

RECOMENDACIÓN UIT-R M.1141-2*.**

Compartición en la gama de frecuencias 1-3 GHz entre las estaciones espaciales no geostacionarias que operan en el servicio móvil por satélite y las estaciones del servicio fijo

(Cuestiones UIT-R 201/8 y UIT-R 118/9)

(1995-1997-2005)

Cometido

Los niveles de densidad de flujo de potencia (dfp) y la degradación fraccionaria de la calidad de funcionamiento se presentan como los umbrales de coordinación de las asignaciones de frecuencia a los transmisores de las estaciones espaciales no geostacionarias (no OSG) del servicio móvil por satélite (SMS) y las estaciones receptoras del servicio fijo en las bandas de frecuencias compartidas entre estos servicios en la gama de frecuencias 1-3 GHz. En los Anexos se describe la metodología de compartición entre las constelaciones de los transmisores de las estaciones espaciales no OSG y las estaciones fijas receptoras y figura un resumen de los estudios sobre la compartición de frecuencias entre las estaciones fijas transmisoras y los receptores de las estaciones espaciales no OSG.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que existe la necesidad de estudiar los criterios de compartición y coordinación entre los sistemas del servicio móvil por satélite (SMS) y los servicios fijo y móvil;
- b) que las bandas 2 170-2 200 MHz, 2 483,5-2 500 MHz y 2 500-2 535 MHz están atribuidas al SMS (espacio-Tierra) y al servicio fijo a título coprimario;
- c) que las bandas 1 518-1 525 MHz, 1 525-1 530 MHz y 2 160-2 170 MHz están atribuidas al SMS (espacio-Tierra) y al servicio fijo en ciertas regiones o por algunas administraciones, a título coprimario;
- d) que durante varias décadas un gran número de administraciones ha explotado sistemas del servicio fijo en las bandas recientemente atribuidas al SMS;
- e) que en muchos países los organismos de radiodifusión explotan servicios auxiliares con características de sistema fijo y móvil en ciertas bandas compartidas con el SMS;
- f) que habrá que tener presente la calidad de funcionamiento de los sistemas del servicio fijo (analógicos punto a punto, digitales punto a punto y digitales punto a multipunto, incluidos los sistemas de acceso local) al evaluar las situaciones de compartición en la gama de frecuencias 1-3 GHz;

* Esta Recomendación se aplica únicamente a la compartición en el sentido espacio-Tierra. No se han establecido criterios específicos en lo que concierne a la compartición en el sentido Tierra-espacio.

** La revisión de esta Recomendación fue realizada conjuntamente por las Comisiones de Estudio 8 y 9 de Radiocomunicaciones, que también se ocuparán conjuntamente de cualquier futura revisión.

- g) que habrá que tomar en consideración la calidad de funcionamiento de los sistemas no geoestacionarios (no OSG) del SMS a efectos de la compartición en la gama de frecuencias 1-3 GHz;
- h) que un determinado valor de la densidad de flujo de potencia (dfp) producida por distintas constelaciones de satélites no OSG del SMS da lugar a valores diferentes de la degradación fraccionaria de la calidad de funcionamiento (DFC) (véase la Recomendación UIT-R F.1108);
- j) que se han propuesto múltiples sistemas no OSG del SMS con técnicas de acceso múltiple por división de código (AMDC) para compartir el espectro radioeléctrico en el sentido espacio-Tierra en la banda 2 483,5-2 500 MHz, utilizando la misma frecuencia;
- k) que los análisis realizados aplicando la metodología de la Recomendación UIT-R F.1108 indican que es viable la compartición entre los sistemas no OSG del SMS y los sistemas de radioenlaces analógicos en las bandas 2 483,5-2 500 MHz (véase el Anexo 1) y 2 160-2 200 MHz, aun cuando se utilicen valores de dfp más elevados del umbral de coordinación que los señalados en la disposición del número 21.16 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) en la banda 3 400-4 200 MHz;
- l) que los análisis sobre los sistemas de radioenlaces digitales de diseño actual, aplicando la metodología de la Recomendación UIT-R F.1108, indican que los criterios de protección DFC se excederían en la banda 2 483,5-2 500 MHz, si los sistemas no OSG del SMS utilizan los valores de dfp establecidos en el número 21.16 del RR en la banda 3 400-4 200 MHz (véase el Anexo 1);
- m) que la aparición de la interferencia ocasionada por las aplicaciones de los equipos industriales científicos y médicos (ICM) y los transmisores de radiocomunicaciones de red de área local (RLAN) en la banda 2 483,5-2 500 MHz hace que, en muchos países esta banda sea poco interesante para la utilización de sistemas de radioenlace digitales;
- n) que la Recomendación UIT-R F.1246 establece la anchura de banda de referencia de los sistemas del servicio fijo que se utilizará al especificar los niveles del umbral de coordinación,

recomienda

- 1** que se utilicen los criterios expresados en valores DFC para una anchura de banda de referencia de 1 MHz (véase el Cuadro 1) para los valores del umbral de coordinación entre los sistemas no OSG del SMS (espacio-Tierra) y los sistemas digitales del servicio fijo en las bandas precitadas excepto en lo indicado en el § 3 (véase la Nota 2);
- 2** que los criterios expresados como valores de dfp que utilizan anchuras de banda de referencia de 1 MHz, que figuran en el Cuadro 1, y de 4 kHz, que figuran en el Cuadro 2, se utilicen como valores del umbral de coordinación entre sistemas no OSG del SMS (espacio-Tierra) y sistemas analógicos de telefonía del servicio fijo en las bandas mencionadas (véase la Nota 1); en cuanto a los sistemas analógicos para la televisión en el sistema fijo, sólo deben aplicarse los valores de dfp que utilizan una anchura de banda de referencia de 1 MHz, que figuran en el Cuadro 1 (véanse las Notas 1, 3, 4, 5 y 6);
- 3** que para encajar los sistemas no OSG del SMS en la banda 2 483,5-2 500 MHz, puede resultar necesario diseñar y explotar nuevos sistemas de radioenlaces digitales punto a punto y punto a multipunto (P-MP) compatibles con los valores de dfp señalados en el Cuadro 1.

CUADRO 1

Valores del umbral de coordinación para determinadas bandas utilizadas por los sistemas no OSG del SMS (espacio-Tierra) y los sistemas del servicio fijo (dfp para analógicos y DFC para digitales)

Banda de frecuencias (MHz)	dfp por estación espacial y ángulo de llegada, δ (grados) (dB(W/(m ² · MHz)))	DFC (%) (Véase la Nota 2)
1 518-1 525	-128 para $0^\circ \leq \delta < 5^\circ$ -128 + 0,5 ($\delta - 5$) para $5^\circ \leq \delta < 25^\circ$ -118 para $25^\circ \leq \delta < 90^\circ$	25
1 525-1 530	-128 para $0^\circ \leq \delta < 5^\circ$ -128 + 0,5 ($\delta - 5$) para $5^\circ \leq \delta < 25^\circ$ -118 para $25^\circ \leq \delta < 90^\circ$	25
2 160-2 170	-123 para $0^\circ \leq \delta < 5^\circ$ -123 + 0,5 ($\delta - 5$) para $5^\circ \leq \delta < 25^\circ$ -113 para $25^\circ \leq \delta < 90^\circ$ (Véase la Nota 3)	25
2 170-2 200	-123 para $0^\circ \leq \delta < 5^\circ$ -123 + 0,5 ($\delta - 5$) para $5^\circ \leq \delta < 25^\circ$ -113 para $25^\circ \leq \delta < 90^\circ$ (Véase la Nota 3)	25
2 483,5-2 500	-126 para $0^\circ \leq \delta < 5^\circ$ -126 + 0,65 ($\delta - 5$) para $5^\circ \leq \delta < 25^\circ$ -113 para $25^\circ \leq \delta < 90^\circ$ (Véase la Nota 4)	Los valores de la dfp de la columna anterior se aplican a los sistemas de radioenlaces digitales en esta banda (Véase la Nota 4)
2 500-2 535	-128 para $0^\circ \leq \delta < 5^\circ$ -128 + 0,5 ($\delta - 5$) para $5^\circ \leq \delta < 25^\circ$ -118 para $25^\circ \leq \delta < 90^\circ$	25

NOTA 1 – En los casos en que se produzca compartición con sistemas analógicos de telefonía en el servicio fijo, sólo será necesaria una mayor coordinación cuando los valores de la dfp sean superiores o equivalentes a los del umbral de coordinación de los dos Cuadros 1 y 2.

NOTA 2 – El método de cálculo de la DFC de una red del servicio fijo figura en la Recomendación UIT-R F.1108.

NOTA 3 – Los valores de la dfp fijados para la banda 2 160-2 200 MHz proporcionan plena protección a los sistemas radioeléctricos analógicos que utilizan los criterios de compartición establecidos en la Recomendación UIT-R SF.357, para el funcionamiento con un sistema no OSG del SMS que aplique técnicas de acceso múltiple por división en tiempo (AMDT) y de acceso múltiple por distribución de frecuencia (AMDF) de banda estrecha.

NOTA 4 – Los valores de la dfp definidos para la banda 2 483,5-2 500 MHz proporcionan plena protección a los sistemas de radioenlaces analógicos que utilizan los criterios de compartición establecidos en la Recomendación UIT-R SF.357, para el funcionamiento con múltiples sistemas no OSG del SMS que empleen técnicas AMDC (véase el Anexo 1). Los valores de la dfp especificados no proporcionan plena protección a los sistemas fijos digitales existentes en todos los casos. No obstante, se considera que estos valores permiten una protección adecuada de los sistemas fijos digitales diseñados para su explotación en esta banda, cuando se prevea que las aplicaciones ICM de elevada potencia y, posiblemente, de baja potencia, generarán un entorno de interferencia relativamente elevada.

CUADRO 2

Valores de umbral de coordinación para determinadas bandas utilizadas por los sistemas no OSG del SMS (espacio-Tierra) y los sistemas del servicio fijo (sistemas analógicos de telefonía)

Banda de frecuencias (MHz)	dfp por estación espacial y ángulo de llegada, δ (grados) (dB(W/(m ² · kHz)))	
1 518-1 525	-146	para $0^\circ \leq \delta < 5^\circ$
	$-146 + 0,5 (\delta - 5)$	para $5^\circ \leq \delta < 25^\circ$
	-136	para $25^\circ \leq \delta < 90^\circ$
1 525-1 530	-146	para $0^\circ \leq \delta < 5^\circ$
	$-146 + 0,5 (\delta - 5)$	para $5^\circ \leq \delta < 25^\circ$
	-136	para $25^\circ \leq \delta < 90^\circ$
2 160-2 170	-141	para $0^\circ \leq \delta < 5^\circ$
	$-141 + 0,5 (\delta - 5)$	para $5^\circ \leq \delta < 25^\circ$
	-131	para $25^\circ \leq \delta < 90^\circ$
	(Véase la Nota 3)	
2 170-2 200	-141	para $0^\circ \leq \delta < 5^\circ$
	$-141 + 0,5 (\delta - 5)$	para $5^\circ \leq \delta < 25^\circ$
	-131	para $25^\circ \leq \delta < 90^\circ$
	(Véase la Nota 3)	
2 483,5-2 500	-144	para $0^\circ \leq \delta < 5^\circ$
	$-144 + 0,65 (\delta - 5)$	para $5^\circ \leq \delta < 25^\circ$
	-131	para $25^\circ \leq \delta < 90^\circ$
2 500-2 535	-146	para $0^\circ \leq \delta < 5^\circ$
	$-146 + 0,5 (\delta - 5)$	para $5^\circ \leq \delta < 25^\circ$
	-136	para $25^\circ \leq \delta < 90^\circ$

NOTAS 1 a 4 – Véase el Cuadro 1.

NOTA 5 – En base a la Recomendación UIT-R F.1246 relativa a la anchura de banda de referencia, los valores de dfp que figuran en el Cuadro 2 para una anchura de banda de referencia de 4 kHz son 18 dB inferiores a los valores de dfp que figuran en el Cuadro 1 para una anchura de banda de referencia de 1 MHz. Estos valores son adecuados para proteger los sistemas del servicio fijo analógicos de capacidad media y baja (960 canales o menos), como se explica en la Recomendación UIT-R F.1246.

NOTA 6 – El procedimiento consistente en emplear las dos anchuras de banda de referencia de 1 MHz y 4 kHz adoptado en el *recomienda 2* sólo es aplicable a las bandas de frecuencias de la gama de frecuencias 1-3 GHz, compartidas por el SMS y el servicio fijo. Este resultado se basa en el hecho de que los sistemas analógicos del servicio fijo en estas bandas se utilizan generalmente para una capacidad de baja a media de 960 canales o menos. El procedimiento indicado no conviene para otras bandas de frecuencias en las que se utilizan sistemas de radioenlaces analógicos de alta capacidad.

Anexo 1

Metodología de compartición y criterios de interferencia utilizados para determinar los criterios de umbral de coordinación

1 Descripción de la metodología

Los métodos existentes para determinar el umbral de coordinación entre los enlaces descendentes de los sistemas no OSG del SMS y el servicio fijo se basan en la Recomendación UIT-R F.1108. Esta Recomendación ofrece:

- un método para determinar las estadísticas de visibilidad de satélites no OSG desde estaciones terrenales. En este método se toman en consideración los parámetros orbitales del sistema no OSG, el movimiento de la Tierra y los factores geométricos pertinentes. Se trata de un método tan complejo, que requiere un programa informático para calcular las estadísticas de visibilidad;
- un método para relacionar la interferencia con una DFC de las redes digitales del servicio fijo;
- un método para relacionar la interferencia con una degradación de la calidad de funcionamiento de las redes analógicas del servicio fijo.

En el caso del servicio fijo digital, el objetivo de interferencia es una degradación del objetivo de la característica de error (incremento de la interrupción) y se trata de un valor sencillo (por ejemplo, 10%).

Tratándose del servicio fijo analógico, se utiliza un objetivo de interferencia de dos puntos, consistente en un objetivo a largo y a corto plazo.

1.1 Método de simulación

Se utilizó un programa informático para simular la interferencia en la red del servicio fijo procedente de una o varias constelaciones de satélites no OSG que funcionaban en la banda 2 483,5-2 500 MHz. El programa calcula las posiciones orbitales de los satélites en cada instante y la interferencia combinada de todos los satélites visibles desde la estación o estaciones del servicio fijo se determina recurriendo a la ecuación (1):

$$I = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \rho(\delta_{ij}) A_{iso} G(\theta_{ij}) \quad (1)$$

donde:

- i : uno de N satélites visibles
- j : uno de M estaciones en una ruta
- $\rho(\delta_{ij})$: dfp recibida en la estación j del satélite i -ésimo
- δ_{ij} : ángulo de elevación de la estación j con respecto al satélite i -ésimo
- A_{iso} : área de una antena isótropa
= $\lambda^2/4\pi$
- $G(\theta_{ij})$: ganancia de la antena de la estación j -ésima en la dirección del satélite i -ésimo
- θ_{ij} : ángulo entre el vector de puntería de la antena de la estación j -ésima y el vector de distancia entre la estación j -ésima y el satélite i -ésimo.

Puede suponerse que la dfp incidente en la antena receptora de la estación en función del ángulo de elevación se expresa de la siguiente forma:

$$\rho(\delta) = \begin{cases} \rho(5) & \text{para } 0^\circ \leq \delta < 5^\circ & (2a) \\ \frac{\rho(25) - \rho(5)}{20}(\delta - 5) + \rho(5) & \text{para } 5^\circ \leq \delta < 25^\circ & (2b) \\ \rho(25) & \text{para } 25^\circ \leq \delta < 90^\circ & (2c) \end{cases}$$

donde:

δ : ángulo de elevación (grados)

ρ : dfp (dB(W/m²)) en una anchura de banda de referencia

$\rho(5)$: valor de la dfp para $\delta \leq 5^\circ$

$\rho(25)$: valor de la dfp para $\delta \geq 25^\circ$.

Asimismo, a partir de una serie de parámetros del haz del satélite pueden obtenerse los valores conexos de la dfp para varios ángulos de llegada.

La ganancia de antena de la estación del servicio fijo punto a punto se ajusta al diagrama de radiación de antena con un nivel medio de lóbulos laterales que se define en la Nota 6 de la Recomendación UIT-R F.699. Puede recurrirse también a un diagrama de radiación de antena adecuado para sistemas P-MP.

1.2 Sistemas analógicos del servicio fijo

Se supone que hay 51 estaciones analógicas en una ruta centrada en una determinada latitud. En las rutas que tienen una longitud de 2500 km, las estaciones se encuentran espaciadas exactamente 50 km una de otra. El ángulo acimutal de cada estación viene determinado por un ángulo medio y un ángulo variable uniformemente distribuido entre $\pm 12,5^\circ$. En el análisis se toman en consideración ángulos medios que varían entre 10° y 170° en pasos de 20° . Se supone que cada estación utiliza una antena de elevada ganancia apuntada a la próxima estación con un ángulo de elevación de 0° .

El programa calcula las estadísticas de interferencia basándose en la potencia de ruido de interferencia combinada calculada en cada punto muestreado. Las estadísticas de interferencia indican la probabilidad de que la potencia de ruido de interferencia combinada recibida exceda un determinado nivel de interferencia. A continuación, se hace corresponder al intervalo de interferencia con la potencia de ruido de interferencia en un canal de banda de base de 4 kHz mediante la expresión:

$$N_{ch} = \frac{N_T}{k T B} I \quad (3)$$

donde:

N_T : potencia de ruido térmico introducida en un canal de banda de base de 4 kHz en una estación = 25 pW ponderados esféricamente en un punto de nivel relativo cero (pW0p)

k : constante de Boltzmann

T : temperatura de ruido del sistema receptor de la estación

B : anchura de banda de referencia = 4 kHz

I : potencia de ruido de interferencia combinada en la anchura de banda de referencia.

1.3 Sistemas digitales del servicio fijo

Para efectuar el análisis sólo se requiere un receptor digital del servicio fijo, y no los de una ruta completa. La estación del servicio fijo se encuentra ubicada en una determinada latitud y su acimut de puntería varía entre 0° y 180° . Se supone que cada estación utiliza una elevada ganancia de antena para un ángulo de elevación de 0° .

En cada instante el programa calcula la interferencia combinada recibida en la estación del servicio fijo.

A continuación, evalúa dónde termina la DFC (FDP, *fractional degradation of performance*) para la estación digital utilizando la expresión:

$$FDP = \sum_{I_i = \min}^{\max} \frac{I_i f_i}{N_T} \quad (4)$$

donde:

I_i : nivel de potencia de ruido de interferencia

f_i : periodo fraccionario de tiempo en que la potencia interferente es igual a I_i

N_T : nivel de potencia de ruido del sistema receptor de la estación = $k T B$

k : constante de Boltzmann

T : temperatura de ruido efectiva del sistema receptor de la estación

B : anchura de banda de referencia = 1 MHz.

La reducción del margen de desvanecimiento (FML, *fade margin loss*) viene dada por:

$$FML = 10 \log (1 + FDP) \quad \text{dB}$$

Una DFC de un 10% equivale aproximadamente a una reducción del margen de desvanecimiento de 0,4 dB, una DFC de un 25% corresponde a una reducción del margen de desvanecimiento de cerca de 1 dB y una DFC del 100% equivale a una reducción del margen de desvanecimiento de 3 dB.

1.4 Constelaciones múltiples de satélites no OSG

1.4.1 Sistemas analógicos del servicio fijo

Al analizar las repercusiones sobre el servicio fijo ocasionadas por una multiplicidad de constelaciones de satélites no OSG, el programa informático genera la función de densidad de probabilidad (fdp) discreta de la potencia de ruido de interferencia en un canal del servicio fijo para cada sistema no OSG del SMS. En caso de que los intervalos de interferencia sean suficientemente reducidos, la fdp discreta se aproximará en gran medida a la fdp continua de la interferencia en los sistemas de radioenlaces con visibilidad directa procedente de un determinado tipo de sistema no OSG del SMS. Concretamente, la fdp de la potencia interferente, I_j , del sistema j -ésimo no OSG del SMS puede expresarse del siguiente modo:

$$p_j(I_j) \quad (5)$$

El paso siguiente consiste en obtener la fdp de la potencia de ruido de interferencia para dos o más sistemas no OSG del SMS. La fdp de la suma de dos variables aleatorias no correlacionadas puede obtenerse como la convolución de las fdp individuales. En general, si:

$$z = x + y \quad (6)$$

donde x e y son variables aleatorias no correlacionadas, y las fdp de x e y vienen dadas por $p_x(x)$ y $p_y(y)$, con lo que la fdp de z se obtiene mediante la integral de convolución:

$$p_z(z) = \int_{-\infty}^{\infty} p_x(z - y) p_y(y) dy \quad (7)$$

La hipótesis esencial respecto a la integral de convolución es que las variables aleatorias x e y no están correlacionadas. Éste es el caso de los sistemas no OSG del SMS, debido a las diferencias existentes en los parámetros orbitales de los distintos sistemas, aunque esto debe confirmarse. En consecuencia, la integral de convolución puede utilizarse para obtener la fdp de la interferencia total $p(I)$ causada a los sistemas de radioenlaces con visibilidad directa por dos sistemas no OSG j y k del SMS:

$$p(I) = \int_{-\infty}^{\infty} p_j(I - I_k) P_k(I_k) dI_k \quad (8)$$

La ecuación (8) puede aplicarse iterativamente (hasta la convolución n -ésima) con el fin de obtener la fdp de la interferencia total para n sistemas no OSG independientes del SMS.

La función de distribución acumulativa se obtiene utilizando la expresión:

$$P(I > x) = \int_x^{\infty} p(I) dI = \sum_x^{\infty} p(I) \quad (9)$$

donde:

$P(I > x)$: función de densidad acumulada de la potencia interferente en el canal de telefonía

$p(I)$: fdp discreta o continua.

1.4.2 Sistemas digitales del servicio fijo

La DFC, cuyo cálculo se describe en el § 1.3, es igual al primer momento de la potencia interferente normalizada respecto del ruido a la entrada del receptor en la anchura de banda de referencia. Así, pues, la DFC ocasionada por la interferencia procedente de varias constelaciones independientes es la suma de las degradaciones producidas por cada una de esas constelaciones.

En los sistemas digitales se utilizan dos tipos de antena: antenas con simetría circular de ganancia relativamente elevada y antenas de ganancia baja a moderada con ganancia constante en el plano acimutal y un diagrama de directividad en el plano de elevación. Se supone que todos los sistemas de radioenlaces digitales con visibilidad directa y los sistemas de acceso local que utilizan antenas de sector emplean antenas con simetría circular. Se supone que el diagrama de radiación de este tipo de antena se ajusta al diagrama de radiación de antena con nivel medio de lóbulos laterales que se define en la Nota 6 de la Recomendación UIT-R F.699.

2 Resultados

Se han realizado varias simulaciones con computador utilizando una metodología común para determinar los valores de la dfp que garantizan el logro de los objetivos de interferencia pertinentes. En este punto se presentan los resultados de esas simulaciones.

Sistemas analógicos del servicio fijo

Se calcularon los valores de la dfp necesarios para proteger rutas radioeléctricas analógicas de 2 500 km centradas en 15° , 40° y 60° de latitud contra las emisiones de sistemas no OSG del SMS. Estos valores se calcularon en base a combinaciones de tres constelaciones de satélites no OSG del SMS seleccionadas de entre cuatro sistemas representativos.

En el análisis se utilizó un valor de la dfp básico de $-150 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ para ángulos de elevación inferiores a 5° , que aumentaba linealmente hasta $-137 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ a 25° y permanecía en dicho nivel para ángulos de elevación de hasta 90° . Se vio que, con excepción de una o dos rutas principales centradas en latitudes superiores, la combinación $-150/-137 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ proporcionaba a los sistemas de radioenlaces analógicos una protección conforme con los valores de la Recomendación UIT-R SF.357.

Se supuso que los cuatro sistemas no OSG utilizaban técnicas AMDC y que todos ellos se habían diseñado de manera que pudieran compartir la misma frecuencia y proporcionar la misma cobertura.

Sistemas digitales del servicio fijo

Tratándose de sistemas múltiples no OSG del SMS interferentes con una estación punto a punto digital que utiliza una antena receptora de elevada ganancia, se descubrió que la cifra de dfp necesaria para obtener una DFC media del orden de un 10% con crestas no mucho mayores de un 15% a 20% era de $-162 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ para un ángulo de elevación entre 0° y 5° , aumentaba linealmente a $-149 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ para un ángulo de elevación de 25° y permanecía en ese nivel hasta un valor del ángulo de elevación de 90° . Con valores de la dfp suficientes para proteger la explotación de sistemas de radioenlaces punto a punto analógicos, esto es, de $-150 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ aumentando hasta $-137 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$, las estaciones de radioenlaces punto a punto digitales experimentarían una DFC media del orden de 160%, con crestas de un 240% y un 320% y depresiones que podían descender hasta un 80% dependiendo de la latitud de la estación. Una DFC de un 160% equivale a una reducción del margen de protección contra los desvanecimientos de unos 4 dB.

2.1 Tendencias

Basándose en los resultados obtenidos, pueden observarse varias tendencias.

La interferencia recibida puede variar rápidamente con el acimut de puntería del servicio fijo para ciertas constelaciones de satélites no OSG. Las constelaciones con órbitas polares o casi polares también afectan de forma distinta a los diversos acimuts de puntería del servicio fijo, pero en este caso el efecto es mucho menos acentuado.

Las estaciones del servicio fijo situadas en latitudes más elevadas experimentan en general mayor interferencia a lo largo del tiempo que las estaciones del servicio fijo ubicadas en latitudes inferiores. Este efecto es aún más acusado cuando se trata de constelaciones con órbitas polares, aunque, entre otros requisitos reales de explotación, podría resultar necesario desactivar los haces exteriores, debido al solapamiento de coberturas, lo que, a su vez, reduciría el efecto de la interferencia.

Las constelaciones de satélites que funcionan en altitudes más bajas requieren valores de protección del servicio fijo distintos de los que exigen las constelaciones explotadas en altitudes más elevadas.

Como estimación de primer orden, cabe señalar que los niveles de interferencia disminuirán a lo largo del tiempo en proporción inversa al cuadrado de la frecuencia de explotación.

2.2 Conclusiones

Resulta difícil seleccionar un solo esquema de valores de d_{fp} que garantice la no protección del servicio fijo sin penalizar por ello simultáneamente a otras constelaciones de satélites no OSG. La elección de un determinado esquema basado en una constelación puede redundar en una protección inadecuada del servicio fijo, ya que puede darse el caso de que exista otra constelación que, satisfaciendo esos niveles de d_{fp} , sobrepase los objetivos de interferencia del servicio fijo. Dicho de otro modo, dos constelaciones de satélites no OSG distintas pueden funcionar con diferentes esquemas de d_{fp} que protejan del mismo modo al servicio fijo. Lo anterior no se aplica a un esquema obtenido a partir de varias constelaciones de satélites no OSG diseñadas para compartir una misma frecuencia, proporcionar la misma cobertura y utilizar técnicas AMDC.

Se comprobó que la d_{fp} requerida para proteger sistemas analógicos del servicio fijo con circuito ficticio de referencia (CFR) de 2500 km contra emisiones simultáneas de tres constelaciones de satélites no OSG del SMS era de $-150 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ para ángulos de elevación comprendidos entre 0° y 5° , y que aumentaba linealmente hasta $-137 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ para un ángulo de elevación de 25° . La d_{fp} permanecía constante en ese valor para ángulos de elevación superiores a 25° . La interferencia causada al CFR era conforme con los valores establecidos en la Recomendación UIT-R SF.357.

Se determinó que la d_{fp} requerida para garantizar que la DFC (Recomendación UIT-R F.1108) de los sistemas digitales del servicio fijo no rebase un 10% aproximadamente era un requisito más estricto en unos 9 dB a 10 dB que los valores de la d_{fp} necesaria para proteger la calidad de funcionamiento de los sistemas analógicos del servicio fijo. En caso de que se adoptasen esos valores más bajos, se inhibiría la introducción de sistemas no OSG viables del SMS.

Se llegó a la conclusión de que la compartición con estos sistemas se efectuaría más fácilmente, si se fijaran valores de la d_{fp} que, aunque dieran lugar a una DFC por encima del 10%, por ejemplo no penalizaran indebidamente el diseño y explotación de sistemas del servicio fijo o no OSG del SMS en la banda 2483,5-2500 MHz.

Anexo 2

Compartición de bandas de frecuencias en la gama de frecuencias 1-3 GHz entre estaciones transmisoras del servicio fijo y estaciones espaciales no OSG del SMS (Tierra-espacio)

1 Introducción

Se vio la necesidad de realizar estudios sobre el escenario de compartición entre las estaciones de transmisión del servicio fijo y los receptores de las estaciones espaciales no OSG del SMS en las bandas de frecuencias del SMS Tierra-espacio comprendidas entre 1-3 GHz, esto es, 1 610-1 626,5 MHz, 1 668-1 675 MHz, 1970-2010 MHz y 2 655-2 690 MHz. No obstante, los

estudios de compartición efectuados se limitaron a las bandas 1 610-1 626,5 MHz y 1 970-2 010 MHz, ya que dichas bandas son de interés inmediato para la entrada en servicio de los sistemas no OSG del SMS. No se recibieron contribuciones con respecto a otras bandas. Se examinó también un estudio sobre el escenario de compartición específico de los enlaces de dispersión troposférica del servicio fijo con sistemas no OSG del SMS. Además de los estudios de compartición, se examinan las opciones reglamentarias respecto de los sistemas del servicio fijo.

Los estudios de compartición efectuados han demostrado que por regla general, no es posible la explotación cocanal de las estaciones de transmisión del nuevo servicio fijo y los receptores de las estaciones espaciales no OSG del SMS en la banda 1 980-2 010 MHz.

En los estudios de compartición efectuados en la banda 1 610-1 626,5 MHz (véase el número 5.359 del RR) se ha descubierto que la pérdida de capacidad de tráfico puede resultar aceptable en el caso de una densidad del servicio fijo muy baja (por ejemplo, una estación en 230 000 km²).

Una alternativa para mejorar las condiciones de compartición sería reducir considerablemente los límites de la p.i.r.e. admisible fijados en el Artículo 21 del RR para los transmisores del servicio fijo. Esos límites dependen en gran medida de las hipótesis respecto a la densidad de transmisores del nuevo servicio fijo, que se basarían en el supuesto de una elevada densidad del servicio fijo. Esto llevaría a fijar límites muy estrictos a las estaciones del nuevo servicio fijo que no serían prácticos desde el punto de vista de su explotación.

A la vista de lo anterior, no se han establecido criterios específicos para facilitar la compartición desde un punto de vista técnico.

2 Simulación de interferencia entre enlaces del servicio fijo y receptores de satélites del SMS

2.1 Enlaces punto a punto del servicio fijo

En los estudios realizados sobre la interferencia ocasionada por múltiples transmisores típicos del servicio fijo (cerca de 6 000 en todo el mundo) a las estaciones espaciales no OSG del SMS (órbita terrestre media) en la banda 1 980-2 010 MHz se descubrió que se causaría una interferencia inaceptable a los receptores de dichas estaciones espaciales. El criterio objetivo de *C/I* de interferencia equivalente supuesto no se satisfizo durante casi el 100% del tiempo. Basándose en dichos estudios, cabe concluir que la compartición cocanal de los enlaces ascendentes del SMS con los satélites no OSG del SMS en los segmentos de la banda 1 980-2 010 MHz que son o continúan siendo muy utilizados por el servicio fijo no es posible. Hay que señalar que una evaluación preliminar basada en interpolaciones de los datos reales de utilización del servicio fijo en varios países reveló que el número de transmisores punto a punto del servicio fijo podría superar al que se había supuesto en el estudio precitado y se traduciría únicamente en un incremento adicional del nivel de interferencia.

Otros estudios sobre la interferencia ocasionada por múltiples transmisores típicos del servicio fijo (entre 700 y 3 000 en todo el mundo) a los receptores de las estaciones espaciales no OSG del SMS (órbita terrestre baja) en la banda 1 610-1 626,5 MHz revelaron que la pérdida de capacidad de tráfico puede resultar aceptable sólo en el caso de una densidad del servicio fijo muy baja (por ejemplo, una estación en 230 000 km²).

2.2 Enlaces de dispersión troposférica del servicio fijo

En el caso de la compartición entre los sistemas de dispersión troposférica del servicio fijo y los sistemas no OSG del SMS (órbita terrestre media), un estudio puso de manifiesto que la compartición cocanal entre ambos sistemas no sería viable. En el haz principal de un transmisor de

dispersión troposférica que funcione a su potencia de salida máxima, el receptor del satélite SMS podría experimentar niveles de interferencia de hasta 60 dB por encima del límite admisible. En la región del lóbulo lateral siguen excediéndose los niveles de interferencia admisible. Así pues, sería necesario suspender la explotación de tales sistemas, si se desea explotar los no OSG del SMS en porciones de bandas donde funcionan sistemas de dispersión troposférica.

3 Conclusiones

3.1 La explotación en modo cocanal de las estaciones de transmisión del servicio fijo en la banda 1980-2010 MHz ocasionará un nivel de interferencia inaceptable a los receptores de las estaciones espaciales no OSG del SMS.

3.2 Tratándose de sistemas del servicio fijo en la banda 1 610-1 626,5 MHz (número 5.359 del RR), la pérdida de capacidad de tráfico en el caso de un sistema no OSG del SMS podría resultar aceptable únicamente si se registrara una densidad del servicio fijo muy baja (por ejemplo, una estación en 230 000 km²).

3.3 Habida cuenta de las dificultades de compartición antes mencionadas, no se han establecido criterios específicos para facilitar la compartición desde un punto de vista técnico.
