es el umbral de potencia de  $-166$  dBW en 100 MHz. Este es el nivel de interferencia máximo de todas las fuentes. El segundo criterio de disponibilidad es 99,99% de todas las células de medición o la pérdida del 0,01% de los píxeles de medición.

La interferencia posible recibida de diversas fuentes tiene su origen en múltiples servicios simultáneamente. El valor indicado en la Recomendación UIT-R SA.1029 (para una determinada banda) es el nivel de interferencia máximo admisible para el sensor pasivo.

Este Anexo proporciona un análisis de la interferencia generada por un solo servicio activo. Por lo tanto, será necesario profundizar los estudios para determinar la repercusión de múltiples servicios activos por encima y por debajo de la banda pasiva.

## **4 Evaluación de la interferencia**

Los márgenes de la interferencia procedentes del lóbulo principal de la estación terrena oscilan entre 95 y 40 dB cuando se encuentran dentro del lóbulo principal del sensor y de 55 dB o menor cuando el lóbulo lateral del sensor se acopla al lóbulo principal de la estación terrena. El cálculo de probabilidades que se produzca esta interferencia por una estación terrena indica que es baja. El efecto de la interferencia de esos sistemas puede depender de la densidad de población de la estación terrena.

### **4.1 Metodología utilizada para determinar los niveles de interferencia**

El primer paso es calcular los niveles de interferencia en un caso cofrecuencia, donde se supone que las estaciones terrenas del SFS transmiten dentro de la banda del SETS (pasivo). En los casos en que la anchura de banda necesaria de la estación terrena es mayor que la banda del SETS (pasivo) la potencia que cae dentro de la banda del SETS se reduce proporcionalmente, suponiendo que la densidad de potencia es constante en la anchura de banda necesaria.

El segundo paso es tener en cuenta la máscara fuera de banda para el servicio activo, y se define la banda de guarda que puede ser necesaria para proteger el servicio pasivo.

#### **4.1.1 Estaciones terrenas del SFS OSG**

Para el análisis se adoptan las hipótesis básicas siguientes:

- La interferencia se produce a través del acoplamiento entre el sensor pasivo y las antenas de la estación terrena del SFS.
- Ambas antenas están modeladas conforme a la Recomendación UIT-R F.1245.
- En un intento para determinar configuraciones posibles para el caso más desfavorable, se supone que la dirección de puntería de la estación terrena del SFS (que apunta a la órbita geoestacionaria en el caso del SFS OSG) está contenida en el plano orbital del satélite de exploración de la Tierra. Esta configuración hace posible tener trayectos de interferencia del lóbulo lateral del sensor al lóbulo principal de la estación terrena y del lóbulo principal del sensor al lóbulo lateral de la estación terrena. Se pueden también producir trayectos de interferencia de lóbulo principal a lóbulo principal pero, en razón que las estaciones terrenas apuntan a la órbita geoestacionaria, esto sólo es posible con aquéllas ubicadas cerca del Ecuador; se deberá investigar con mayor profundidad la probabilidad de ocurrencia en un análisis dinámico, que no se aplica en este estudio.
- Se supone que la estación terrena del SFS está ubicada en una latitud de 35°. Este valor fue seleccionado como posible compromiso para determinar el escenario más desfavorable de lóbulo lateral del sensor a lóbulo principal de la estación terrena, en razón que puede representar la más baja latitud por encima de la cual las estaciones terrenas están más

densamente distribuidas y donde, a causa del ángulo de incidencia relativamente elevado del trayecto interferente ( $49^\circ$  aproximadamente), la protección natural debida a la pérdida de trayecto más las pérdidas de absorción atmosférica es la menor.

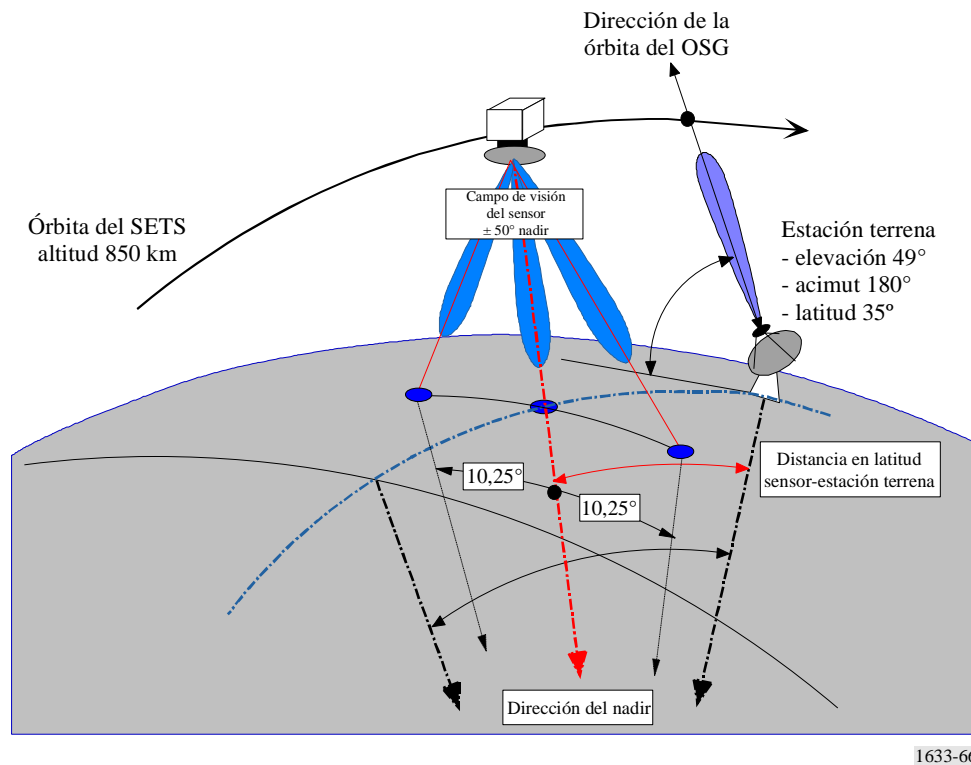
- El análisis dinámico que figura en el § 4.4 considerará latitudes entre  $0^\circ$  y  $50^\circ$  N a fin de obtener una extensa gama de resultados.

Esta configuración se describe en la Fig. 66, donde se indican los parámetros geométricos principales del análisis.

FIGURA 66

**Configuración de la interferencia de las estaciones terrenas del SFS/SMS OSG a sensores pasivos**

(Configuración de la interferencia de una estación terrena del SFS/SMS a un sensor con dirección al nadir)



1633-66

#### 4.1.2 Estaciones terrenas del SFS no OSG

El problema es más complejo pues en este caso la dirección de puntería de la estación terrena es un parámetro variable: una determinada estación terrena puede apuntar a cualquier ángulo de elevación y a cualquier azimut.

Por razones de conveniencia, el presente estudio se limita a una configuración similar a la adoptada para el caso del SFS OSG (véase la Fig. 66), donde no se consideran los escenarios de lóbulo principal a lóbulo principal. Por consiguiente, es claro que esto dará como resultado una evaluación muy optimista de la situación real.

#### 4.2 Cálculo de la interferencia en la hipótesis cofrecuencia

Dado que los escenarios más críticos son los que presentan simultáneamente una p.i.r.e. elevada y una amplia anchura de banda necesaria, se seleccionaron dos sistemas OSG y un sistema no OSG con estos criterios para un análisis detallado. Estos sistemas son «MEOSAT-X» (véase el Cuadro 101), «GEO-SV» y «GSOV-B2» (véase el Cuadro 102), respectivamente.

Suponiendo que la dirección de puntería de la antena de la estación terrena del SFS (que apunta hacia la órbita geoestacionaria en el caso de sistemas OSG) está contenida en el plano orbital del satélite de exploración de la Tierra, considerando únicamente el haz en dirección al nadir del sensor pasivo de barrido transversal, se calculan los siguientes parámetros, que dependen de la distancia en latitud entre el sensor pasivo y la estación terrena del SFS:

- distancia de visión directa entre el sensor y la estación terrena (km);
- ángulos de desplazamiento entre la visión directa del sensor/estación terrena y el eje principal de las antenas;
- ganancias mutuas en dirección de las antenas del sensor y de la estación terrena;
- pérdidas en el espacio;
- absorción atmosférica que depende del ángulo de elevación del trayecto (véase la Recomendación UIT-R P.676);
- potencia recibida por el sensor pasivo;
- margen referido al umbral de interferencia en la banda atribuida el SETS (pasivo);
- dimensión de la zona que circunda la posición de la estación terrena, donde los datos de sondeo están contaminados por la interferencia.

### 4.3 Resultado y discusión del análisis

Los resultados se representan gráficamente en las Figs. 67 y 68 para una estación terrena del SFS no OSG y en las Figs. 69 y 70 para una estación terrena del SFS OSG. Mientras que el satélite de exploración de la Tierra se mueve en dirección de la estación terrena, el primer evento aparece cuando el sensor cruza el lóbulo principal de la estación terrena, y el segundo evento cuando el sensor se encuentra en el cenit de la estación terrena.

FIGURA 67

#### Potencia recibida por el sensor pasivo de una estación terrena «MEOSAT-X» no OSG

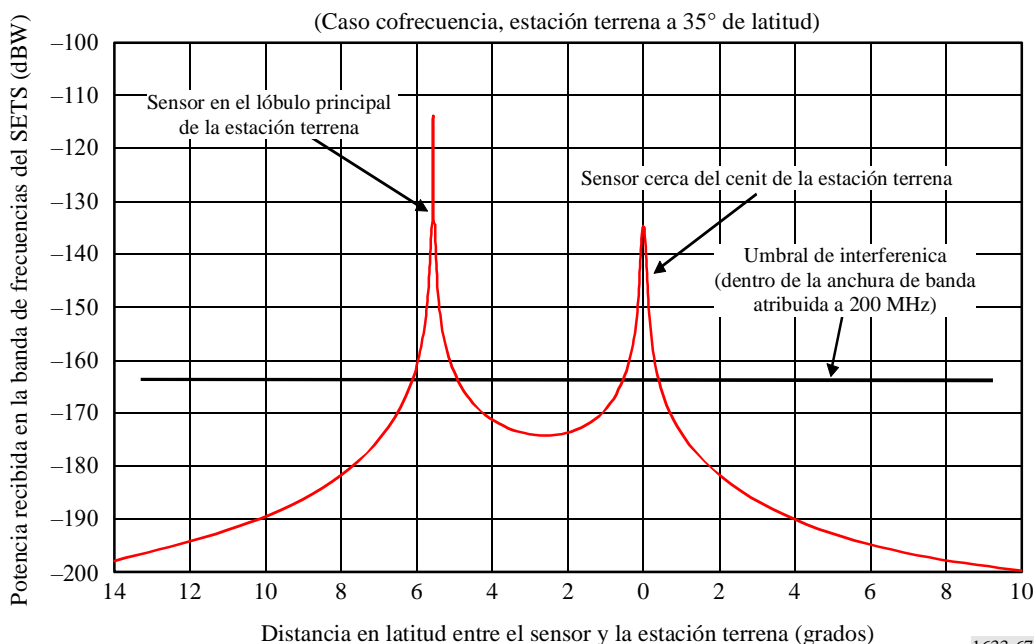
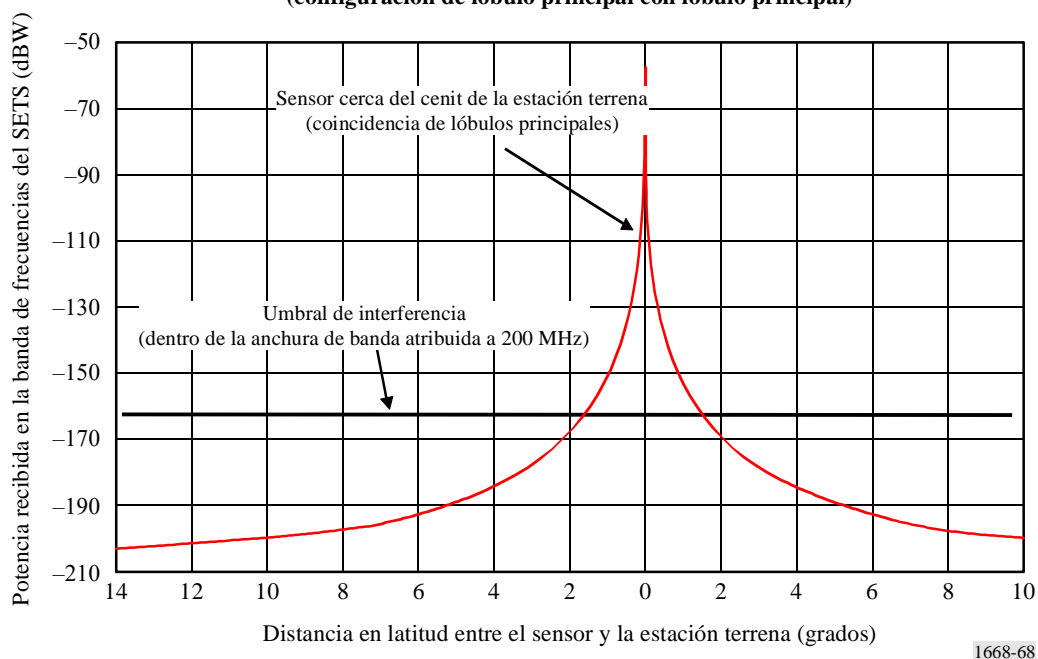




FIGURA 68

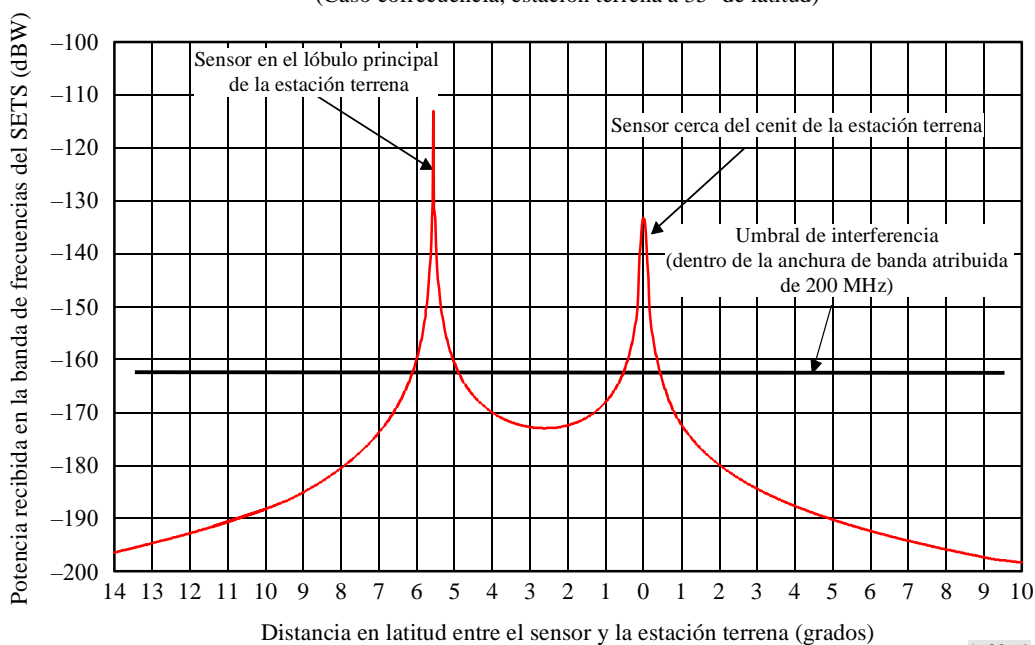
Potencia recibida por el sensor pasivo procedente de una estación terrena «MEOSAT-X» no OSG (configuración de lóbulo principal con lóbulo principal)



1668-68

FIGURA 69

Potencia recibida por el sensor pasivo procedente de una estación terrena GSOV-B2 (Caso cofrecuencia, estación terrena a 35° de latitud)

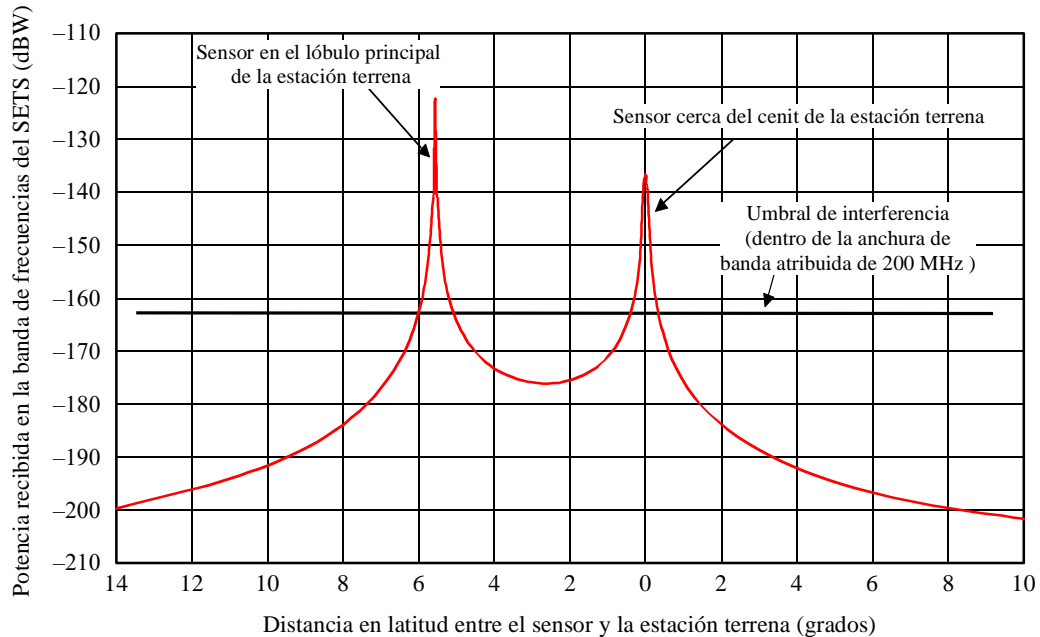


1633-69

Se debe señalar que en el caso de sistemas del SFS no OSG, es posible que se produzcan trayectos interferentes de lóbulo principal a lóbulo principal en todas las latitudes cuando el sensor pasivo pasa cerca del cenit de las estaciones terrenas. En ese caso, el exceso de potencia sobre el umbral de interferencia viene aumentado por la discriminación lóbulo principal a lóbulo lejano de la antena de la estación terrena (80 dB aproximadamente).

FIGURA 70

Potencia recibida por el sensor pasivo procedente de una estación terrena GEO-SV  
(Caso cofrecuencia, estación terrena a 35° de latitud)



1633-70

#### 4.3.1 Eventos de interferencia que se producen a través del lóbulo lejano de la antena del sensor pasivo y el lóbulo principal de la antena de la estación terrena del SFS

Estos eventos de interferencia se producen a unos 50 dB por encima del umbral de interferencia del sensor pasivo (sistemas MEOSAT-X no OSG y GSOV-B2). Dichos eventos tienen una duración de hasta 21 s, que ha de ser comparada con el periodo orbital del sensor pasivo de 100 min. En virtud que todos los haces de la antena del sensor están permanentemente activados, se pueden perder varias líneas de barrido completas (90 píxels cada una) en cada evento. Esto produce una pérdida de unos 810 píxels por evento en el caso de la red GSOV-B2. En razón que el satélite de exploración de la Tierra se encuentra en una órbita casi polar, la condición requerida para la interferencia es una coincidencia dentro de  $\pm 0,6^\circ$  alrededor de la longitud de la estación terrena. Se deberá estudiar con mayor profundidad la probabilidad de ocurrencia de tales eventos, considerando en particular los parámetros de deriva en longitud de la órbita del sensor pasivo, la densidad y latitud de las estaciones terrenas y los criterios de disponibilidad de los sensores pasivos. De cualquier modo, debido a la magnitud de los eventos, se considera que la probabilidad de ocurrencia se debe tomar debidamente en cuenta.

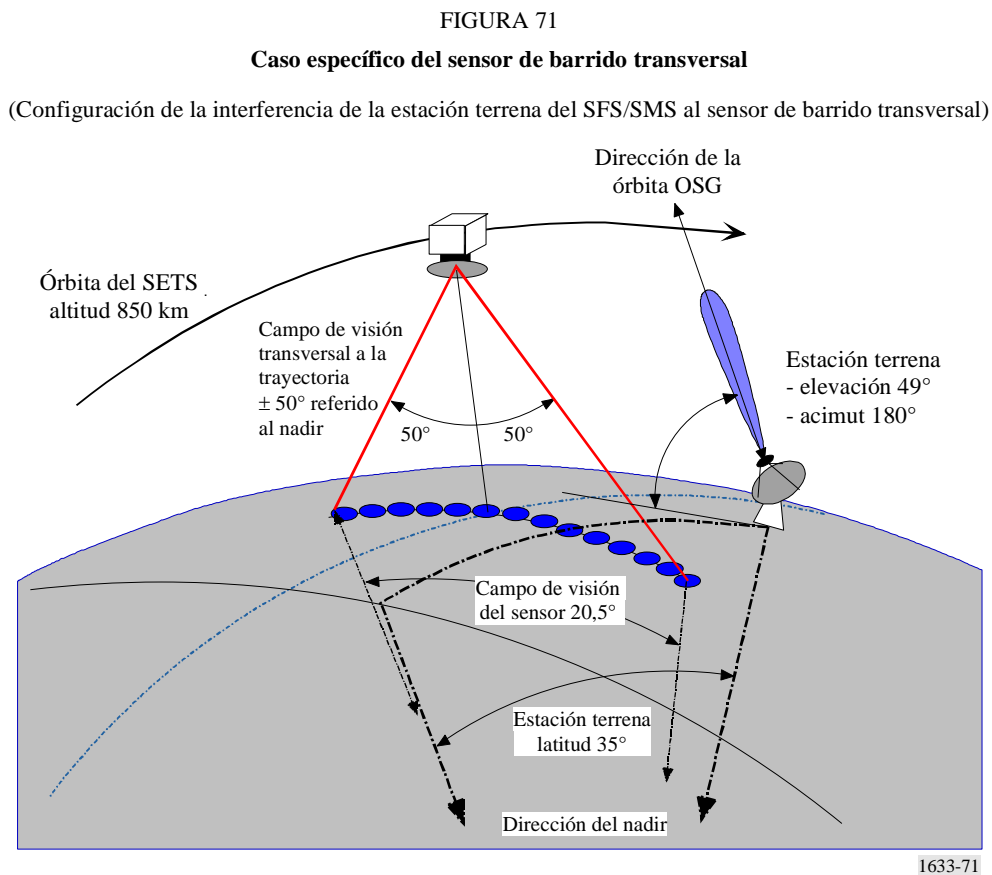
#### 4.3.2 Interferencia que se produce cuando el sensor pasivo está cerca de la estación terrena del SFS

Estos eventos ocurren a unos 30 dB por encima del umbral de interferencia del sensor en el caso de redes OSG, pero pueden alcanzar intensidades superiores a 105 dB por encima del umbral de interferencia del sensor en el caso de redes no OSG (configuración de lóbulo principal con lóbulo principal). Este evento de interferencia constituye un verdadero motivo de preocupación, en razón que el campo de visión de  $100^\circ$  del sensor de barrido transversal (trayectoria transversal) se compone de unos 90 haces de antena adyacentes, permanentemente activados, que crean una zona longitudinal de  $\pm 10,25^\circ$  alrededor de la posición de la estación terrena, en la que el sensor puede recibir interferencia perjudicial en cualquiera de sus haces de antena.

Por consiguiente, la interferencia se producirá cada vez que se presentan las dos condiciones geométricas siguientes:

- cuando el sensor cruza la latitud de la estación terrena; y
- cuando el sensor se encuentra a una distancia longitudinal dentro de  $\pm 10,25^\circ$  de la estación terrena.

Esta configuración se ilustra en la Fig. 71.



Considerando que la distancia longitudinal entre dos órbitas sucesivas es de unos  $25^\circ$  en el Ecuador, se tendrá como consecuencia que la operación del sensor pasivo estará afectada, por lo general dos veces por día, por un evento de interferencia proveniente de una sola estación terrena, teniendo en cuenta los trayectos orbitales ascendente y descendente. El número de eventos aumenta con la latitud de la estación terrena, pues la distancia entre órbitas sucesivas disminuye con el coseno de la latitud. Es directamente proporcional a la cantidad de estaciones terrenas.

Las características principales de cada evento de interferencia en el caso de una estación terrena del SFS GSOV-B2 son los siguientes:

- la duración es de unos 16 s;
- una zona circular en la superficie de la Tierra de unos 110 km de diámetro alrededor de cada posición de estación terrena, está contaminada por interferencia perjudicial;
- esta zona de  $9\,500\text{ km}^2$ , correspondiente a 47 píxeles, se debe comparar a la zona de servicio del sensor de referencia de  $2\,000\,000\text{ km}^2$  como se consigna en las Recomendaciones UIT-R SA.1028 y UIT-R SA.1029;
- el criterio de no disponibilidad de 0,01% se rebasa en gran medida en las cercanías de las estaciones terrenas.

En los Cuadros 103 y 104 se resumen los resultados numéricos más importantes.

CUADRO 103

**Exceso de potencia sobre el umbral de interferencia, red no OSG (hipótesis cofrecuencia)**

Lóbulos lejanos del sensor en dirección del lóbulo principal de la estación terrena	<b>MEOSAT-X</b>	<b>LEO V1</b>	<b>LEO V2</b>
Exceso de potencia en los haces de antena del sensor (dB)	49,2	21,4	30,9
Zona geográfica afectada (aproximadamente) (km)	125 × 110	–	–
Número de píxeles contaminados (aproximadamente)	8 líneas de exploración	–	–
Duración de un evento (aproximadamente) (s)	18	–	–
Sensor cercano al cenit de la estación terrena	<b>MEOSAT-X</b>	<b>LEO V1</b>	<b>LEO V2</b>
Lóbulos principales del sensor en dirección de la interferencia del lóbulo lejano de la estación terrena			
Exceso de potencia en el haz del nadir (dB)	28,3	4,5	12
Exceso de potencia de $\pm 50^\circ$ de haces fuera del nadir (dB)	22,1	Ninguno	6
Zona alrededor de la estación terrena (aproximadamente) (km)	Diámetro 98	–	–
Número de píxeles contaminados por evento	38 píxels	–	–
Duración de un evento (s)	15	–	–
Sensor cercano al cenit de la estación terrena	<b>MEOSAT-X</b>	<b>LEO V1</b>	<b>LEO V2</b>
Lóbulos principales del sensor en dirección de la interferencia del lóbulo principal de la estación terrena			
Exceso de potencia máximo en haces del sensor (dB)	105,6	70	81
Zona alrededor de la estación terrena (aproximadamente) (km)	Diámetro 325	–	–
Número de píxeles contaminados (aproximadamente)	20 líneas de exploración	–	–
Duración media de un evento (aproximadamente) (s)	46	–	–

NOTA 1 – La duración de los eventos se calcula con la hipótesis que la dirección de puntería de la antena de la estación terrena es fija (es decir, sólo se mueve el satélite del SETS). Es claro que esta duración puede ser mayor o menor en función de la velocidad relativa de los satélites del SETS y del SFS no OSG.

CUADRO 104

**Exceso de potencia sobre el umbral de interferencia, redes OSG (hipótesis cofrecuencia)**

<b>Sensor en el lóbulo principal de la estación terrena</b>	<b>Estación terrena del SFS V-B2</b>	<b>Estación terrena del SFS SV</b>
Exceso de potencia (dB)	49,9	40,5
Zona afectada (aproximadamente) (km)	150 × 130	102 × 88
Número de píxeles contaminados por evento	9 líneas de exploración	6,4 líneas de exploración
Duración de un evento (aproximadamente) (s)	21	15
<b>Sensor cerca del cenit de la estación terrena</b>	<b>Estación terrena del SFSV-B2</b>	<b>Estación terrena del SFS SV</b>
Haz en dirección al nadir (dB)	29,7	26,4
±50° de haces fuera de la dirección del nadir (dB)	23,5	20,2
Zona alrededor de la estación terrena (aproximadamente) (km)	Diámetro 110	Diámetro 82
Número de píxeles contaminados por evento	47	27
Duración de un evento (aproximadamente) (s)	16	12

Cabe señalar que las configuraciones de lóbulo principal con lóbulo principal se hacen posibles con estaciones terrenas del SFS OSG ubicadas cerca del Ecuador. En ese caso el exceso de potencia indicado en la segunda parte del Cuadro 104 viene aumentado por la discriminación de la antena de la estación terrena (hasta 80 dB). Se deberá continuar estudiando la probabilidad de ocurrencia de dichas configuraciones.

#### 4.4 Análisis dinámico de la interferencia

Además de los casos estáticos y semiestáticos citados, es necesario un análisis dinámico para tener en cuenta el porcentaje de tiempo durante el cual se produce la interferencia. Como se indicó anteriormente, no se debe rebasar el umbral de  $-166$  dBW en más del 0,01% del tiempo en una anchura de banda de 100 MHz.

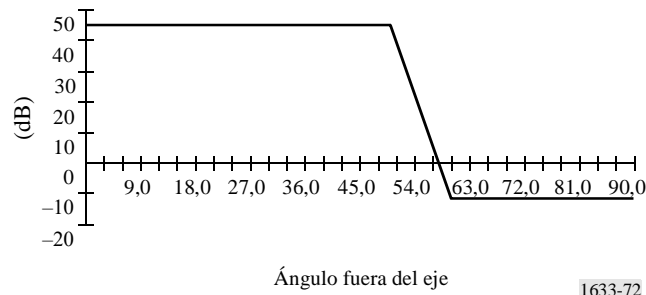
Se efectuaron simulaciones para determinar la probabilidad de interferencia utilizando un incremento de tiempo de 5 s a fin de obtener resultados precisos. Las simulaciones se interrumpieron cuando la función de distribución acumulativa se hizo estable. Además, se debe señalar que todas las simulaciones presentadas sólo se ocuparon de la sonda de barrido transversal en dirección al nadir, pues los casos estáticos y semiestáticos citados han indicado que es el caso más desfavorable.

##### 4.4.1 Modelado de la antena de barrido transversal

Como se indicó anteriormente la antena de barrido transversal puede ver una línea completa de píxeles ubicada alrededor del nadir en  $\pm 50^\circ$  para el azimut, y en  $\pm 0,55^\circ$  para la elevación. La ganancia de antena máxima es de 45 dBi y, como es común para las antenas de radiómetros, hay una disminución pronunciada en el nivel de lóbulo lateral de  $-12$  dBi. La Fig. 72 muestra el diagrama de antena conforme al ángulo con relación al eje del azimut.

FIGURA 72

Diagrama de antena compuesto del sensor de barrido transversal



Ángulo fuera del eje

1633-72

#### 4.4.2 Cálculos dinámicos con sistemas OSG

CUADRO 105

**Análisis dinámico entre el sistema OSG GSOV-B2 y el SETS con sólo una estación terrena que funciona en la posición N0, E0**

Porcentaje de distribución acumulativa	3	1	0,1	0,06	0,01	0,001	0,0002
Barrido transversal: correspondiente a la potencia de interferencia recibida por el SETS (dBW) (anchura de banda 150 MHz)	-220	-200	-186	-166	-138	-115	-58

El Cuadro 105 indica que es posible encontrar una diferencia de 108 dB entre el umbral de -166 dBW y la potencia máxima recibida por el radiómetro de -58 dBW. Dicho nivel puede causar daños en el sensor.

CUADRO 106

**Análisis dinámico entre el sistema OSG GSOV-B2 y el SETS con sólo una estación terrena que funciona en la posición N50, E0**

Porcentaje de distribución acumulativa	5,3	1	0,1	0,08	0,01	0,008
Barrido transversal: correspondiente a la potencia de interferencia recibida por el SETS (dBW) (anchura de banda 150 MHz)	-220	-194	-170	-166	-138	-134

De acuerdo con los Cuadros 105 y 106 existe el riesgo que el satélite del SETS reciba interferencia cuando está en funcionamiento una sola estación terrena (o el porcentaje de datos interferidos está por encima del nivel aceptable). Con respecto a la anchura de banda relativa, las atenuaciones espectrales requeridas son de 26,3 dB para el sistema GSOV-B2. Se estima que un número considerable de estaciones terrenas está en funcionamiento en los sistemas de satélite para los cuales los resultados de las simulaciones dinámicas figuran en los Cuadros 105 y 106. El aumento del número de estaciones terrenas incluidas en las simulaciones dinámicas puede incrementar el porcentaje de tiempo en que se excede el criterio del SETS. En este caso, se deben reexaminar las conclusiones formuladas en el § 4.5 con respecto al valor de las bandas de guarda requeridas.

#### 4.4.3 Cálculos dinámicos con sistemas no OSG

CUADRO 107

**Análisis dinámico entre el sistema del SMS no OSG MEOSAT-X y el SETS con seis estaciones terrenas que funcionan uniformemente sobre el Ecuador**

Porcentaje de distribución acumulativa	23	1	0,3	0,1	0,01	0,009
Barrido transversal: correspondiente a la potencia de interferencia recibida por el SETS (dBW) (anchura de banda 500 MHz)	-250	-175	-166	-134	-120	-119

CUADRO 108

**Análisis dinámico entre el sistema no OSG MEOSAT-X y el SETS con seis estaciones terrenas que funcionan en las posiciones (N35, E0), (N35, E60), (N35, E120), (N0, W60), (N35, W110), (N35, W80)**

Porcentaje de distribución acumulativa	25	1	0,4	0,1	0,01	0,004
Barrido transversal: correspondiente a la potencia de interferencia recibida por el SETS (dBW) (anchura de banda 500 MHz)	-250	-175	-166	-131	-123	-122

De acuerdo con los Cuadros 107 y 108 existe el riesgo que el satélite del SETS reciba interferencia cuando funcionan seis estaciones terrenas (o el porcentaje de datos interferidos está por encima del nivel aceptable). En ese caso, la atenuación espectral requerida es de 39 dB para el MEOSAT-X en el caso más desfavorable. Se estima que un número considerable de estaciones terrenas está en funcionamiento en los sistemas de satélite para los cuales los resultados de las simulaciones dinámicas figuran en los Cuadros 107 y 108. El aumento del número de estaciones terrenas incluidas en las simulaciones dinámicas puede aumentar el porcentaje de tiempo en que se excede el criterio del SETS. En este caso, se deben reexaminar las conclusiones formuladas en el § 4.5 con respecto al valor de las bandas de guarda requeridas.

#### 4.5 Aplicación de la representación espectral fuera de banda a la transmisión de la estación terrena del SFS

Considerando ahora que las estaciones terrenas del SFS transmiten en su propia banda de frecuencias, el rechazo de la potencia de su transmisor dentro de la banda adyacente atribuida al SETS (pasivo) oscila entre 26,4 dB y 49,9 dB para la configuración que representa los sistemas GSOV-B2 y SV. Asimismo, se calculan los valores de cresta en el caso de escenarios que comprenden los otros sistemas OSG que figuran en el Cuadro 102.

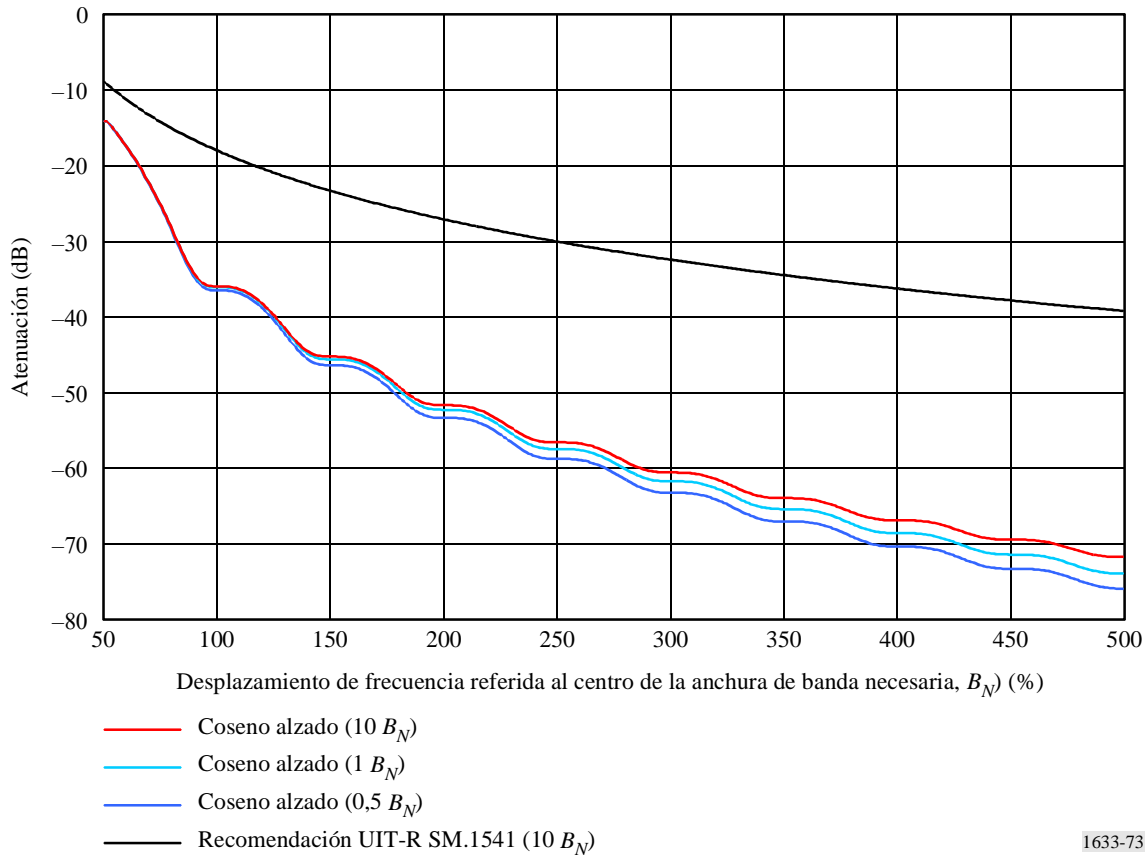
La Fig. 73 representa la potencia que cae dentro de la atribución del SETS que depende de la banda de guarda. Para cubrir las características variables de las emisiones del SFS, se efectúa una integración gradual para tres valores de la banda pasiva, expresados en términos de porcentaje de la anchura de banda necesaria del SFS (1 000, 100 y 50%). Entre las tres curvas hay sólo una pequeña diferencia.

Se puede observar en la figura siguiente que el desplazamiento de frecuencia se toma del centro de la anchura de banda necesaria. Esto se utilizará para determinar la distancia mínima entre el centro de la anchura de banda necesaria y el límite superior de la banda atribuida al SFS que se requiere para proteger la banda adyacente atribuida al SETS de las emisiones del SFS no deseadas.

FIGURA 73

## Atenuación de la potencia fuera de banda contenida dentro de la anchura de banda del SETS

(Rechazo de potencia total en función del desplazamiento de frecuencia)  
(Filtro en coseno alzado, máscara Recomendación UIT-R SM.1541)



Por medio de esta representación espectral se pueden calcular las siguientes condiciones, que se resumen en los Cuadros 109 y 110 para sistemas del SFS no OSG, y en los Cuadros 111 y 112 para sistemas del SFS OSG. La última línea de dichos cuadros indica la banda de guarda adicional que sería necesaria aplicar entre el límite superior de la anchura de banda necesaria,  $B_N$ , y el límite inferior de la banda atribuida al SETS, para proteger a los sensores pasivos de las emisiones no deseadas en la banda adyacente. Esta banda de guarda adicional viene expresada por el desplazamiento del centro de la  $B_N - B_N/2$ .

CUADRO 109

**Resumen de las bandas de guarda necesarias para proteger a los sensores pasivos de las estaciones terrenas del SFS no OSG (lóbulos lejanos del sensor con el lóbulo principal de la estación terrena)**

Sistema del SFS	MEOSAT-X
Rechazo de la potencia requerida (dB)	49,2
Anchura de banda necesaria (MHz)	500
Banda pasiva (% $B_N$ )	40
Desplazamiento del centro de $B_N$ (% $B_N$ )	180
Desplazamiento del centro de $B_N$ (MHz)	<b>900</b>
Banda de guarda adicional requerida (MHz)	<b>650</b>



CUADRO 110

**Resumen de las bandas de guarda necesarias para proteger a los sensores pasivos de las estaciones terrenas del SFS no OSG (sensor cercano al cenit de la estación terrena)**

Sistema del SFS	MEOSAT-X
Rechazo de la potencia requerida (dB)	105,6
Anchura de banda necesaria (MHz)	500
Banda pasiva (% $B_N$ )	40
Desplazamiento del centro de $B_N$ (% $B_N$ )	> 500
Desplazamiento del centro de $B_N$ (MHz)	> 2500
Banda de guarda adicional requerida (MHz)	<b>Fuera de alcance</b>

El análisis dinámico proporciona una atenuación requerida de 39 dB que corresponde a una banda de guarda necesaria de 375 MHz.

CUADRO 111

**Resumen de las bandas de guarda necesarias para proteger a los sensores pasivos de las estaciones terrenas del SFS OSG (sensor en el lóbulo principal de la estación terrena)**

Sistema del SFS	GSOV-B1	GSOV-B2	GSO-VX	GSO-SV	GEOSAT	
					Cabecera	Usuario
Rechazo de potencia requerida (dB)	Ninguno	49,9	37,2	40,5	49,1	34,4
Anchura de banda necesaria (MHz)	105,6	150	300	200	125	11
Banda pasiva (% $B_N$ )	190	133	67	100		
Desplazamiento del centro de $B_N$ (% $B_N$ )	Ninguno	184	116	128	181	91
Desplazamiento del centro de $B_N$ (MHz)	<b>Ninguno</b>	<b>276</b>	<b>250</b>	<b>256</b>	<b>226</b>	<b>10</b>
Banda de guarda adicional requerida (MHz)	<b>0</b>	<b>201</b>	<b>100</b>	<b>156</b>	<b>164</b>	<b>0</b>

CUADRO 112

**Resumen de las bandas de guarda necesarias para proteger a los sensores pasivos de las estaciones terrenas del SFS OSG (sensor cercano al cenit de la estación terrena)**

Sistema del SFS	GSOV-B1	GSOV-B2	GSO-VX	GSO-SV	GEOSAT	
					Cabecera	Usuario
Rechazo de potencia requerida (dB)	Ninguno	29,7	17	26,4	28,9	14,2
Anchura de banda necesaria (MHz)	105,6	150	300	200	125	11
Banda pasiva (% $B_N$ )	190	133	67	100	160	1 818
Desplazamiento del centro de $B_N$ (% $B_N$ )	Ninguno	82	60	77	81	53
Desplazamiento del centro de $B_N$ (MHz)	<b>Ninguno</b>	<b>123</b>	<b>180</b>	<b>154</b>	<b>101</b>	<b>6</b>
Banda de guarda adicional requerida (MHz)	<b>0</b>	<b>48</b>	<b>30</b>	<b>54</b>	<b>39</b>	<b>0</b>

El análisis dinámico proporciona una atenuación requerida de 26,3 dB para el sistema GSOV-B2 que implica una banda de guarda de 30 MHz.

## **5 Técnicas de reducción de la interferencia**

### **5.1 SETS (pasivo)**

Este tema necesita mayor investigación.

### **5.2 SFS**

#### **5.2.1 Desplazamiento del canal activo del borde de la banda**

El resultado de los análisis (véanse los Cuadros 111 y 112) indican que, en la mayoría de los casos, se han de requerir considerables desplazamientos de frecuencia entre el centro de las anchuras de banda necesarias y el límite superior de la banda atribuida al servicio fijo por satélite para proteger a los sensores pasivos de emisiones no esenciales. Las situaciones más críticas se obtienen con transmisiones que conllevan simultáneamente una p.i.r.e. elevada y una anchura de banda necesaria amplia. En razón que la probabilidad de coincidencias de lóbulos principales puede ser alta en el caso de sistemas del SFS no OSG y en el caso de estaciones terrenas del SFS OSG cercanas al Ecuador, en la mayoría de los casos, hay dificultades para obtener un desplazamiento de frecuencia aceptable para proteger la atribución pasiva adyacente.

#### **5.2.2 Potencia y anchura de banda necesaria**

La disminución de la potencia y de la anchura de banda necesaria puede reducir la magnitud del desplazamiento de frecuencia requerido.

#### **5.2.3 Inversión del sentido de transmisión**

Conforme a las características de algunos enlaces Tierra-espacio del SFS OSG, sería necesario aplicar bandas de guarda de unos 30 MHz (conforme al análisis dinámico) para proteger la banda 50,2-50,4 GHz atribuida al SETS (pasivo).

Las características de algunos enlaces Tierra-espacio del SFS no OSG lo hacen claramente incompatibles con operaciones satisfactorias de sensores pasivos en la banda de frecuencias adyacente, en razón que el desplazamiento de frecuencia que sería necesario para asegurar un rechazo suficiente de la potencia no deseada es generalmente demasiado grande (banda de guarda requerida de 375 MHz aproximadamente). En el Cuadro 113, se calcula el exceso de potencia sobre el umbral de interferencia (cofrecuencia), conforme a la hipótesis que los enlaces espacio-Tierra se utilizan en la banda de frecuencias 47,2-50,2 GHz en lugar de la banda de frecuencias 37,5-42,5 GHz. Los resultados muestran que la situación sería más favorable y que no se requerirían desplazamientos de frecuencia, o que éstos sean muy pequeños, para proteger la banda pasiva atribuida.

CUADRO 113

**Interferencia cofrecuencia con enlaces descendentes del SFS**

Sistemas del SFS	MEOSAT-X	LEO V1	LEO V2	GSO-VX	GSO-SV	GSOV-B2
Frecuencia (GHz)	37,5-42,5					
Forma de la órbita	Circular			GSO		
Altitud de la órbita (km)	10 352	1 350	10 355	35 900		
p.i.r.e. (dBW)	60	46,9	49,5	56	62	63,8
Anchura de banda (MHz)	500	90	300	300	200	150
Distancia mínima al sensor (km)	9 502	500	9 505	35 050	-850	-850
Pérdida mínima del trayecto (dB)	-206,03	-180,45	-206,03	-217,37	-217,37	-217,37
Potencia recibida cofrecuencia (dBW)	-162,34	-145,88	-170,62	-175,46	-167,70	-165,90
Exceso sobre el umbral de interferencia (dB)	<b>0,66</b>	<b>17,12</b>	<b>-7,62</b>	<b>-12,46</b>	<b>-4,70</b>	<b>-2,90</b>

NOTA 1 – Las características precedentes pueden necesitar mayor perfeccionamiento.

**5.2.4 Filtrado de la banda de base**

Los niveles de las emisiones no deseadas procedentes de sistemas del servicio activo se pueden reducir mediante el empleo de filtrado y de técnicas de modulación eficaces.

**5.3 Repercusiones posibles****5.3.1 SETS (pasivo)**

La posible repercusión sobre el SETS (pasivo) no se puede determinar hasta que no finalice la aplicación de las técnicas de reducción de la interferencia (véase el § 5.1).

**5.3.2 SFS**

Es necesario evaluar la repercusión de las técnicas de reducción de la interferencia.

**6 Resultados de los estudios**

Este análisis muestra que, en general, un sensor de barrido transversal recibirá considerable potencia no deseada que supera el umbral de interferencia tanto en magnitud como en duración, dos veces por órbita a través de uno de sus haces de antena cuando atraviesan la latitud de cualquier estación terrena.

Las configuraciones para el caso más desfavorable que comprenden trayectos de interferencia a través del lóbulo principal de la estación terrena son más perjudiciales en razón que conducen a la pérdida de una serie de líneas de exploración completas sucesivas del sensor pasivo. Además, la magnitud del exceso de potencia sobre el umbral de interferencia, que puede alcanzar valores tan elevados como 108 dB, podría tener un efecto destructivo en los receptores del sensor pasivo.

## Anexo 20

### Análisis de compatibilidad entre sistemas del SETS (pasivo) que funcionan en la banda 50,2-50,4 GHz y sistemas de los SFS (Tierra-espacio) y SMS (Tierra-espacio) que funcionan en la banda 50,4-51,4 GHz

#### 1 SETS (pasivo)

##### 1.1 Banda atribuida

En el Cuadro 114 se indican las atribuciones adyacentes a la banda pasiva del SETS de 50,2-50,4 GHz. Se debe observar que la banda 50,2-50,4 GHz está protegida por el número 5.340 del RR y también se aplica la nota número 5.340.1 del RR.

CUADRO 114

#### Atribuciones de banda adyacente

Servicios en la banda atribuida inferior	Banda pasiva	Servicios en la banda atribuida superior
47,2-50,2 GHz	50,2-50,4 GHz	50,4-51,4 GHz
FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) MÓVIL 5.149 5.340 5.552 5.552A 5.555	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (pasivo) INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo) 5.340 5.555A	FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) MÓVIL Móvil por satélite (Tierra-espacio)

##### 1.2 Aplicación

Es ésta una de las diversas bandas entre 50 GHz y 60 GHz que se utilizan colectivamente para proporcionar perfiles de temperatura tridimensionales de la atmósfera.

Estas mediciones se aplican a modelos de predicción meteorológica numérica. El modelo recopila datos cada seis horas y se utiliza para la predicción meteorológica de pequeñas zonas (10 km o menos) en un tiempo breve (6 a 48 h).

##### 1.3 Criterios de protección requeridos

Las tres Recomendaciones siguientes establecen los criterios de interferencia para los sensores pasivos:

- Recomendación UIT-R SA.515 – Bandas de frecuencias y anchuras de banda utilizadas para la detección pasiva por satélite.
- Recomendación UIT-R SA.1028 – Criterios de calidad para la teledetección pasiva por satélite.
- Recomendación UIT-R SA.1029 – Criterios de interferencia para la teledetección pasiva por satélite.

El primer criterio es la potencia interferente aceptable recibida por el sensor del SETS, que es de  $-166$  dBW en la anchura de banda de referencia de 100 MHz. Este es el nivel de interferencia máximo de todas las fuentes.

El segundo criterio es el límite de la frecuencia de ocurrencia en que se rebasa el umbral. Para sondas que apuntan al nadir utilizadas para la medición tridimensional de la temperatura atmosférica o concentración de gas la proporción de células de medición perdidas debida a la interferencia no debe exceder de 0,01%. Este límite de la frecuencia de ocurrencia es válido para sondas en dirección al nadir de barrido mecánico y de barrido transversal.

#### 1.4 Características operacionales

Se han considerado tres tipos de diseños de sensor para efectuar mediciones en esta gama de frecuencias. El detector de barrido transversal a la trayectoria que explora a través del nadir, el detector de barrido cónico que explora en un arco frente a la estación espacial a través de su trayectoria, y el detector de barrido transversal que utiliza múltiples haces fijos a través de su trayectoria. El sensor de barrido transversal es un instrumento configurado para medir en un plano normal al vector velocidad del satélite. Se analizará el sensor de barrido transversal en razón que representa el futuro en sondeos por microonda. Este sensor tiene la ventaja específica de permitir un tiempo de integración mayor. En el Cuadro 115 se indican las características de operación del sensor en estudio.

CUADRO 115

#### Parámetros del sensor de barrido transversal

Parámetro	Valor
Altitud (km)	850
Órbita	Polar heliosincrónica
Ganancia del lóbulo principal de la antena (dBi)	45
Anchura del haz de 3 dB de la antena (grados)	1,1
Diagrama de la antena	Recomendación UIT-R F.1245
Campo de visión (referido al sensor)	$\pm 50^\circ$ transversal a la trayectoria referido al nadir
Campo de visión (referido al centro de la Tierra)	$\pm 10,25^\circ$ geocéntrica
Diámetro del píxel en el nadir (km)	16
Píxeles por barrido	90
Anchura del barrido (km)	2 300

## 2 SFS y SMS

### 2.1 Banda de transmisión atribuida

Véase el Cuadro 114.

### 2.2 Aplicación

Los servicios activos en estudio para este Anexo son el SFS (Tierra-espacio) y el servicio móvil por satélite (Tierra-espacio) en la banda 47,2-50,2 GHz.

### 2.3 Niveles basados en la representación espectral

Este Anexo utiliza la representación espectral de coseno alzado, que se describe en el Anexo 1 de esta Recomendación.

La representación espectral tiene por objeto efectuar estudios en cada banda y es provisional, a la espera de ulteriores estudios en el UIT-R. Representa de manera muy general la distribución de potencia media típica en los dominios de emisiones fuera de banda y de emisiones no esenciales en una atribución adyacente o cercana.

### 2.4 Características del transmisor

Las características para los SFS y SMS figuran en la Recomendación UIT-R S.1328-3 «Características de los sistemas de satélite que se han de tener en cuenta en los análisis de compartición de frecuencias entre sistemas de satélites geoestacionarios (OSG) y no OSG del servicio fijo por satélite (SFS) incluidos los enlaces de conexión para el servicio móvil por satélite (SMS)». Los terminales del SMS están modelados de forma similar en los terminales del SFS salvo para anchuras de banda más estrechas y antenas más pequeñas. Se supone que están montados sobre vehículos y que se utilizan cuando éstos no están en movimiento.

CUADRO 116

#### Características del enlace ascendente de estaciones terrenas OSG

	Sistema	
	Fijo por satélite	Móvil por satélite
Polarización	LHCP/RHCP	LHCP/RHCP
Modulación	MDP-4	MDP-4
Anchura de banda (MHz)	125	11
p.i.r.e. (dBW)	83,9	69,2
Ganancia de la antena (dBi)	64,8	59,3
Potencia del transmisor (dBW)	19,1	9,9

### 3 Umbral de compatibilidad

La interferencia posible recibida de diversas fuentes tiene su origen en múltiples servicios simultáneamente. El valor indicado en la Recomendación UIT-R SA.1029 (para una determinada banda) es el nivel de interferencia máximo admisible para el sensor pasivo.

Este Anexo proporciona un análisis de la interferencia generada por un solo servicio activo. Por lo tanto, será necesario profundizar los estudios para determinar la repercusión de múltiples servicios activos por encima y por debajo de la banda pasiva.

## 4 Evaluación de la interferencia

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

Como primer paso se calculan los niveles de interferencia en un caso cofrecuencia, donde se supone que las estaciones terrenas del SFS/SMS transmiten dentro de la banda del SETS (pasivo). En casos en que la anchura de banda necesaria de la estación terrena es mayor que la banda del SETS (pasivo), se ajusta la potencia emitida suponiendo que la densidad de potencia es constante en la anchura de banda necesaria.

Como segundo paso se tiene en cuenta la máscara fuera de banda para el servicio activo, y se define la banda de guarda que puede ser necesaria para proteger al servicio pasivo.

Para el análisis se adoptan las hipótesis básicas siguientes:

- la interferencia se produce a través del acoplamiento entre el sensor pasivo y las antenas de la estación terrena del SFS;
- ambas antenas están modeladas conforme a la Recomendación UIT-R F.1245;
- en un intento para determinar configuraciones posibles para el caso más desfavorable, se supone que la dirección de puntería de la estación terrena del SFS/SMS (que apunta a la órbita geoestacionaria) está contenida en el plano orbital del satélite de exploración de la Tierra. Esta configuración hace posible tener trayectos de interferencia del lóbulo lateral del sensor al lóbulo principal de la estación terrena y del lóbulo principal del sensor al lóbulo lateral de la estación terrena. Se pueden también producir trayectos de interferencia de lóbulo principal a lóbulo principal pero, en esto sólo es posible con las estaciones ubicadas cerca del Ecuador; caso que no ha sido estudiado en este Anexo;
- se supone que la estación terrena del SFS/SMS está ubicada en una latitud de 35°. Este valor fue seleccionado como posible compromiso para determinar el escenario más desfavorable de lóbulo lateral del sensor a lóbulo principal de la estación terrena, en razón que puede representar la más baja latitud por encima de la cual las estaciones terrenas están más densamente distribuidas y donde, a causa del ángulo de incidencia relativamente elevado del trayecto interferente (49° aproximadamente), la protección natural debida a la pérdida de trayecto más las pérdidas de absorción atmosférica es la menor;
- El análisis dinámico que figura en el § 4.4 considerará latitudes entre 0° y 50° N a fin de obtener una extensa gama de resultados.

Esta configuración se describe en la Fig. 74, donde se indican los parámetros geométricos principales del análisis.

### 4.2 Cálculo de la interferencia en la hipótesis cofrecuencia

Suponiendo que la dirección de puntería de la antena de la estación terrena del SFS/SMS (que apunta hacia la órbita geoestacionaria en el caso de sistemas OSG) está contenida en el plano orbital del satélite de exploración de la Tierra, considerando únicamente el haz en dirección al nadir del sensor pasivo de barrido transversal, se calculan los siguientes parámetros, que dependen de la distancia en latitud entre el sensor pasivo y la estación terrena del SFS/SMS:

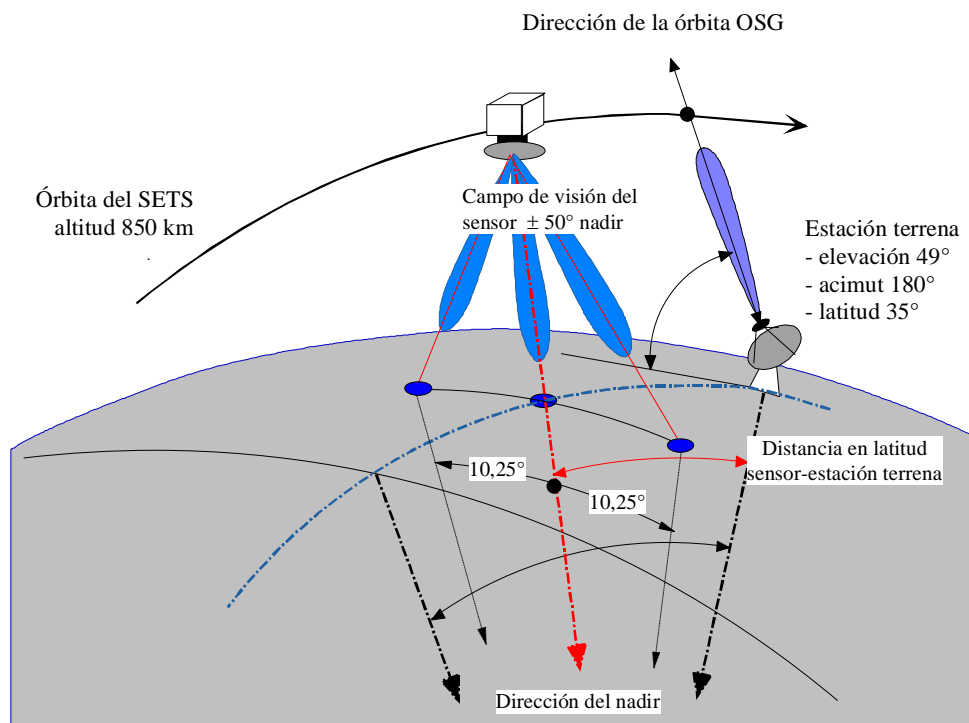
- distancia de visión directa entre el sensor y la estación terrena (km);
- ángulos de desplazamiento entre la visión directa del sensor/estación terrena y el eje principal de las antenas;

- ganancias mutuas en dirección de las antenas del sensor y de la estación terrena;
- pérdidas en el espacio;
- absorción atmosférica que depende del ángulo de elevación del trayecto (véase la Recomendación UIT-R P.676);
- potencia recibida por el sensor pasivo en la anchura de banda atribuida de 200 MHz;
- margen referido al umbral de interferencia, en los casos del SFS y del SMS;
- dimensión de la zona que circunda la posición de la estación terrena, donde los datos de sondeo están contaminados por la interferencia.

FIGURA 74

**Configuración de las interfaces de las estaciones terrenas del SFS/SMS a sensores pasivos**

(Configuración de la interferencia de una estación terrena del SFS/SMS a un sensor con dirección al nadir)



1633-74

En el Cuadro 118 figura una muestra de cálculo numérico. Se puede observar que la resolución (en latitud) es diez veces mejor, para determinar con precisión los valores de cresta de la interferencia y la dimensión de las zonas contaminadas.



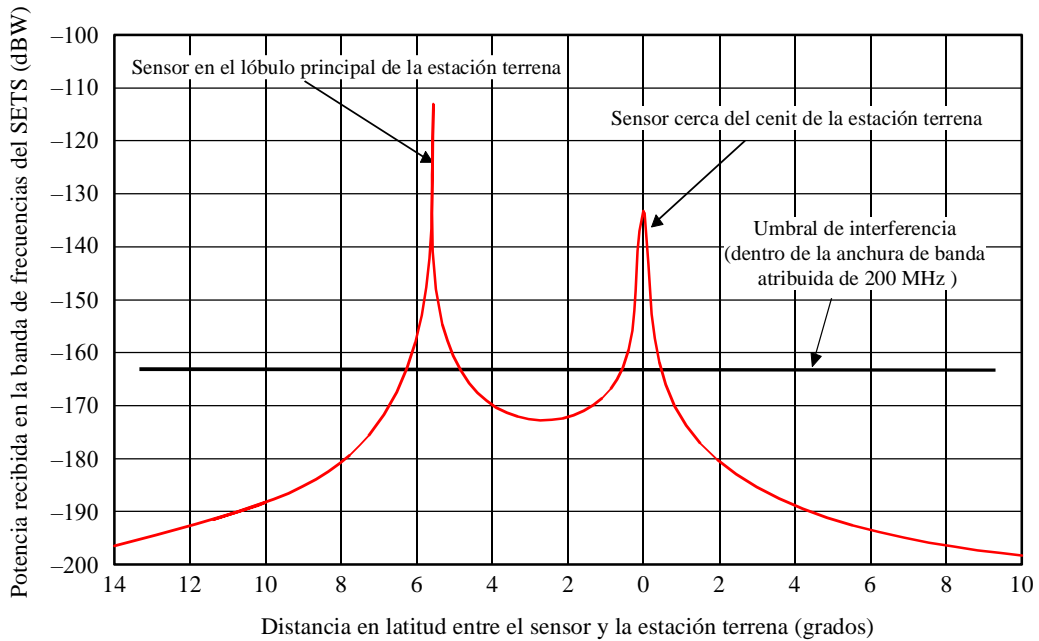
### 4.3 Resultado y discusión de los análisis

Los resultados se representan gráficamente en las Fig. 75 y 76 para estaciones terrenas del SFS y del SMS, respectivamente. Mientras que la exploración de la Tierra por satélite se mueve en dirección de la estación terrena, el primer evento aparece cuando el sensor cruza el lóbulo principal de la estación terrena, y el segundo evento cuando el sensor se encuentra en el cenit de la estación terrena.

FIGURA 75

**Potencia recibida por el sensor pasivo procedente de una estación terrena del SFS**

(Caso cofrecuencia, estación terrena a 35° de latitud)

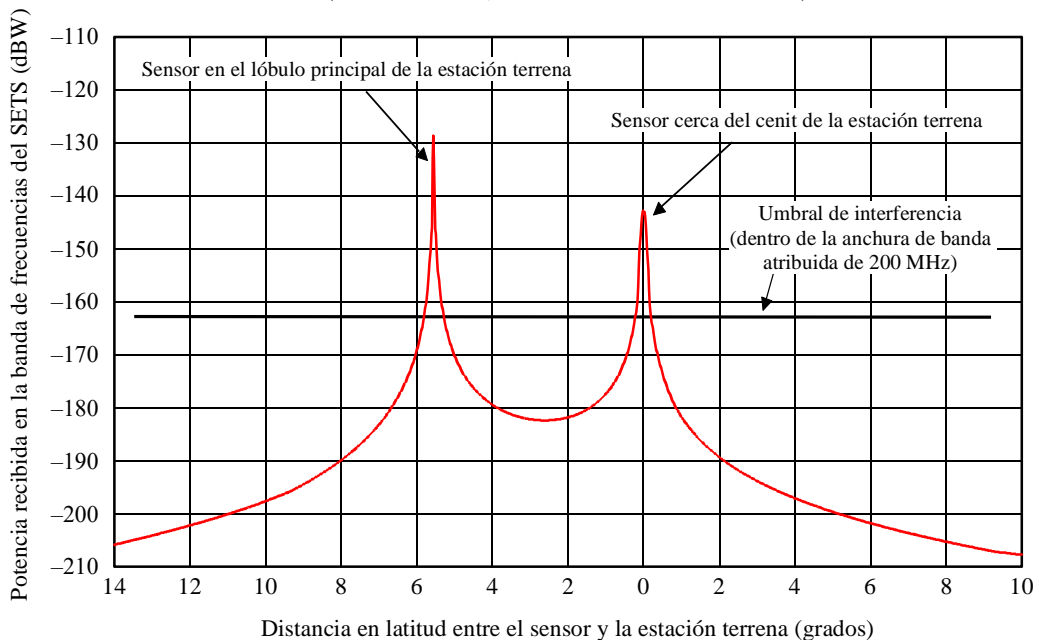


1633-75

FIGURA 76

**Potencia recibida por el sensor pasivo procedente de una estación terrena del SMS**

(Caso frecuencia, estación terrena a 35° de latitud)



1633-76

#### 4.3.1 Eventos de interferencia que se producen cuando el sensor pasivo se encuentra en el lóbulo principal de la estación terrena del SFS

Estos eventos ocurren a unos 49 dB por encima del umbral de interferencia del sensor pasivo. Dichos eventos tienen una duración de hasta 21 s, que ha de ser comparada con el periodo orbital del sensor pasivo de 100 min. En virtud que todos los haces de la antena del sensor están permanentemente activados, se pueden perder varias líneas de barrido completas (90 píxeles cada una) en cada evento. Esto produce una pérdida de unos 810 píxeles por evento en el caso de la estación terrena del SFS OSG. En razón que el satélite de exploración de la Tierra se encuentra en una órbita casi polar, la condición requerida para la interferencia es una coincidencia dentro de  $\pm 0,6^\circ$  alrededor de la longitud de la estación terrena. Se deberá estudiar con mayor profundidad la probabilidad de ocurrencia de tales eventos, considerando en particular los parámetros de deriva en longitud de la órbita del sensor pasivo, la densidad y latitud de las estaciones terrenas y los criterios de disponibilidad de los sensores pasivos. De cualquier modo, debido a la magnitud de los eventos, se considera que la probabilidad de ocurrencia se debe tomar debidamente en cuenta.

#### 4.3.2 Interferencia que se produce cuando el sensor pasivo está cerca del cenit de la estación terrena del SFS

Estos eventos ocurren a unos 29,5 dB por encima del umbral de interferencia del sensor. Este evento de interferencia constituye un verdadero motivo de preocupación, en razón que el campo de visión de  $100^\circ$  del sensor de barrido transversal (trayectoria transversal) se compone de unos 90 haces de antena adyacentes, permanentemente activados, que crean una zona longitudinal de  $\pm 10,25^\circ$  alrededor de la posición de la estación terrena, en la que el sensor puede recibir interferencia perjudicial en cualquiera de sus haces de antena.

Por consiguiente, la interferencia se producirá toda vez que se presentan las dos condiciones geométricas siguientes:

- cuando el sensor cruza la latitud de la estación terrena; y
- cuando el sensor se encuentra a una distancia longitudinal dentro de  $\pm 10,25^\circ$  de la estación terrena.

Considerando que la distancia longitudinal entre dos órbitas sucesivas es de unos  $25^\circ$  en el Ecuador, se tendrá como consecuencia que la operación del sensor pasivo estará afectada, por lo general dos veces por día, por un evento de interferencia proveniente de una sola estación terrena, teniendo en cuenta los trayectos orbitales ascendente y descendente. El número de eventos aumenta con la latitud de la estación terrena, pues la distancia entre órbitas sucesivas disminuye con el coseno de la latitud. Es directamente proporcional a la cantidad de estaciones terrenas.

Las características principales de cada evento de interferencia en el caso de una estación terrena del servicio fijo por satélite son los siguientes:

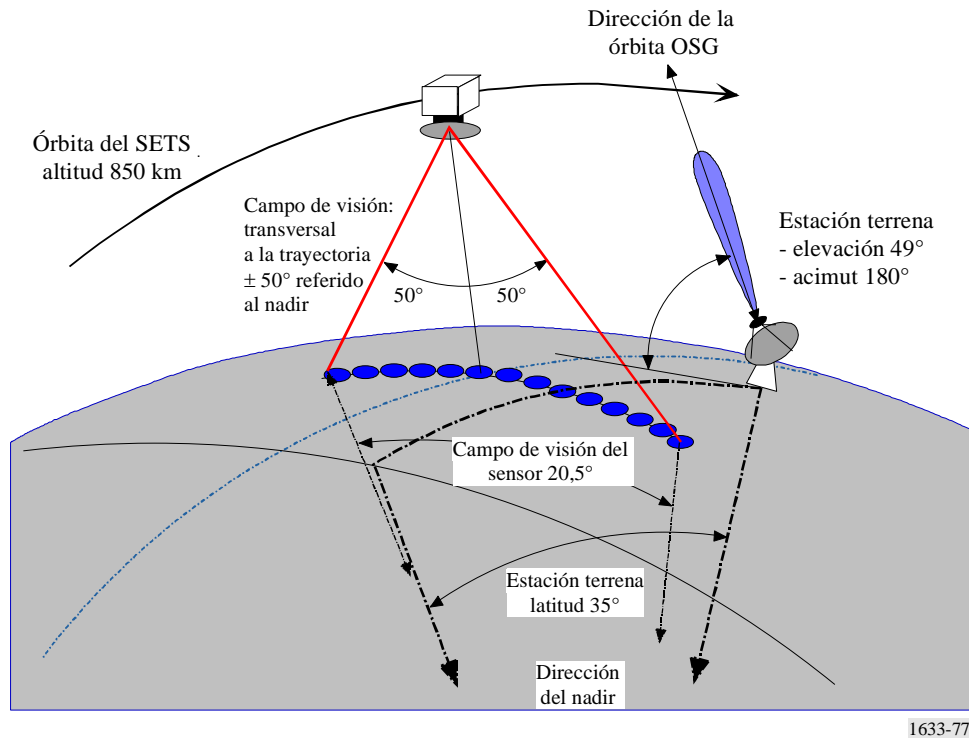
- la duración es de unos 16 s;
- una zona circular en la superficie de la Tierra de unos 110 km de diámetro alrededor de cada posición de estación terrena, está contaminada por interferencia perjudicial;
- esta zona de  $9\,500\text{ km}^2$ , correspondiente a 47 píxeles, se debe comparar a la zona de servicio del sensor de referencia de  $2\,000\,000\text{ km}^2$  como se consigna en las Recomendaciones UIT-R SA.1028 y UIT-R SA.1029;
- el criterio de no disponibilidad de 0,01% se rebasa en gran medida en las cercanías de las estaciones terrenas.

Esta configuración se describe en la Fig. 77.

FIGURA 77

**Caso específico del sensor de barrido transversal**

(Configuración de la interferencia de la estación terrena del SFS/SMS al sensor de barrido transversal)



En el Cuadro 117 se resumen los resultados numéricos más importantes.

CUADRO 117

**Exceso de potencia sobre el umbral de interferencia (hipótesis cofrecuencia)**

Sensor en el lóbulo principal de la estación terrena	Estación terrena del SFS	Estación terrena del SMS
Exceso de potencia (dB)	49,1	34,4
Zona afectada (aproximadamente) (km)	150 × 130	60 × 51
Número de píxeles contaminados por evento	9 líneas de exploración	4 líneas de exploración
Duración de un evento (aproximadamente) (s)	21	8,3
Sensor cerca del cenit de la estación terrena	Estación terrena del SFS	Estación terrena del SMS
Haz en dirección al nadir (dB)	29,5	20,3
$\pm 50^\circ$ de haces fuera de la dirección del nadir (dB)	23,3	14,2
Zona alrededor de la estación terrena (aproximadamente) (km)	Diámetro 110	Diámetro 41
Número de píxeles contaminados por evento	47	7
Duración de un evento (aproximadamente) (s)	16	6

Cabe señalar que las configuraciones de lóbulo principal con lóbulo principal se hacen posibles con estaciones terrenas del SFS/SMS ubicadas cerca del Ecuador. En ese caso el exceso de potencia indicado en la segunda parte del Cuadro 117 viene aumentado por la discriminación de la antena de la estación terrena (hasta 80 dB). Se deberá continuar estudiando la probabilidad de ocurrencia de dichas configuraciones.

#### 4.4 Análisis dinámico de la interferencia

Además de los casos estáticos y semiestáticos citados, es necesario un análisis dinámico para tener en cuenta el porcentaje de tiempo durante el cual se produce la interferencia. Como se indicó anteriormente, no se debe rebasar el umbral de  $-166$  dBW en no más del 0,01% del tiempo en una anchura de banda de 100 MHz.

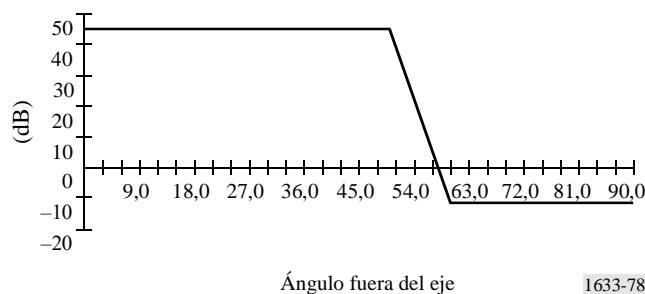
Se efectuaron simulaciones para determinar la probabilidad de interferencia utilizando un incremento de tiempo de 5 s a fin de obtener resultados precisos. Las simulaciones se interrumpieron cuando la función de distribución acumulativa se hizo estable. Además, se debe señalar que todas las simulaciones presentadas sólo se ocuparon de la sonda de barrido transversal en dirección al nadir pues los casos estáticos y semiestáticos citados han indicado que es el caso más desfavorable.

##### 4.4.1 Modelado de la antena de barrido transversal

Como se indicó anteriormente la antena de barrido transversal puede ver una línea completa de píxeles ubicada alrededor del nadir en  $\pm 50^\circ$  para el azimut, y en  $\pm 0,55^\circ$  para la elevación. La ganancia de antena máxima es de 45 dBi y, como es común para las antenas de radiómetros, hay una disminución pronunciada en el nivel de lóbulo lateral de  $-12$  dBi. La Fig. 78 muestra el diagrama de antena conforme al ángulo con relación al eje del azimut.

FIGURA 78

Diagrama de antena compuesto del sensor de barrido transversal



Ángulo fuera del eje

1633-78

##### 4.4.2 Cálculos dinámicos con sistemas del SFS OSG

CUADRO 118

Análisis dinámico entre el sistema del SFS OSG y el SETS con una sola estación terrena que funciona en la posición N0, E0

Porcentaje de distribución acumulativa	4,1	1	0,07	0,01	0,002
Barrido transversal: correspondiente a la potencia de interferencia recibida por el SETS (dBW) (anchura de banda, 125 MHz)	-212	-190	-166	-131	-53

El Cuadro 118 indica que es posible encontrar una diferencia de 113 dB entre el umbral de  $-166$  dBW y la potencia máxima recibida por el radiómetro de  $-53$  dBW. Dicho nivel puede causar daños en el sensor.

CUADRO 119

**Análisis dinámico entre el sistema del SFS OSG y el SETS con una sola estación terrena que funciona en la posición N50, E0**

Porcentaje de distribución acumulativa	7,2	1	0,15	0,01	0,004
Barrido transversal: correspondiente a la potencia de interferencia recibida por el SETS (Dbw) (anchura de banda, 125 MHz)	-212	-186	-166	-131	-126

De acuerdo con el Cuadro 119 existe el riesgo que el satélite del SETS reciba interferencia cuando está en funcionamiento una sola estación terrena (o el porcentaje de datos interferidos está por encima del nivel aceptable). Con respecto a la anchura de banda relativa, las atenuaciones espectrales requeridas son de 34 dB para el SFS OSG. Se estima que un número considerable de estaciones terrenas está en funcionamiento en los sistemas de satélite para los cuales los resultados de las simulaciones dinámicas figuran en los Cuadros 118 y 119. El aumento del número de estaciones terrenas incluidas en las simulaciones dinámicas puede incrementar el porcentaje de tiempo en que se excede el criterio del SETS. En este caso, se deben reexaminar las conclusiones formuladas en el § 4.5 con respecto al valor de las bandas de guarda requeridas.

#### 4.4.3 Cálculos dinámicos con sistemas del SMS OSG

CUADRO 120

**Análisis dinámico entre el sistema del SMS OSG y el SETS con una sola estación terrena que funciona en la posición N0, E0**

Porcentaje de distribución acumulativa	3,9	1	0,1	0,05	0,01	0,003
Barrido transversal: correspondiente a la potencia de interferencia recibida por el SETS (dBW) (anchura de banda, 11 MHz)	-220	-200	-186	-166	-141	-67

CUADRO 121

**Análisis dinámico entre el sistema del SMS OSG y el SETS con una sola estación terrena que funciona en la posición N50, E0**

Porcentaje de distribución acumulativa	7,2	1	0,1	0,06	0,01	0,003
Barrido transversal: correspondiente a la potencia de interferencia recibida por el SETS (dBW) (anchura de banda, 11 MHz)	-220	-194	-172	-166	-141	-136

De acuerdo con el Cuadro 121 existe el riesgo que el satélite del SETS recibe interferencia cuando funcionan una estación terrena (o el porcentaje de datos interferidos está por encima del nivel aceptable). En ese caso, la atenuación espectral requerida es de 25 dB para el SMS OSG en el caso más desfavorable. Se estima que un número considerable de estaciones terrenas está en funcionamiento en los sistemas de satélite para los cuales los resultados de las simulaciones dinámicas figuran en los Cuadros 120 y 121. El aumento del número de estaciones terrenas incluidas en las simulaciones dinámicas puede aumentar el porcentaje de tiempo en que se excede el criterio del SETS. En este caso, se deben reexaminar las conclusiones formuladas en el § 4.5 con respecto al valor de las bandas de guarda requeridas.

#### **4.5 Aplicación de máscaras fuera de banda a la transmisión de la estación terrena del SFS/SMS**

Suponiendo ahora que las estaciones terrenas del SFS/SMS transmiten en su propia banda de frecuencias, el rechazo de esta potencia dentro de la banda atribuida al SETS (pasivo) adyacente debe ser:

- hasta 49 dB para cubrir el caso en que el sensor pasivo cruza el lóbulo principal de la antena de la estación terrena del SFS;
- hasta 29,5 dB para cubrir el caso en que el sensor pasivo está cerca del cenit de la antena de la estación terrena del SFS;
- hasta 34 dB conforme al análisis dinámico (véanse los Cuadros 119 y 120).

Se puede observar que la máscara fuera de banda que figura en la Recomendación UIT-R SM.1541 no proporciona una protección adecuada. La máscara de coseno alzado propuesta por el Grupo de Trabajo 4A es mucho más real. La Fig. 79 representa la potencia que cae dentro de la atribución del SETS que depende de la banda de guarda. Para cubrir las características variables de las emisiones del SFS, se efectúa una integración gradual para tres valores de la banda pasiva, expresados en términos de porcentaje de la anchura de banda necesaria del SFS (1 000, 100 y 50%). Entre las tres curvas hay sólo una pequeña diferencia.

Se puede observar en la Fig. 79 que el desplazamiento de frecuencia se toma del centro de la anchura de banda necesaria. Esto se utilizará para determinar la distancia mínima entre el centro de la anchura de banda necesaria y el límite superior de la banda atribuida al SFS/SMS que se requiere para proteger la banda adyacente atribuida al SETS de las emisiones del SFS/SMS no deseadas.

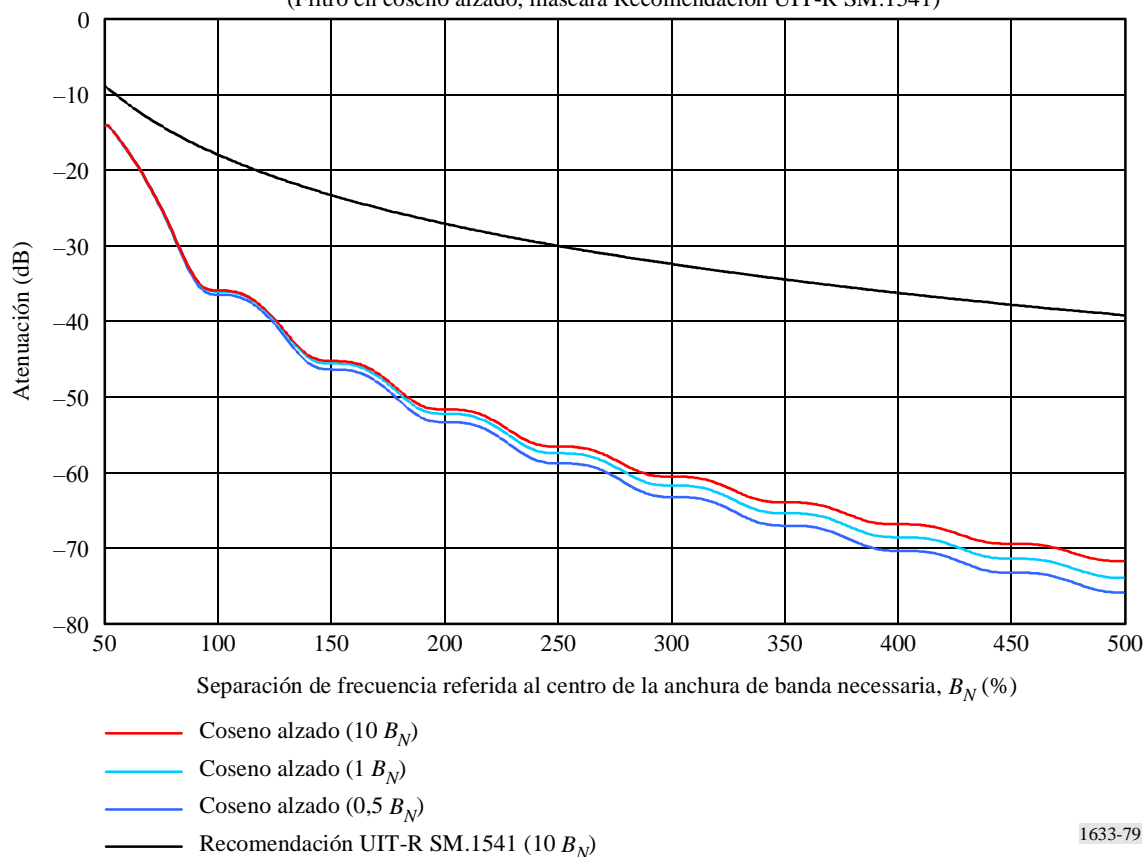
Suponiendo que se adopta esta máscara y que representa fiablemente las características espectrales reales de los transmisores del SFS, se pueden calcular las condiciones siguientes, que se resumen en el Cuadro 122, para los sistemas del SFS OSG y del SMS OSG. La última línea de dicho cuadro indica la banda de guarda por encima del límite inferior de la banda atribuida al SFS que sería necesario aplicar para proteger a los sensores pasivos de emisiones no deseadas en la banda adyacente.

El análisis dinámico proporciona un rechazo de 34 dB para el SFS y un rechazo de 25 dB para el SMS. Por lo tanto, las correspondientes bandas de guarda adicionales requeridas son 50 MHz y 2,3 MHz.

FIGURA 79

**Atenuación de la potencia fuera de banda contenida dentro de la anchura de banda del SETS**

(Rechazo de potencia total en función de la separación de frecuencia)  
(Filtro en coseno alzado, máscara Recomendación UIT-R SM.1541)



1633-79

CUADRO 122

**Resumen de bandas de guarda necesarias para proteger a los sensores pasivos de interferencias procedentes de estaciones terrenas del SFS/SMS OSG**

	SFS OSG		SMS OSG	
	Sensor en el lóbulo principal de la estación	Sensor cerca del cenit de la estación	Sensor en el lóbulo principal de la estación	Sensor cerca del cenit de la estación
Rechazo de potencia (dB)	49	29,5	34,4	20,3
Anchura de banda necesaria (MHz)	125		11	
Banda pasiva (% $B_N$ )	160		1 818	
Desplazamiento (% $B_N$ )	181	82	91	67
Desplazamiento (MHz)	226	103	10	7,4
Banda de guarda adicional requerida (MHz)	164	41	4	1,4

## **5 Técnicas de reducción de la interferencia**

### **5.1 SETS (pasivo)**

Este tema será objeto de ulteriores estudios.

### **5.2 SFS y SMS**

#### **5.2.1 Aplicación de bandas de guarda**

El resultado de los análisis (véase el Cuadro 122) indica que para proteger a los sensores pasivos de emisiones no deseadas se podrían aplicar bandas de guarda. Las situaciones más críticas ocurren cuando las transmisiones comprenden de forma simultánea una elevada p.i.r.e. y una amplia anchura de banda necesaria. Dado que la probabilidad de alineación de lóbulos principales puede ser alta en el caso de estaciones terrenas del SFS/SMS OSG ubicadas cerca del Ecuador, no parece haber un valor de desplazamiento de frecuencia posible con estos sistemas para proteger la atribución pasiva adyacente.

#### **5.2.2 Potencia y anchura de banda necesaria**

La disminución de la potencia y de la anchura de banda necesaria podrían reducir la magnitud del desplazamiento de frecuencia requerido.

#### **5.2.3 Filtrados de la banda de base**

Los niveles de las emisiones no deseadas procedentes de sistemas del servicio activo se pueden reducir mediante el empleo de filtrado y de técnicas de modulación eficaces.

### **5.3 Repercusiones posibles**

#### **5.3.1 SETS (pasivo)**

La posible repercusión sobre el SETS (pasivo) no se puede determinar hasta que no finalice la aplicación de las técnicas de reducción de la interferencia (véase el § 5.1).

#### **5.3.2 SFS y SMS**

Es necesario evaluar y estudiar en el UIT-R la repercusión de las técnicas de reducción de la interferencia.

## **6 Resultados de los estudios**

Este análisis muestra que, en general, un sensor de barrido transversal recibirá considerable potencia no deseada que supera el umbral de interferencia tanto en magnitud como en duración, dos veces por órbita a través de uno de sus haces de antena cuando atraviesan la latitud de cualquier estación terrena.

Las configuraciones para el caso más desfavorable que comprenden trayectos de interferencia a través del lóbulo principal de la estación terrena son más perjudiciales en razón que conducen a la pérdida de una serie de líneas de exploración completas sucesivas del sensor pasivo. Además, la magnitud del exceso de potencia sobre el umbral de interferencia, que puede alcanzar valores tan elevados como 113 dB, pueden causar daños en los receptores del sensor pasivo.



## Anexo 21

### Análisis de compatibilidad entre sistemas del SETS (pasivo) que funcionan en la banda 52,6-52,8 GHz y sistemas del Servicio fijo que funcionan en la banda 51,4-52,6 GHz

#### 1 SETS (pasivo)

##### 1.1 Banda atribuida

La banda 51,4-52,6 GHz está atribuida al servicio fijo y es adyacente a la banda 52,6-52,8 GHz atribuida al SETS. Por consiguiente, hay necesidad de evaluar el efecto de las emisiones no deseadas procedentes de sistemas del servicio fijo que caen dentro de la banda 52,6-52,8 GHz del SETS. Este Anexo proporciona cálculos de niveles de emisiones no deseadas que caen en la banda 51,4-52,6 GHz para el sistema del servicio fijo que funciona por encima de 31,8 GHz.

Se debe señalar que conforme al número 5.340 del RR todas las emisiones están prohibidas en la banda 52,6-54,25 GHz.

Las atribuciones adyacentes a la banda pasiva 52,6-52,8 GHz se indican en el Cuadro 123.

CUADRO 123

#### Atribuciones de banda adyacente

Servicios en la banda atribuida inferior	Banda pasiva	Servicios en la banda atribuida superior
51,4-52,6 GHz	52,6-54,25 GHz	54,25-55,78 GHz
FIJO MÓVIL	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (pasivo) INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo)	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (pasivo) ENTRE SATÉLITES 5.556A OSG sólo con límite dfp INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo)

##### 1.2 Aplicación

Ésta es una de las bandas utilizadas para sondeo atmosférico cercano al nadir conjuntamente con las bandas en 23,8 GHz, 31,5 GHz y 50,3 GHz para caracterizar cada capa de la atmósfera.

##### 1.3 Criterios de protección requeridos

Las tres Recomendaciones siguientes establecen los criterios de interferencia para los sensores pasivos:

Recomendación UIT-R SA.515 – Bandas de frecuencias y anchuras de banda utilizadas para la detección pasiva por satélite.

Recomendación UIT-R SA.1028 – Criterios de calidad para la teledetección pasiva por satélite.

Recomendación UIT-R SA.1029 – Criterios de interferencia para la teledetección pasiva por satélite.

## 1.4 Características operacionales

Se consideran las características operacionales siguientes para sistemas del SETS:

- se supone que el sensor del SETS tiene una antena con una ganancia de 45 dBi;
- el sensor del SETS apunta en la dirección del nadir;
- el tamaño del píxel para un sensor a una altitud de 850 km es de 201 km<sup>2</sup> (16 km de diámetro).

## 2 Servicio fijo

### 2.1 Banda atribuida

Véase el Cuadro 123.

### 2.2 Aplicación

Conforme al número 5.547 del RR la banda 51,4-52,6 GHz está disponible para aplicaciones de alta densidad en el servicio fijo.

Esta banda se puede utilizar para sistemas del servicio fijo P-P y P-MP.

### 2.3 Niveles basados en documentos UIT existentes

Las siguientes Recomendaciones UIT-R proporcionan información sobre emisiones no deseadas de los sistemas del servicio fijo:

Recomendación UIT-R F.1191 – Anchuras de banda y emisiones no deseadas de los sistemas digitales del servicio fijo.

Recomendación UIT-R SM.329 – Emisiones no deseadas en el dominio no esencial.

Recomendación UIT-R SM.1541 – Emisiones no deseadas en el dominio fuera de banda.

### 2.4 Características del transmisor

Se han utilizado las características siguientes contenidas en los Cuadros 124 y 125.

CUADRO 124

#### Características de los sistemas P-P (Recomendación UIT-R F.758)

Separación de canales (MHz)	56	3,5
Ganancia de antena (máxima) (dBi)	50	50
Pérdida de alimentador/multiplexor (mínima) (dB)	0	0
Tipo de antena	Parabólica/bocina	Parabólica/bocina
Potencia de salida máxima del transmisor (dBW)	-20	-20
p.i.r.e. (máxima) (dBW)	30	30

## CUADRO 125

**Características de los sistemas P-MP  
(Recomendación UIT-R F.758)**

Tipo de estación	Estación central	Estación terminal
Separación de canales (MHz)	28	28
Ganancia de antena (máxima) (dBi)	14	Parabólica 41 Planar 28
Pérdida de alimentador/multiplexor (mínima) (dB)	0	0
Anchura de haz de antena (3 dB) acimut/elevación (grados)	>15	1,2 × 1,2
Potencia de salida máxima del transmisor (dBW)	-10	-15
p.i.r.e. (máxima) (dBW)	4	26/13

## 2.5 Características operacionales

La Recomendación UIT-R F.1496 indica la disposición de canales para sistemas que utilizan separación de canales de 3,5 MHz, 7 MHz, 14 MHz, 28 MHz y 56 MHz en esta banda.

### 2.5.1 Características operacionales P-P

Se propone utilizar como primer paso una densidad de terminales de 1 terminal por km<sup>2\*</sup>.

### 2.5.2 Características operacionales P-MP

Se propone utilizar como primer paso una densidad de terminales de 0,3 terminales por km<sup>2\*</sup>.

*Reutilización de frecuencia:* se utiliza generalmente una reutilización de frecuencia de 2 y se considera como un escenario típico. Un factor de reutilización de frecuencia de 1 se debe considerar como la situación para el caso más desfavorable, que ocurre excepcionalmente.

*Antena de sector:* la anchura típica de la antena de sector es de 90 grados. En algunos casos, se prevén antenas de sector de 45° cuando se debe transportar desde una estación una elevada cantidad de tráfico.

En base a estas consideraciones, el centro de distribución de una célula P-MP puede, generalmente, prestar servicios a dos abonados cocanal dentro de una determinada célula.

## 2.6 Potencia de transmisión dentro de la banda

Véanse los Cuadros 124 y 125.

## 3 Umbral de compatibilidad

El criterio de protección del sensor pasivo es de -166 dBW en una anchura de banda de 100 MHz (no se deben exceder durante más del 0,01% del tiempo como se estipula en la Recomendación UIT-R SA.1029). En el § 2.4 se proporciona un conjunto de características para sistemas del servicio fijo que serán utilizados en esta banda. En base a esta información, es posible calcular la potencia admisible proveniente de cada sistema del servicio fijo que cae dentro de la banda del SETS.

---

\* Se debe señalar que esos números representan el planteamiento para el caso más desfavorable y que se perfeccionará para obtener un número de sistemas del servicio fijo que se ajusta a la realidad en cada una de las bandas consideradas.

La interferencia se puede recibir de diversas fuentes de múltiples servicios simultáneamente. El valor que figura en la Recomendación UIT-R SA.1029 (para una determinada banda) es el nivel de interferencia máximo admisible para el sensor pasivo.

En este Anexo se efectúa un análisis de la interferencia generada por un solo servicio activo.

Es necesario continuar estudiando este tema para determinar la repercusión de múltiples servicios activos que funcionan por encima y por debajo de la banda pasiva.

## 4 Evaluación de la interferencia

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

El primer paso de este método es calcular la potencia aceptable de señales emitidas por sistemas del servicio fijo que puedan caer dentro de un píxel del SETS.

Potencia global en la Tierra en 100 MHz = criterios de protección del SETS (dB(W/100 MHz)) – ganancia del SETS + pérdida en el espacio libre.

Es posible calcular entonces el nivel de emisiones no deseado por sistema del servicio fijo que cae dentro de la anchura de banda de referencia de 100 MHz del SETS:

Potencia por transmisor (dB(W/100 MHz)) = potencia global en la Tierra en 100 MHz – número de transmisores (en píxel del SETS) – ganancia del servicio fijo en la dirección del SETS.

### 4.2 Cálculo

Para sistemas P-P (véase el Cuadro 126), se utilizó la Recomendación UIT-R F.1245 para calcular la ganancia de antena en dirección del cenit. La densidad de los terminales que funcionan en la misma frecuencia se toma como 1 terminal por km<sup>2</sup>.

CUADRO 126

#### Nivel de emisiones no deseadas aceptable por sistema del servicio fijo P-P que cae dentro de la banda del SETS

Frecuencia (GHz)	52,6	
Criterio de interferencia (dB(W/100 MHz))	-166	
Altitud (km)	850	
Anchura de banda de referencia (MHz)	100	
Ganancia del SETS	45	
Pérdida en el espacio libre	185,5	
Absorción gaseosa (dB)	3	
Potencia global en la Tierra (dB(W/100 MHz))	<b>-22,5</b>	
Potencia global en la Tierra en (dB(W/MHz))	-42,5	
<i>Tipo de estación</i>	Central	Terminal
Separación de canales (MHz)	<b>56</b>	<b>3,5</b>
Ganancia de la antena del servicio fijo	50	50
Ganancia del servicio fijo en la dirección del SETS	-13	-13
Potencia global (dB(W/MHz))	-29,5	-29,5
Densidad de los sistemas por km <sup>2</sup>	1	1
Tamaño del píxel (km <sup>2</sup> )	201	201
Número de transmisores	201	201
Potencia por transmisor (dB(W/MHz))	-52,5	-52,5
Potencia por transmisor (dB(W/100 MHz))	<b>-32,5</b>	<b>-32,5</b>

Para estaciones terminales P-MP (véase el Cuadro 127), se utilizó la Recomendación UIT-R F.1245 para calcular la ganancia de antena en dirección del cenit. Para estaciones centrales P-MP, se utilizó la Recomendación UIT-R F.1336 para calcular la ganancia de antena en la dirección del cenit. La densidad de emplazamiento de la estación central que funciona en la misma frecuencia se toma como 0,3 terminales por km<sup>2</sup>. En el mismo emplazamiento, dos estaciones centrales pueden emplear la misma frecuencia empleando una antena de sector de 90°. Por lo tanto, dentro de la misma célula, dos estaciones terminales pueden utilizar la misma frecuencia.

CUADRO 127

**Nivel de emisiones no deseadas aceptable por sistema del servicio fijo P-MP que cae dentro de la banda del SETS**

Frecuencia (GHz)	52,6	
Criterio de interferencia (dB(W/100 MHz))	-166	
Altitud (km)	850	
Anchura de banda de referencia (MHz)	100	
Ganancia del SETS	45	
Pérdida en el espacio libre	185,5	
Absorción gaseosa (dB)	3	
Potencia global en la Tierra (dB(W/100 MHz))	-22,5	
Potencia global en la Tierra en (dB(W/MHz))	-42,5	
<i>Tipo de estación</i>	Central	Terminal
Separación de canales (MHz)	28	28
Ganancia de la antena del servicio fijo	14	41
Ganancia del servicio fijo en la dirección del SETS	-10,3	-11,3
Potencia global (dB(W/MHz))	-32,2	-31,2
Densidad de los sistemas por km <sup>2</sup>	0,6	0,6
Tamaño del píxel (km <sup>2</sup> )	201	201
Número de transmisores	121	121
Potencia por transmisor (dB(W/MHz))	-53	-52
Potencia por transmisor (dB(W/100 MHz))	-33	-32

### 4.3 Valores obtenidos

#### 4.3.1 Nivel de emisiones no deseadas conforme a las Recomendaciones UIT-R

Como primera medida sólo se consideran las emisiones no deseadas que caen dentro del dominio de emisiones no esenciales (si la banda de guarda es mayor que el dominio fuera de banda). Se utilizan entonces los niveles de atenuación estipulados en el Apéndice 3 del RR y en la Recomendación UIT-R SM.329 para calcular los niveles de las emisiones no deseadas del servicio fijo que caen dentro del dominio de emisiones no esenciales (desplazamiento mayor que el 250% de la anchura de banda necesaria o de separación de canales comparado con la frecuencia central de la señal del servicio fijo). En el caso de sistemas del servicio fijo, la atenuación especificada en el Apéndice 3 del RR se debe dar en dBc, cuyo valor mínimo es 70 dBc o  $(43 + 10 \log (P))$ .

Basado en el paso inicial, para un sistema que funciona con una potencia de salida de  $-6$  dBW y una separación de canales de 56 MHz (véase el Cuadro 124), el límite de emisiones no esenciales para este sistema es:

$$P \text{ (dBW)} - (43 + P) \quad \text{dB} \quad \text{en una anchura de banda de referencia de 1 MHz}$$

El Cuadro 128 proporciona el nivel de emisiones no deseadas que pueden caer en una anchura de banda de referencia de 100 MHz.

CUADRO 128

**Cálculo del nivel de emisiones no deseadas que pueden caer dentro de una anchura de banda de 100 MHz**

Sistema del servicio fijo	Nivel de emisiones no esenciales por MHz	Nivel de emisiones no esenciales por 100 MHz
56 MHz P-P (Cuadro 124)	$-43$ dBW	$-23$ dBW
3,5 MHz P-P (Cuadro 124)	$-43$ dBW	$-23$ dBW
50 MHz P-MP (Cuadro 125)	$-43$ dBW	$-23$ dBW
2,5 MHz P-MP (Cuadro 125)	$-43$ dBW	$-23$ dBW

El paso inicial permite llegar a la conclusión que aun cuando sólo se consideran emisiones no deseadas que caen dentro del dominio de emisiones no esenciales los criterios de protección del SETS no se satisfacen.

### 4.3.2 Perfeccionamiento de los cálculos

#### 4.3.2.1 Perfeccionamiento de los cálculos utilizando la metodología descrita en el Apéndice 1 al Anexo 1

La Recomendación UIT-R SM.1541 proporciona una máscara para emisiones fuera de banda en el caso de sistemas del servicio fijo. La potencia integrada dentro de la banda del SETS se puede calcular (véase el Apéndice 1 al Anexo 1) suponiendo que el nivel de emisiones no esenciales no rebasa el límite en el borde del dominio fuera de banda.

##### 4.3.2.1.1 Caso de separación de canales de 3,5, 7 y 14 MHz

Se debe señalar que la Recomendación UIT-R F.1496 proporciona la disposición de canales para sistemas que utilizan separación de canales de 3,5 MHz, 7 MHz, 14 MHz, 28 MHz y 56 MHz en esta banda. Esta disposición de canales incluye una banda de guarda de 40 MHz en la parte inferior de la banda del servicio fijo.

Esto significa que para separación de canales de 3,5, 7 y 14 MHz, el dominio fuera de banda (que se extiende del 50% al 250% de separación de canales comparado con la frecuencia central de la señal del servicio fijo), se incluirá en la banda de guarda. Por consiguiente, para sistemas que utilizan separación de canales de 3,5, 7 y 14 MHz sólo es necesario considerar las emisiones no deseadas que caen dentro del dominio de emisiones no esenciales.

En la Recomendación UIT-R SM.1541 se proporciona una máscara para emisiones fuera de banda en el caso de sistemas del servicio fijo. En el borde del dominio fuera de banda, la atenuación es igual a 40 dBsd. Si se supone que el nivel de la emisión no esencial no rebasa el límite en el borde del dominio fuera de banda, la potencia integrada dentro de la banda del SETS será:

Para separación de canales de 3,5 MHz:

$$-10 \text{ dBW} -10 \log (3,5) -40 + 10 \log (100) = -35 \text{ dB(W/100 MHz)}$$

Para separación de canales de 7 MHz:

$$-10 \text{ dBW} -10 \log (7) -40 + 10 \log (100) = -38 \text{ dB(W/100 MHz)}$$

Para separación de canales de 14 MHz:

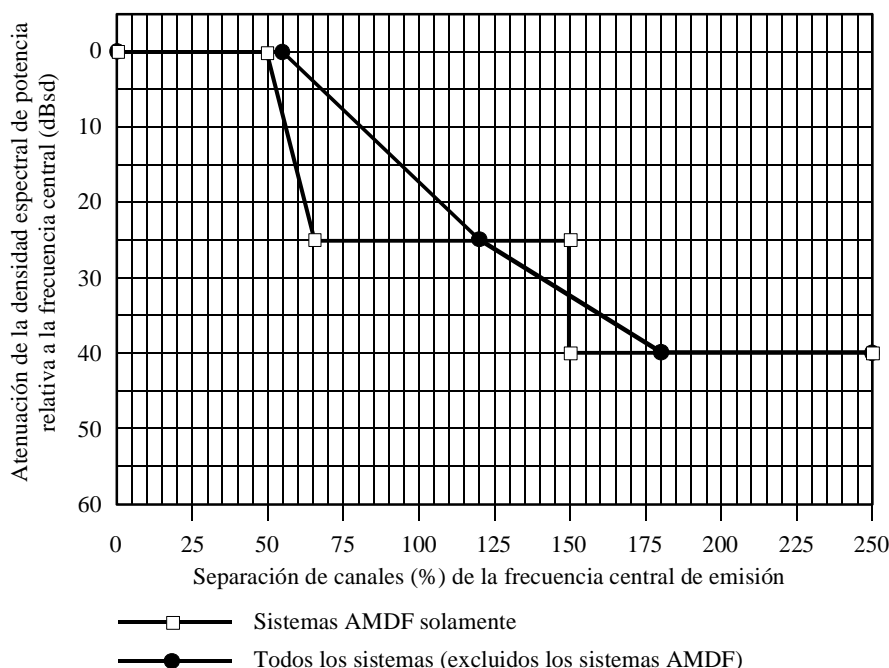
$$-10 \text{ dBW} -10 \log (14) -40 + 10 \log (100) = -41 \text{ dB(W/100 MHz)}$$

En todos estos casos se satisface el criterio de protección al SETS.

#### 4.3.2.1.2 Caso de separación de canales de 28 y 56 MHz

Para emisiones no deseadas que caen en el dominio fuera de banda, se consideran las máscaras fuera de banda que figuran en la Recomendación UIT-R SM.1541.

FIGURA 80  
Máscaras de espectro genéricas para el servicio fijo digital  
que funciona por encima de 30 MHz  
(véase el Cuadro 129)



*Nota* – Las máscaras especificadas se expresan en función del porcentaje de separación de canales. Sin embargo, para sistemas que funcionan en bandas de frecuencias en las que no se establecen disposición de canales de radiofrecuencia, el porcentaje de separación de canales se debe sustituir por el porcentaje de anchura de banda necesaria o, si corresponde, por el «umbral inferior de la anchura de banda necesaria» como se define en la Recomendación UIT-R SM.329. Cuando la anchura de banda necesaria no se especifica se deberá calcular conforme a la Recomendación UIT-R F.1191.

CUADRO 129

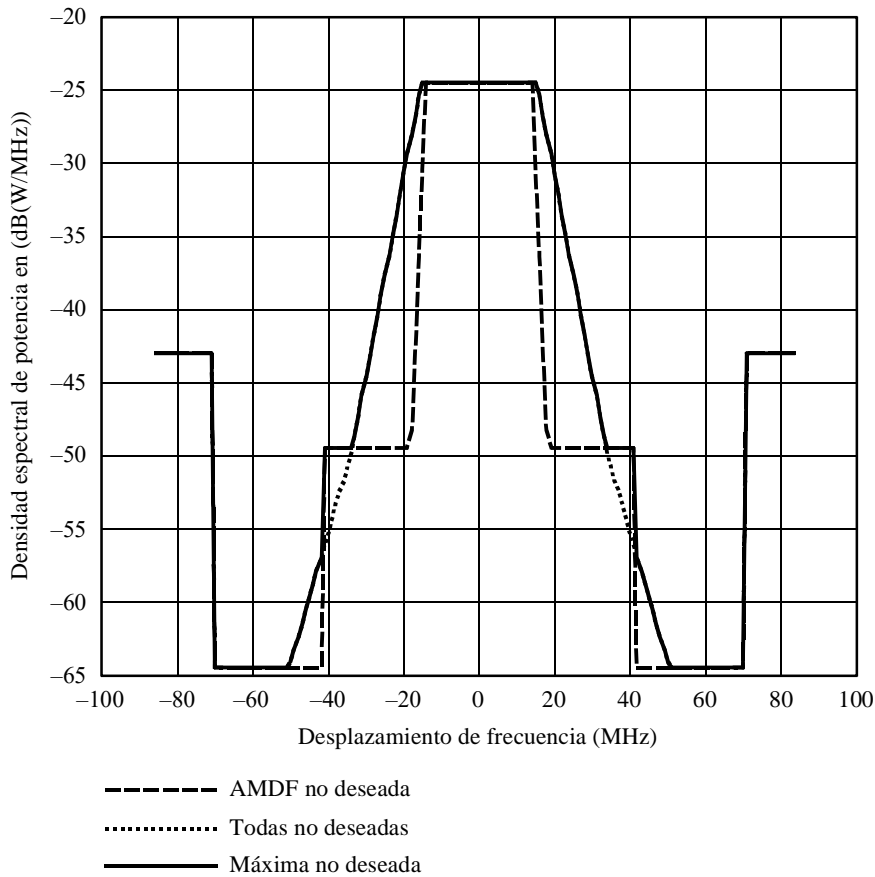
Servicio fijo digital que funciona por encima de 30 MHz  
(véase la Fig. 81)

Todos los sistemas (salvo AMDF)		Sistemas AMDF solamente	
Desplazamiento de frecuencia (% separación de canales)	Atenuación (dBsd)	Desplazamiento de frecuencia (% separación de canales)	Atenuación (dBsd)
0	0	0	0
55	0	50	0
120	25	65	25
180	40	150	25
250	40	150	40
		250	40

En la Fig. 81 se proporciona la máscara de emisión fuera de banda correspondiente.

FIGURA 81

Máscara de emisión fuera de banda para un sistema de separación de canales de 28 MHz



Máscara de emisión no deseada (-10 dBW/28 MHz/ $f_c = 52\ 546$  MHz)



En el siguiente análisis se considera la envolvente de dos máscaras (hipótesis para el caso más desfavorable).

Nuevamente, se puede calcular la potencia que cae dentro de la banda del SETS suponiendo que el nivel de la emisión no esencial no rebasa el límite en el borde del dominio fuera de banda. Los valores obtenidos son:

Para separación de canales de 28 MHz:  $-44,5 \text{ dB(W/100 MHz)}$ .

Para separación de canales de 56 MHz:  $-39,5 \text{ dB(W/100 MHz)}$ .

En todos los casos se satisface el criterio de protección del SETS.

#### **4.3.2.2 Perfeccionamiento del cálculo por medio de la Recomendación UIT-R SM.1541 y los límites de la Categoría B (véase la Recomendación UIT-R SM.329)**

##### **4.3.2.2.1 Caso de separación de canales de 3,5 y 7 MHz**

Se debe señalar que la Recomendación UIT-R F.1496 proporciona la disposición de canales para sistemas que utilizan separación de canales de 3,5 MHz, 7 MHz, 14 MHz, 28 MHz y 56 MHz en esta banda. Esta disposición de canales incluye una banda de guarda de 40 MHz en la banda del servicio fijo.

Esto significa que para separación de canales de 3,5 y 7 MHz, el dominio fuera de banda (que se extiende del 50% al 250% de separación de canales comparado con la frecuencia central de la señal del servicio fijo), se incluirá en la banda de guarda. Por consiguiente, para sistemas que utilizan separación de canales de 3,5 y 7 MHz sólo es necesario considerar las emisiones no deseadas que caen dentro del dominio de emisiones no esenciales.

La Recomendación UIT-R SM.329 brinda información sobre los niveles de las emisiones no deseadas que caen dentro del dominio de emisiones no esenciales, en particular, este análisis considera los niveles adoptados en Europa y utilizados por algunos otros países (niveles de Categoría B).

En el caso de sistemas del servicio fijo que funcionan con una separación de canales menor que 10 MHz, hay una etapa previa antes de alcanzar este valor de  $-60 \text{ dB(W/MHz)}$ . A partir de un desplazamiento de  $2,5 \times$  separación de canales comparado con la frecuencia central a un desplazamiento de 70 MHz, el límite es igual a  $-50 \text{ dB(W/MHz)}$  (o  $-60 \text{ dBW}$  en una anchura de banda de referencia de 100 kHz).

En el caso de sistemas del servicio fijo que funcionan con una separación de canales menor que 10 MHz, para obtener resultados más reales se adopta la hipótesis que hay una disminución lineal entre el punto de  $-50 \text{ dB(W/MHz)}$  en la máscara y el punto correspondiente al nivel de  $-60 \text{ dB(W/MHz)}$ .

La Fig. 82 presenta un ejemplo de la máscara de emisiones no deseadas para un sistema que utiliza una separación de canales de 3,5 MHz.

Se calcula entonces la potencia en el borde de la banda del SETS (52,6 GHz). Esto permite obtener los siguientes valores:

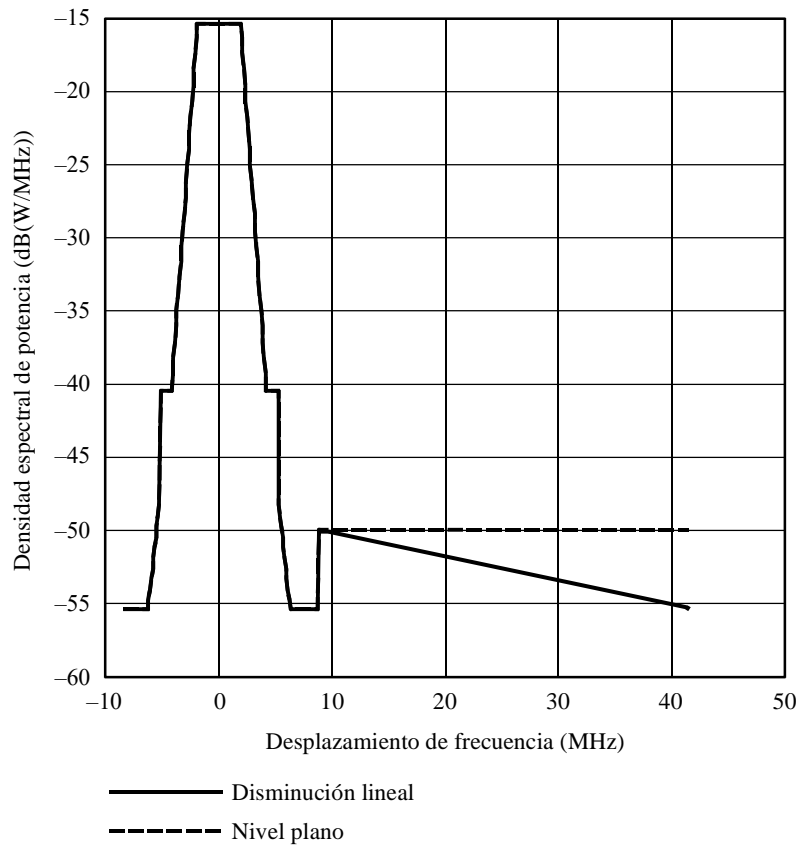
Para separación de canales de 3,5 MHz:  $-55,5 \text{ dB(W/MHz)}$ .

Para separación de canales de 7 MHz:  $-54,5 \text{ dB(W/MHz)}$ .

Estos valores se encuentran por debajo del valor mínimo ( $-53 \text{ dB(W/MHz)}$ ) que figura en los Cuadros 126 y 127. Esto significa que se satisfacen los criterios de interferencia del SETS. Por consiguiente, el margen es mucho mayor dado que la potencia interferente se debe integrar sobre una anchura de banda de referencia de 100 MHz.

FIGURA 82

Nivel de emisiones no deseadas para un sistema que utiliza una separación de canales de 3,5 MHz



Máscara de emisión no deseada ( $-10 \text{ dBW}/3,5 \text{ MHz}/f_c = 52 \text{ 558,25 MHz}$ )

1633-82

#### 4.3.2.2.2 Caso de separación de canales de 14 MHz

Se debe señalar que la Recomendación UIT-R F.1496 proporciona la disposición de canales para sistemas que utilizan separación de canales de 3,5 MHz, 7 MHz, 14 MHz, 28 MHz y 56 MHz en esta banda. Esta disposición de canales incluye una banda de guarda de 40 MHz en la banda del servicio fijo.

Esto significa que para una separación de canales de 14 MHz, el dominio fuera de banda (que se extiende del 50% al 250% de la separación de canales comparada con la frecuencia central de la señal del servicio fijo), se incluirá en la banda de guarda. Por consiguiente, para sistemas que utilizan separación de canales de 3,5 MHz y 7 MHz sólo es necesario considerar las emisiones no deseadas que caen dentro del dominio de emisiones no esenciales.

La Recomendación UIT-R SM.329 brinda información sobre los niveles de las emisiones no esenciales, en particular, este análisis considera los niveles adoptados en Europa y utilizados por algunos otros países (niveles de Categoría B).

En el caso de sistemas del servicio fijo que funcionan con una separación de canales menor que 10 MHz, el límite de emisión no esencial es de  $-60 \text{ dB(W/MHz)}$ .

El nivel de las emisiones no deseadas que caen dentro de una anchura de banda de referencia de 100 MHz se puede calcular directamente mediante la siguiente expresión:

$$P = -60 \text{ dB(W/MHz)} + 10 \times \log (100 \text{ MHz})$$

$$P = -40 \text{ dB(W/100 MHz)}$$

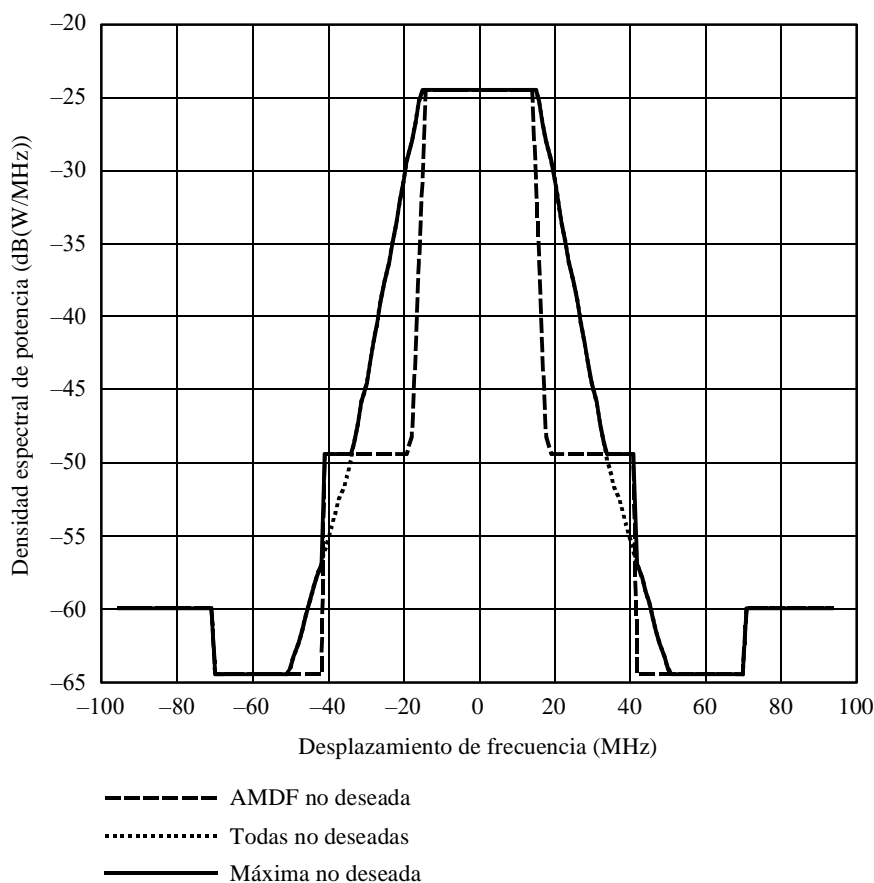
Nuevamente, se satisfacen los criterios de interferencia del SETS (-33 dB(W/MHz)).

### 4.3.2.2.3 Caso de separación de canales de 28 MHz

Para emisiones no deseadas que caen dentro del dominio fuera de banda, se consideran las máscaras fuera de banda que figuran en la Recomendación UIT-R SM.1541 (véase la Fig. 80). Las máscaras de emisiones fuera de banda calculadas conforme a la Recomendación UIT-R SM.1541 se indican en la Fig. 83.

FIGURA 83

Máscara de emisión fuera de banda para un sistema de separación de canales de 28 MHz



Máscara de emisión no deseada (-10 dBW/28 MHz/ $f_c = 52\ 546$  MHz)

1633-83

En el siguiente análisis se considera la envolvente de dos máscaras (hipótesis para el caso más desfavorable).

La Recomendación UIT-R SM.329 brinda información sobre los niveles de las emisiones no esenciales. En particular, este análisis considera los niveles de Categoría B. Para sistemas que funcionan con una separación de canales mayor que 10 MHz, el límite de emisión no esencial es de -60 dB(W/MHz).

Mediante la máscara fuera de banda y el nivel de emisión no esencial indicado en la Recomendación UIT-R SM.329 (Categoría B) es posible calcular el nivel de la emisión no deseada que puede caer en la banda 52,6-52,7 GHz. El valor obtenido para una separación de canales de 28 MHz que funciona a  $-10$  dBW (valor máximo conforme a la Recomendación UIT-R F.758) es de  $-40,5$  dBW en una anchura de banda de referencia de 100 MHz. Por tanto, se satisface el criterio de protección del SETS.

#### **4.3.2.2.4 Caso de separación de canales de 56 MHz**

Se emplea el mismo método que el indicado anteriormente. El valor obtenido para una separación de canales de 56 MHz que funciona en  $-10$  dBW, es de  $-38,7$  dBW en una anchura de banda de referencia de 100 MHz. Por tanto, se satisface el criterio de protección del SETS.

## **5 Técnicas de reducción de la interferencia**

### **5.1 SETS (pasivo)**

No es necesario aplicar ninguna técnica de reducción de la interferencia.

### **5.2 Servicio fijo**

En el diseño de sistemas del servicio fijo no es necesario aplicar técnicas adicionales de reducción de la interferencia.

### **5.3 Repercusiones posibles**

#### **5.3.1 SETS**

Sin repercusiones.

#### **5.3.2 SFS**

Sin repercusiones.

## **6 Resultados de los estudios**

### **6.1 Resumen**

En este Anexo, se mostró que el nivel de emisiones no deseadas de sistemas del servicio fijo que funcionan en la banda 51,4-52,6 GHz satisfacen los criterios de protección del servicio del SETS.

### **6.2 Conclusiones**

El nivel de emisiones no deseadas procedente de sistemas del servicio fijo en la banda 51,4-52,6 GHz pueden alcanzar el valor de  $-33$  dB(W/100 MHz), que asegura la compatibilidad entre los sistemas del SETS y del servicio fijo en 52,6 GHz.

---

