

INFORME UIT-R SF.2046

Determinación de la interferencia potencial, y su posible disminución utilizando técnicas de reducción de la interferencia, entre estaciones terrenas del servicio fijo por satélite que funcionan con satélites no geoestacionarios y estaciones del servicio fijo en la banda 18/19 GHz

(Cuestiones UIT-R 237/4 y UIT-R 206/9)

(2004)

1 Introducción

Se han atribuido e identificado gamas de frecuencias para su utilización por sistemas del SFS OSG y no OSG, en bandas compartidas a título primario con el servicio fijo. La CMR-95/97, a través del número 5.523A del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), adoptó para el SFS no OSG que utiliza las bandas 18,8-19,3 GHz y 28,6-29,1 GHz un conjunto de disposiciones distintas a las disposiciones para el SFS no OSG que emplea bandas diferentes de las indicadas. Este Informe se refiere únicamente a la banda 18,8-19,3 GHz, a la que se denomina banda de 18/19 GHz.

La compartición entre el SFS y el servicio fijo debe tener también en cuenta la repercusión de la instalación de alta densidad propuesta de ambos servicios lo cual exige prestar una atención especial a las distancias de separación requeridas. Tales restricciones podrían perjudicar la utilización de ambos servicios en las mismas zonas; sin embargo, la situación de compartición podría mejorarse utilizando técnicas de reducción de la interferencia.

2 Interferencia causada por un transmisor del servicio fijo a una estación terrena de satélite del SFS no OSG

La progresiva instalación de estaciones del servicio fijo o estaciones terrenas del SFS puede afectar la futura expansión de cualquiera de estos servicios en la misma banda de frecuencias. De acuerdo con ello, los patrones de instalación de estaciones del servicio fijo y de estaciones terrenas del SFS necesarios para la introducción y crecimiento de unos servicios viables tienen una gran influencia a la hora de planificar la compartición de la banda. Los estudios realizados hasta la fecha se han limitado a considerar la interferencia provocada por los transmisores del servicio fijo a las estaciones terrenas del SFS no OSG LEOSAT-1 que funcionan en la banda 18,8-19,3 GHz.

2.1 Criterios de interferencia y metodología

Los cálculos de interferencia fueron realizados por varias administraciones utilizando los parámetros del servicio fijo obtenidos de las bases de datos de su administración.

Los estudios determinísticos suponen una transmisión con visibilidad directa y se basaron en la utilización de un modelo de propagación de pérdidas en el espacio libre más absorción atmosférica. En algunos estudios también se tuvo en cuenta la difracción debida al terreno y a los obstáculos artificiales.

El nivel de interferencia en la estación terrena se calculó para cada uno de los transmisores del servicio fijo registrado en la base de datos y para todos los acimuts en torno a cada uno de estos transmisores. A continuación, las zonas de exclusión resultantes se superpusieron gráficamente en los mapas de algunas zonas metropolitanas importantes. En todos los casos se utilizó la mínima ganancia de antena de la estación terrena (lóbulo posterior) y los cálculos no dependieron de condiciones de propagación anómalas; por consiguiente, se utilizó un criterio de I/N a largo plazo correspondiente a un valor comprendido entre el 6% y el 10% del nivel de ruido térmico.

Este criterio puede exigir más estudios para tener en cuenta los efectos de múltiples transmisores del servicio fijo interfiriendo simultáneamente en la anchura de banda de recepción del terminal de usuario del SFS no OSG. En el caso del sistema LEOSAT-1 se trataría de toda la anchura de banda de recepción de 500 MHz. Cuando se reduce la anchura de banda de recepción del terminal de usuario del SFS no OSG, también disminuye la probabilidad de que múltiples transmisores del servicio fijo interfieran simultáneamente.

Basándose en ciertas hipótesis, algunos estudios estadísticos han evaluado los niveles de densidad espectral de potencia interferente que aparecen en los receptores del SFS, distribuyendo estos terminales en el haz puntual del satélite con respecto a las tasas de penetración supuestas en las diferentes clases de ecos parásitos producidos por el terreno. Durante el procedimiento de cálculo de la interferencia se seleccionó aleatoriamente el emplazamiento del terminal del SFS entre ubicaciones predefinidas de acuerdo con los distintos casos de penetración y teniendo en cuenta las siguientes hipótesis:

- el canal de frecuencia asignada en el enlace descendente del SFS se elige al azar dentro de la banda de frecuencias del servicio fijo con una anchura de banda de acuerdo con una capacidad de transmisión seleccionada aleatoriamente combinando los canales de frecuencia para el terminal del SFS considerado (aunque este estudio supone una anchura de banda variable, tales estudios deben basarse en una anchura de banda fija de 500 MHz en el caso del sistema LEOSAT-1);
- el satélite responsable de la comunicación con la célula/haz puntual del SFS considerado se determina aplicando el criterio de la distancia más corta;
- la antena del terminal del SFS está situada en la cima de los edificios o por encima de la vegetación.

El nivel de potencia recibida del satélite que presta el servicio se calcula de acuerdo con el ángulo de elevación y las condiciones de propagación correspondientes. Todos los transmisores del servicio fijo situados a una distancia del receptor del SFS de hasta 60 km se seleccionan en la banda de frecuencia afectada. El nivel de densidad de potencia interferente resultante se determina combinando las señales de todos los transmisores del servicio fijo considerados.

La relación C/I en el receptor del SFS se evalúa comparando el nivel de potencia interferente con el nivel de potencia recibida del satélite que presta el servicio. El nivel de interferencia puede expresarse también con relación al nivel de ruido del receptor, N . Estos niveles de interferencia se comparan con un nivel de interferencia de referencia de -145 dB(W/MHz) (es decir, un valor I/N de -10 dB). Se han obtenido las distribuciones acumulativas de las relaciones C/I para condiciones de propagación normalizadas (pérdidas rebasadas durante menos del 20% del tiempo) así como para condiciones de lluvia (caso más desfavorable: 0,001% del tiempo) en el trayecto espacio-Tierra.

2.2 Posible aplicación de un proceso de convolución para evaluar la interferencia

Un estudio presentó un posible método para calcular la interferencia causada por los transmisores del servicio fijo a los receptores de las estaciones terrenas del SFS no OSG, basándose en la aplicación de una metodología similar a la que figura en la Recomendación UIT-R S.1323. En dicho método, para tener en cuenta la naturaleza variable en el tiempo de la interferencia se realiza la convolución entre las funciones densidad de probabilidad de la degradación debida a la lluvia y la degradación debida a la interferencia, obtenidas mediante simulación informática, para generar la función densidad de probabilidad de la degradación total.

3 Interferencia potencial causada por transmisores del servicio fijo punto a punto en receptores de estaciones terrenas del SFS no OSG que no utilizan técnicas de reducción de la interferencia

3.1 Interferencia sin técnicas de reducción

3.1.1 Estudios determinísticos

Los transmisores del servicio fijo crean regiones en torno a sí en las cuales puede verse obstaculizado un funcionamiento fiable de los terminales de usuario no OSG debido a un exceso de interferencia. Estas regiones bloqueadas se denominan «zonas de exclusión». Un solo transmisor del servicio fijo punto a punto (en condiciones de cielo despejado y de terreno sin obstáculos) impondrá una zona de exclusión circular en la superficie circundante al mismo (direcciones fuera del eje) y una zona de exclusión elíptica que se extiende a gran distancia a lo largo de su dirección en el eje de transmisión.

3.1.1.1 Resultados de los cálculos suponiendo pérdidas en el espacio libre y ausencia de bloqueo

La Fig. 1 representa un ejemplo de zona de exclusión calculada utilizando los parámetros de un transmisor típico del servicio fijo punto a punto con una antena parabólica de 0,6 m de diámetro. El límite se basa en un criterio conservador de interferencia a largo plazo y procedente de una sola fuente del 6% del ruido del sistema del terminal de usuario no OSG (es decir, $I/N = -12,2$ dB) en condiciones de cielo despejado y terreno sin obstáculos. Los terminales de usuario no OSG deberían situarse fuera de este contorno para garantizar que los niveles de interferencia causada por el transmisor del servicio fijo se mantienen en unos valores aceptablemente bajos. Puede observarse en una ampliación que aparece en la Fig. 2 que el diámetro en la zona de exclusión en torno al terminal puede ser de casi 1 km y la longitud de la zona de exclusión en la dirección de transmisión puede superar los 45 km. Sin embargo, esta distancia y la zona afectada se reducirían utilizando un criterio de interferencia a largo plazo más adecuado del 10%.

FIGURA 1

Ejemplo de zona de exclusión para los terminales normalizados del sistema LEOSAT-1 creada por un transmisor típico del servicio fijo con una antena de 0,6 m de diámetro (suponiendo un criterio de interferencia del 6% para unas condiciones de propagación con pérdidas en el espacio libre)

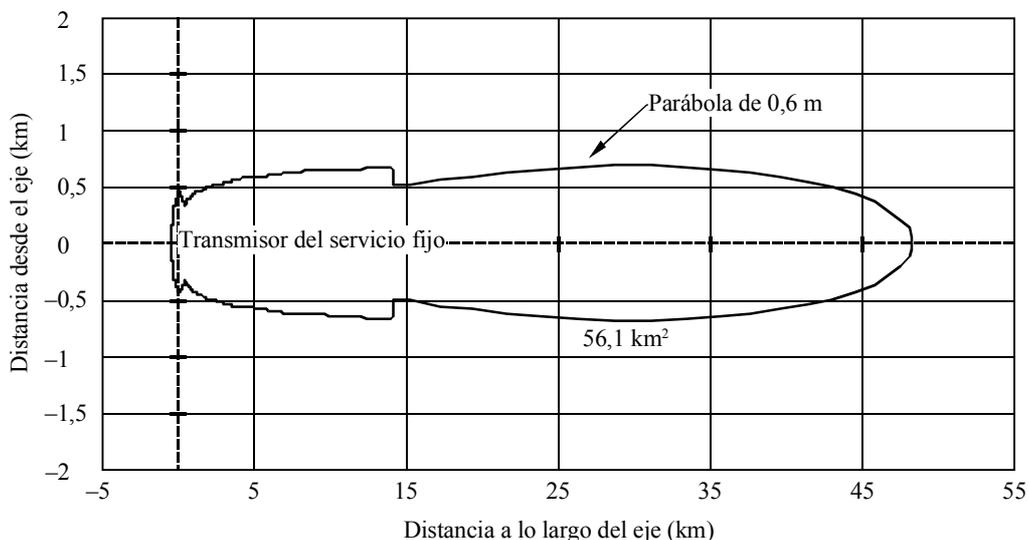
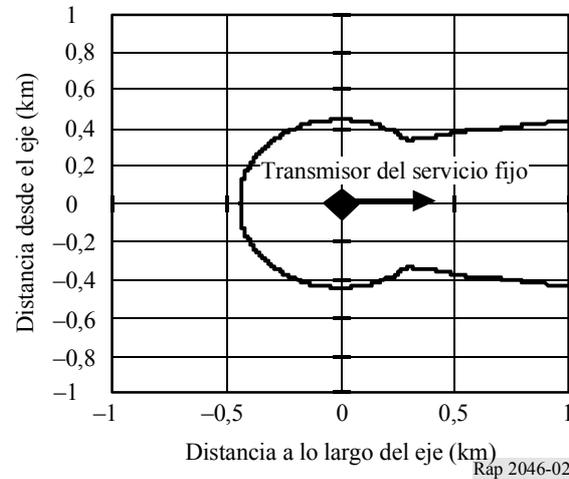


FIGURA 2
Vista ampliada de la Fig. 1



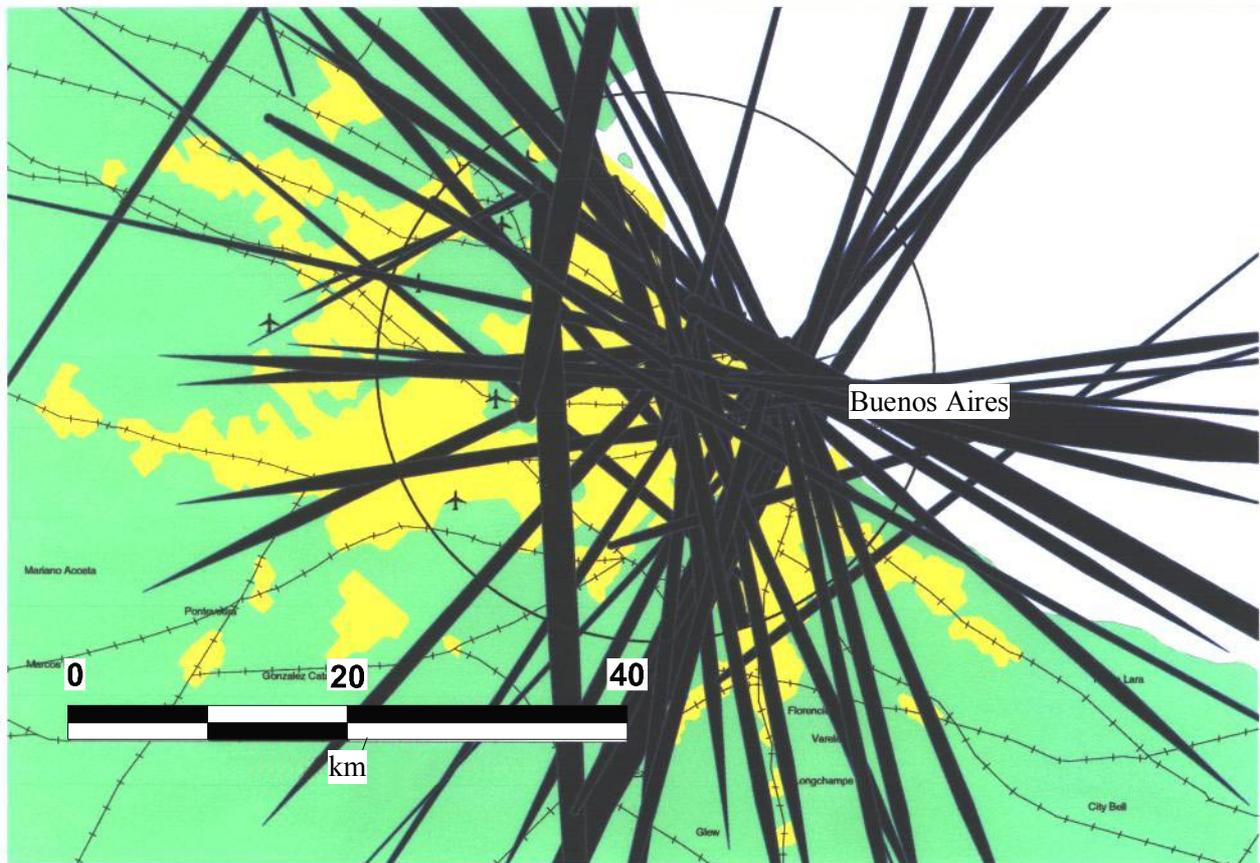
En un estudio se analizaron los efectos de la interferencia provocada por los transmisores del servicio fijo en Canadá a una estación terrena receptora del SFS no OSG en la banda 18,8-19,3 GHz. Los cálculos se efectuaron utilizando una base de datos de los parámetros del servicio fijo obtenida del banco de datos de las estaciones con licencia de Canadá y las zonas de exclusión resultantes se superpusieron gráficamente en los mapas de algunas de las zonas metropolitanas más importantes de Canadá. Los resultados de los cálculos determinísticos de la interferencia demostraron que la zona de exclusión causada por los transmisores del servicio fijo sería muy larga en la dirección principal de transmisión, del orden de 40 a 80 km normalmente, pero muy corta en otras direcciones alejadas de la dirección del haz principal del servicio fijo. En todos los casos, se observó que había una zona significativa en cada ciudad donde sería muy difícil, o quizá imposible, ubicar un terminal del SFS no OSG. De hecho, al calcular el área de la zona de exclusión en un círculo de 40 km de diámetro, representativo de los asentamientos metropolitanos, se puso en evidencia que no se podría disponer del 35%, el 48% y el 47% de la superficie para la instalación de terminales del SFS no OSG en los tres casos estudiados, y en ausencia de bloqueo.

Otro estudio analizó la interferencia que podrían generar transmisores típicos del servicio fijo en terminales de usuario del SFS no OSG cuando funcionan en la misma frecuencia, y en las proximidades geográficas, en la banda 18,8-19,3 GHz. El análisis calculó estas zonas de exclusión utilizando las características reales de los transmisores del servicio fijo contenidas en una base de datos de transmisores del servicio fijo de Argentina.

La Fig. 3 muestra las zonas de exclusión calculadas correspondientes a cada posible transmisor del servicio fijo interferente en la zona metropolitana de Buenos Aires (suponiendo condiciones de cielo despejado y de terreno llano y sin obstáculos). La variación del tamaño entre algunas zonas de exclusión se debe a las diferencias en las características del servicio fijo que figuran en la base de datos, tales como potencia del transmisor y tamaño de la antena. Como zona de referencia se utilizó una región circular de 40 km de diámetro. En la región urbana de alta densidad del servicio fijo, en el 65% de la superficie los terminales del SFS no satisfarían sus objetivos de calidad de funcionamiento y deberían ser excluidos potencialmente del sistema LEOSAT-1 en la banda 18,8-19,3 GHz.

FIGURA 3

Posible zona de exclusión en estaciones terrenas del SFS en la región metropolitana de Buenos Aires debido a los emplazamientos de los terminales del servicio fijo en la banda 18,8-19,3 GHz: la zona de exclusión combinada supone el 65% de la superficie total en un círculo de referencia de 40 km de diámetro



Rap 2046-03

La conclusión de este estudio es que, suponiendo condiciones de propagación en el espacio libre y sin bloqueos, el despliegue de estaciones del servicio fijo en la banda 18,8-19,3 GHz limitaría significativamente la instalación de terminales de usuario del SFS no OSG. Esto es así especialmente en zonas con una alta densidad de estaciones del servicio fijo. A medida que aumenta la densidad de sistemas del servicio fijo se limita más la instalación de terminales de usuario del SFS no OSG.

3.1.1.2 Resultados obtenidos utilizando datos topográficos y un entorno de bloqueo por edificios

Cuando se utilizan bases de datos topográficas en el cálculo de las zonas de exclusión, la superficie cubierta por dichas zonas puede reducirse de forma significativa. En el Cuadro 1 se comparan los casos de dos simulaciones donde las zonas de exclusión corresponden a superficies en las que no se cumple el criterio a largo plazo ($I/N = -10$ dB) y en las que:

- *Caso 1:* El modelo de propagación supone que no hay obstáculos del terreno o artificiales en la línea de visibilidad en torno a cada estación del servicio fijo y se basa en la utilización de las hipótesis de pérdidas en el espacio libre y absorción atmosférica.
- *Caso 2:* El modelo de propagación tiene en cuenta las pérdidas de propagación y la difracción en el terreno así como los obstáculos artificiales, utilizando una base de datos topográfica (los receptores del SFS no OSG están situados 1 m por encima de los techos de los edificios).

CUADRO 1

Comparación de las zonas de exclusión con y sin bloqueo

Simulación	Porcentaje de zona de exclusión con respecto a la superficie total (un cuadrado de 14 km × 14 km centrado en París)
Caso 1 (sin tener en cuenta ningún obstáculo del terreno o artificial)	20,6
Caso 2 (teniendo en cuenta los obstáculos del terreno y artificiales)	5,2

Se han realizado estudios utilizando un programa informático de planificación de radiocomunicaciones que incluyen un modelo digital del terreno y capas de ocupación de la superficie (edificios, población, ...) donde se calculan las superficies en las que el nivel de interferencia causado a los receptores de las estaciones en la superficie rebasa el valor de -97 dBm (10 dB por debajo del ruido del sistema de recepción) con respecto a cualquiera de los enlaces fijos.

Los enlaces fijos que se han tenido en cuenta en este estudio son los que transmiten en la banda 18,8-19,3 GHz y están ubicados en una superficie cuadrada de 14 km de lado alrededor de París (23 enlaces).

3.1.2 Estudios estadísticos

Se han realizado dos estudios estadísticos.

3.1.2.1 Primer estudio estadístico

Se han llevado a cabo simulaciones estadísticas de la interferencia entre los enlaces del servicio fijo reales y planificados y los terminales de usuario del SFS no OSG en 18/19 GHz (sistema LEO-SAT-1) en un cuadrado de 118×118 km centrado en París.

El principio de la metodología utilizada consistió en crear, en una zona estudiada, una red hipotética de terminales de usuario del SFS instalados aleatoriamente y a continuación calcular, para cada terminal de usuario, la interferencia combinada causada por los enlaces de microondas del servicio fijo existentes en esta zona.

Los terminales de usuario del SFS se implantaron en la zona estudiada de acuerdo a las tasas de penetración (estaciones aleatorias/km²) asociadas con cada clase de eco parásito producido por el terreno. Se supuso un valor de la relación C/I requerida de 20 dB.

Al principio de la simulación, se elige el satélite activo con el mayor ángulo de elevación (satélite más próximo) y se mantiene mientras dicho ángulo de elevación sea superior al mínimo (40° en el caso del sistema LEOSAT-1).

Las simulaciones de interferencia consisten en cálculos de la interferencia (C/I) para cada terminal de usuario, teniendo en cuenta la geometría de la constelación (elevación y acimut), las condiciones de propagación Tierra-espacio de acuerdo con la Recomendación UIT-R P.618 (a tal efecto, la atenuación debida a la lluvia y la atenuación por centelleo se asocian a un porcentaje aleatorio para proporcionar, en cada cálculo, la atenuación espacio-Tierra), las pérdidas de propagación de acuerdo con la Recomendación UIT-R P.452 (visibilidad, difracción, dispersión troposférica, incluidos todos los factores estadísticos), las características del enlace de microondas (potencia, acimut, antena, ...) y las características del terminal de usuario (parámetros del receptor, antena, ...). Cada cálculo de la relación C/I recibe el nombre de «muestra» y al final de la simulación se presentan resultados como un gráfico que representa la distribución C/I .

En el Cuadro 2 aparecen los resultados de una simulación con una distribución de terminales del SFS en una zona urbana densa.

CUADRO 2

Resultados de la primera simulación estadística

Simulación	Porcentaje de terminales de usuario del SFS en los cuales $C/I < 20$ dB
Zonas urbanas	1,5

Se observó que debía considerarse un porcentaje de bloqueo más elevado si en este estudio se tuviese en cuenta la anchura de banda del receptor del enlace descendente de 500 MHz, que es la anchura de banda normal para LEOSAT-1.

3.1.2.2 Segundo estudio estadístico

Un estudio particular consideró la compartición entre aplicaciones del servicio fijo y del SFS en la banda 18/19 GHz teniendo en cuenta la fuerte densidad de estaciones del servicio fijo en una zona geográfica. La metodología aplicada difiere de la utilizada en el estudio precedente en el sentido de que incluye la utilización del terreno y el empleo de los parámetros y características más comunes de los sistemas de radiocomunicaciones que emplean la banda 18/19 GHz en el Reino Unido.

3.1.2.2.1 Enfoque

El estudio investigó los efectos que tienen entre sí los enlaces del servicio fijo y las estaciones terrenas afectadas cuando se instalan en la misma banda y en la misma zona geográfica.

Se consideró la reducción de enlaces del servicio fijo que pueden instalarse en una cierta zona de estudio cuando están presentes receptores de sistemas de alta densidad del SFS, pero también se contempló la posible reducción de emplazamientos adecuados para receptores de satélite cuando la banda es intensamente utilizada por enlaces del servicio fijo en una zona definida.

Este estudio utilizó un enfoque que consideraba una instalación desigual de enlaces del servicio fijo y receptores de satélite siendo mayor el número de terminales de satélite que de enlaces del servicio fijo en una zona de 10×10 km de lado en entorno suburbano.

3.1.2.2.2 Parámetros y características de los sistemas simulados**Características del enlace del servicio fijo**

En este estudio se han modelado tres sistemas del servicio fijo con velocidades de 8 Mbit/s, 34 Mbit/s y 155 Mbit/s. Los parámetros del servicio fijo comunes para los tres sistemas se resumen en el Cuadro 3 y los específicos para cada uno de los sistemas se muestran en el Cuadro 4.

CUADRO 3

Características comunes del servicio fijo en los tres sistemas simulados

Parámetro	Valor
Mínima potencia de transmisión requerida	Calculado
Ubicación de la torre y altura de la antena	Como en la base de datos de la torre
Altura de la antena del transmisor	15 m
Ganancia de antena ⁽¹⁾	38,4 dBi
Tamaño de la abertura de la antena	0,6 m
Diagrama de radiación ⁽¹⁾	Conforme al de la Recomendación UIT-R F.699
Polarización	Vertical
Procedimiento de predicción de la interferencia en microondas	Recomendación UIT-R P.452
Pérdida atmosférica	Recomendación UIT-R P.676
Pérdida debida a la lluvia	Recomendación UIT-R P.530 (disponibilidad del 99,999%)

⁽¹⁾ Proporcionada por el fabricante. Se observó que en el Reino Unido muchos enlaces en esta banda utilizan antenas con una ganancia entre 25 y 32 dBi.

CUADRO 4

Características específicas del servicio fijo en los tres sistemas simulados

Parámetro/sistema	Sistema de 8 Mbit/s	Sistema de 34 Mbit/s	Sistema de 155 Mbit/s
Longitud del trayecto	4 km-14 km	4 km-14 km	300 m-6 km
Separación entre canales	10 MHz	27,5 MHz	55 MHz
Anchura de banda en FI del receptor	7 MHz	18 MHz	55 MHz
Modulación	MDP-4	MDP-4	MAQ-32
Umbral C/N ⁽¹⁾	13,5 dB	13,5 dB	23,5 dB
Umbral del receptor ⁽²⁾ (BER = 1×10^{-6})	-119,5 dBW	-105 dBW	-95 dBW

⁽¹⁾ Manual del UIT-R – Sistemas de relevadores radioeléctricos, Ginebra 1996, pág. 153-154, Cuadro 4.2.2-1.

⁽²⁾ Proporcionada por el fabricante. Se observó que en el Reino Unido muchos enlaces en esta banda utilizan antenas con una ganancia entre 25 y 32 dBi.

Parámetros del satélite

Los parámetros del satélite utilizados para llevar a cabo las simulaciones se resumen en el Cuadro 5.

CUADRO 5

Parámetros del SFS

Parámetro	Valor
Gama de frecuencias del enlace descendente	18,8-19,3 GHz
Anchura de banda	500 MHz
Ganancia del lóbulo lateral de la antena	-3,2 dBi
Potencia de ruido del sistema	-117 dBW

3.1.2.2.3 Metodología

El estudio constó de dos etapas principales:

En la primera etapa, la zona estudiada se saturó con enlaces del servicio fijo y los resultados se compararon con los obtenidos si el mismo ejercicio se hubiese llevado a cabo en una zona con un gran número de estaciones terrenas receptoras. De esta forma, es posible evaluar si se maximiza la eficacia espectral mediante el uso compartido del espectro por dos servicios distintos o separando ambos servicios en frecuencia.

En la segunda etapa del estudio, se instaló un gran número de estaciones terrenas receptoras con la hipótesis de enlaces del servicio fijo saturados. A continuación, analizando el número de estaciones terrenas receptoras que no pueden ubicarse se obtuvo una indicación del porcentaje de superficie que experimentaría un nivel de interferencia superior al criterio de evaluación de la interferencia.

Cabe señalar que a efectos de este estudio se utilizaron únicamente cinco de los posibles canales del servicio fijo existentes y que el término saturado se refiere a la saturación de estos cinco canales y no a la situación de saturación real que aparecería si se emplean todos los canales del servicio fijo. Sin embargo, el análisis de I/N se realiza hertzio a hertzio, lo cual se considera equivalente en este análisis a hacer uso de todos los canales del servicio fijo.

En ambas etapas, la superficie de estudio era un cuadrado de 10×10 km de lado.

3.1.2.2.3.1 Instalación de enlaces del servicio fijo en una zona con un denso despliegue de estaciones terrenas receptoras

En esta primera etapa del estudio, el primer paso fue saturar la zona de estudio a fin de calcular cuántos enlaces del servicio fijo podían instalarse en dicha zona en caso de no haber ningún receptor de satélite. El segundo paso consistió en introducir un gran número de estaciones terrenas receptoras y determinar cuántos enlaces del servicio fijo podían instalarse en ese caso. Comparando los resultados de ambos ejercicios puede verse si desde el punto de vista de la eficacia espectral es mejor que las aplicaciones del servicio fijo y de los sistemas de alta densidad del SFS compartan el mismo espectro en la misma zona geográfica o si es más conveniente utilizar una segmentación de la banda para atribuir partes distintas del espectro a cada aplicación.

Saturación de la zona de estudio

En esta primera fase, el usuario define la zona rectangular que va a utilizarse y las características adecuadas de los sistemas de radiocomunicaciones y los datos del terreno se introducen como parámetros de entrada de la simulación. Tras ello se empiezan a ubicar los enlaces seleccionando un emplazamiento aleatorio y determinando cuál de las torres en la zona de estudio presentan visibilidad directa con el emplazamiento elegido. A continuación se intenta ubicar el enlace calculando los niveles de interferencia entre todos los sistemas de radiocomunicaciones de la zona haciendo uso de la Recomendación UIT-R P.452 para todos los cálculos de interferencia. Para ello se intenta situar el enlace entre el emplazamiento aleatorio y la torre con visibilidad directa más próxima, siempre que ésta se encuentre a una distancia de al menos la mínima longitud del trayecto, en cualquiera de los canales disponibles y sin rebasar el criterio de interferencia con los enlaces introducidos previamente. El criterio de interferencia corresponde a un margen de interferencia combinada I/N de -6 dB. Si este proceso falla, se repite con la siguiente torre más próxima. Se considera que apareció un fallo si después de intentar todos los canales disponibles para todas las torres con visibilidad directa, no puede introducirse el enlace y, en ese caso, se elige un nuevo emplazamiento aleatorio. La simulación termina si tras 20 tentativas consecutivas no puede introducirse un enlace en la red.

Una vez finalizada esta fase, se obtiene el máximo número de enlaces del servicio fijo que pueden instalarse en la zona de estudio. Este resultado se comparará con el número de enlaces que pueden instalarse cuando están presentes receptores de satélite.

Introducción de estaciones terrenas receptoras y enlaces del servicio fijo

Para comparar el efecto de la existencia de estaciones terrenas receptoras en una zona de instalación del servicio fijo, en la segunda fase de esta parte del estudio, se introduce un gran número de receptores de satélite en la zona estudiada y a continuación el instrumento de simulación introduce el mayor número posible de enlaces del servicio fijo. En el proceso de emplazamiento de enlaces, no sólo se verifica que el nuevo no resulta interferido por los enlaces del servicio fijo existentes sino que dicho enlace no causa ninguna interferencia a las estaciones terrenas receptoras y enlaces del servicio fijo previamente introducidos. Como en el caso anterior, el criterio de interferencia corresponde a un margen de interferencia combinada I/N de -6 dB.

Este proceso se repite para distintos números de estaciones terrenas receptoras introducidas a fin de observar la evolución del número de enlaces del servicio fijo cuando aumenta la cantidad de estaciones terrenas receptoras.

3.1.2.2.3.2 Instalación de estaciones terrenas receptoras en una hipótesis de saturación de enlaces del servicio fijo

Aunque puede obtenerse la máxima eficacia espectral forzando ambas aplicaciones, servicio fijo y sistemas de alta densidad del SFS, para compartir el mismo espectro, ello puede dar lugar a que en un porcentaje de la zona el nivel de interferencia puede ser superior al margen de interferencia combinada de las estaciones terrenas receptoras.

En este sentido, la metodología descrita en este punto tiene por objeto responder a ese aspecto del debate y determinar qué parte proporcional de una zona de estudio hipotética no será adecuada para la instalación de receptores en un sistema de alta densidad del SFS debido a la interferencia procedente de los enlaces del servicio fijo.

Generación de la zona saturada de enlaces del servicio fijo

En esta etapa de la metodología, se genera una zona saturada de enlaces del servicio fijo de la forma descrita en la metodología anterior. Sin embargo, esta vez el resultado de esa generación se registrará y utilizará para inicializar una simulación donde las estaciones terrenas receptoras se instalarán en la zona saturada de enlaces del servicio fijo.

Introducción de estaciones terrenas receptoras

Una vez generada la zona saturada de enlaces del servicio fijo, la herramienta de simulación informática introduce las estaciones terrenas receptoras. En el proceso de ubicación del receptor de la estación terrena de satélite, cada una de las estaciones terrenas receptoras se introduce únicamente si no resulta interferida por ninguno de los enlaces del servicio fijo. La inserción de nuevas estaciones terrenas receptoras continúa hasta que no pueden introducirse más estaciones de este tipo o su número es muy elevado.

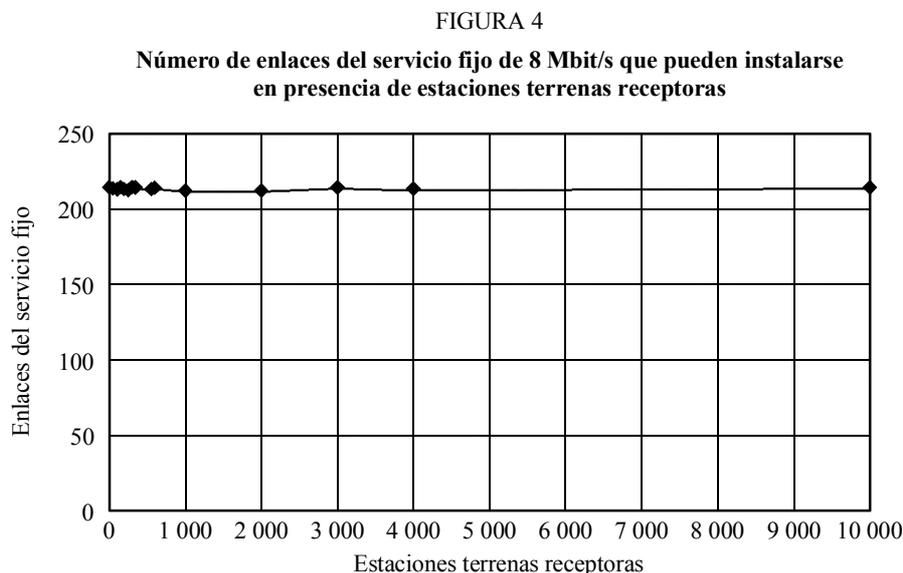
3.1.2.2.4 Resultados

Tras las dos metodologías descritas en los puntos anteriores se llevó a cabo un conjunto de simulaciones cuyos resultados para distintos sistemas del servicio fijo se resumen a continuación.

3.1.2.2.4.1 Instalación de enlaces del servicio fijo tras la instalación de un gran número de estaciones terrenas receptoras

Número de enlaces del servicio fijo de 8 Mbit/s que pueden instalarse en presencia de estaciones terrenas receptoras

En la primera fase de simulación para esta hipótesis, se calculó el máximo número de enlaces del servicio fijo que podían instalarse en la zona de estudio. El resultado del ejercicio fueron 216 enlaces del servicio fijo instalados en un cuadrado de 10 km de lado. En la Fig. 4 puede verse el número de enlaces del servicio fijo que podrían instalarse al aumentar progresivamente el número de estaciones terrenas receptoras.



Rap 2046-04

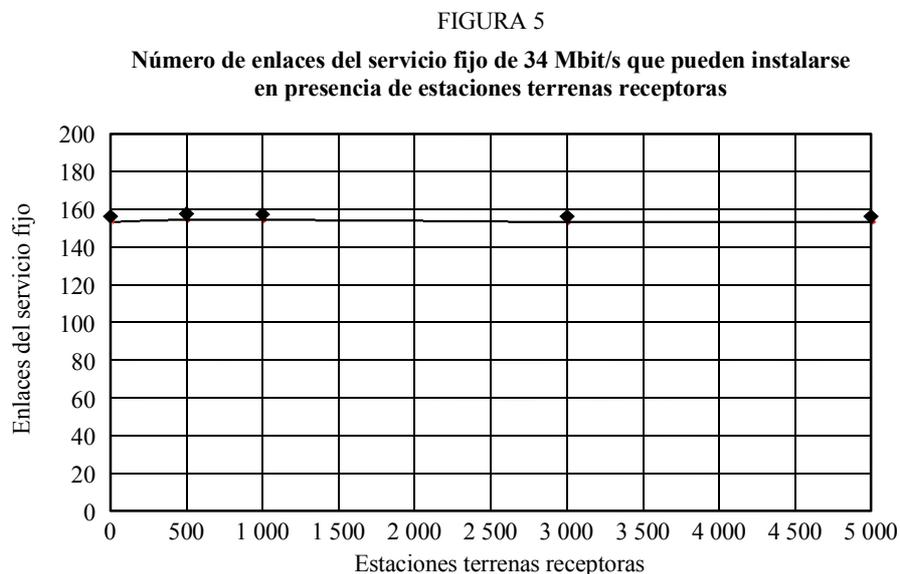
La Fig. 4 muestra que la presencia de receptores de satélite, incluso en concentraciones muy elevadas (hasta 100 receptores de satélite/km²), no afecta la posible instalación de enlaces del servicio fijo de 8 Mbit/s, puesto que las mínimas diferencias entre simulaciones son debidas al efecto aleatorio de la elección de los emplazamientos de los enlaces del servicio fijo. Aunque, debido al largo tiempo de procesamiento requerido, no se simularon instalaciones de receptores de satélite aún más densas, cabe esperar en esos casos los mismos resultados que los obtenidos en el caso de instalaciones de sistemas de alta densidad del SFS.

Estos resultados demuestran que el efecto que tienen las estaciones terrenas receptoras sobre los enlaces del servicio fijo de 8 Mbit/s, así como el efecto que a su vez tienen dichos enlaces sobre las estaciones terrenas receptoras, es despreciable.

Por consiguiente, los resultados ponen en evidencia que la forma más eficaz desde el punto de vista de utilización del espectro de introducir aplicaciones del servicio fijo y de los sistemas de alta densidad del SFS (sistemas de 8 Mbit/s) en partes de la banda 18/19 GHz sería compartir el espectro entre ambos servicios.

Número de enlaces del servicio fijo de 34 Mbit/s que pueden instalarse en presencia de estaciones terrenas receptoras

Tras aplicar la metodología descrita en el caso de 8 Mbit/s, podrían instalarse un total de 156 enlaces del servicio fijo en la zona de estudio si en ésta no hubiese estaciones terrenas receptoras. En la Fig. 5 puede observarse el efecto de la introducción de terminales de sistemas de alta densidad del SFS.



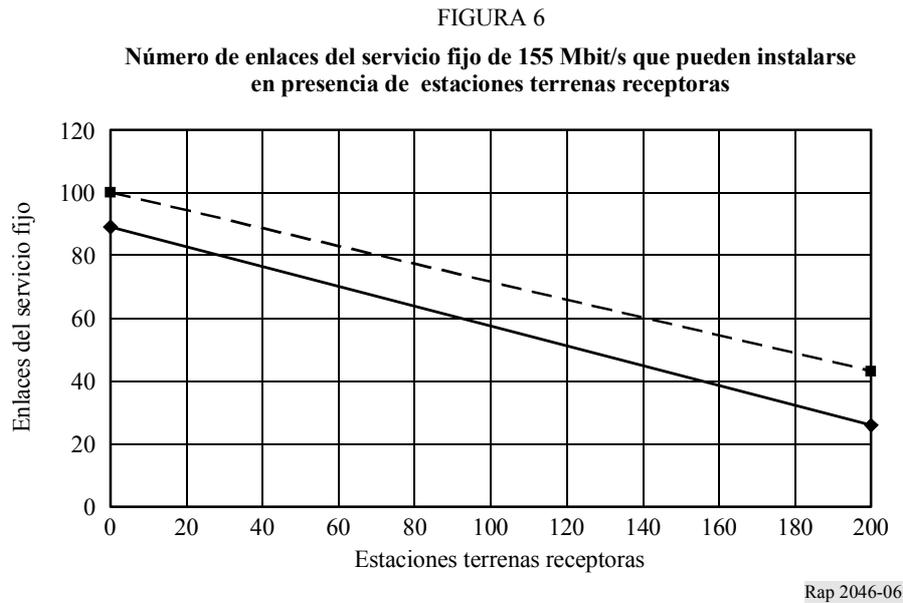
Rap 2046-05

Al igual que en el caso de 8 Mbit/s, la presencia de receptores de satélite en concentraciones muy elevadas no afecta la posible instalación de enlaces del servicio fijo de 34 Mbit/s. Como ya se ha explicado, las mínimas diferencias entre simulaciones son debidas fundamentalmente al efecto de la aleatoriedad cuando se elige el emplazamiento de los enlaces del servicio fijo.

Por consiguiente, estos resultados muestran que la forma más eficaz desde el punto de vista espectral de introducir aplicaciones del servicio fijo y de sistemas de alta densidad del SFS (sistemas de 34 Mbit/s) en partes de la banda 18/19 GHz sería compartir el espectro entre ambos servicios.

Número de enlaces del servicio fijo de 155 Mbit/s que pueden instalarse en presencia de estaciones terrenas receptoras

En este caso, el número de enlaces del servicio fijo que puede instalarse en ausencia de estaciones terrenas receptoras es de 89, como puede verse en la línea continua de la Fig. 6. En estas circunstancias, la presencia de incluso un reducido número de estaciones terrenas receptoras provocará una disminución en el número de enlaces del servicio fijo que podrían instalarse sin provocar interferencia inaceptable a las estaciones terrenas receptoras.



Para mejorar la situación, se incluyó en las simulaciones como técnica de reducción de la interferencia el control automático de potencia de transmisión (CAPT) y puede verse en la línea de puntos de la citada Fig. 6 que, aunque se logró cierta mejora, la presencia de receptores de satélite sigue reduciendo el número de enlaces del servicio fijo que podrían instalarse sin causar interferencia inaceptable a las estaciones terrenas receptoras.

3.1.2.2.4.2 Instalación de estaciones terrenas receptoras en un caso de saturación de enlaces del servicio fijo

Introducción de estaciones terrenas receptoras en una zona saturada de sistemas del servicio fijo de 8 Mbit/s

El análisis de todas las tentativas para ubicar un receptor de satélite y el número de tentativas falladas demuestra que en este caso sólo un porcentaje muy bajo de la zona de estudio total, el 0,35%, rebasaría el límite de interferencia para las estaciones terrenas receptoras.

Esta zona de interferencia muy pequeña sería despreciable y, por consiguiente, sería posible instalar aplicaciones del servicio fijo y de sistemas de alta densidad del SFS en la misma zona geográfica.

Introducción de estaciones terrenas receptoras en una zona saturada de sistemas del servicio fijo de 34 Mbit/s

En este caso, el análisis de los resultados demuestra que en la zona de estudio total, el 35,7% sufrirá interferencia superior al límite aceptable por los receptores de sistemas de alta densidad del SFS si no se aplica CAPT. Sin embargo, cuando se aplica este control, la zona de interferencia se reduce drásticamente hasta un 0,42% del total.

Teniendo en cuenta la disminución significativa de la zona de interferencia cuando se aplica CAPT a fin de reducir la interferencia, puede llegarse a la conclusión de que en la instalación de sistemas de 34 Mbit/s, la compartición cofrecuencia en la misma zona geográfica es la mejor opción para la introducción de aplicaciones del servicio fijo y de sistemas de alta densidad del SFS.

Introducción de estaciones terrenas receptoras en una zona saturada de sistemas del servicio fijo de 155 Mbit/s

Para este tipo de sistemas del servicio fijo, los resultados obtenidos demuestran que cuando no se aplica CAPT, el 60,1% de la zona de estudio total experimentará un nivel de interferencia superior al criterio de interferencia establecido. Sin embargo, si se aplica dicho control, la proporción de la zona de interferencia se reduce al 32,3%.

Esta circunstancia, junto con la mejora de los resultados obtenida en el punto anterior cuando se aplicaba CAPT, confirma la eficacia de esta técnica de reducción de la interferencia para mejorar las condiciones de compartición cuando los sistemas de alta densidad del SFS y los sistemas del servicio fijo utilizan el mismo espectro en la misma zona geográfica.

3.1.2.2.5 Conclusiones de la segunda simulación estadística

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, este estudio llega a la conclusión de que para grandes instalaciones de sistemas del servicio fijo de 8 Mbit/s y 34 Mbit/s y para instalaciones de tamaño medio o bajo de dichos sistemas de servicio fijo de 155 Mbit/s, puede instalarse un gran número de estaciones terrenas de sistemas de alta densidad del SFS en la misma banda dentro de la gama de frecuencias de 18/19 GHz y en la misma zona geográfica, suponiendo que todas las estaciones se coordinan emplazamiento a emplazamiento. Además, el estudio demuestra que sólo en un porcentaje muy pequeño de la zona de instalación sería problemática la introducción de una estación terrena del SFS.

Los resultados también demostraron que para los sistemas del servicio fijo considerados, incluidos los sistemas de 155 Mbit/s en alta concentración, la utilización de CAPT como técnica de reducción de la interferencia mejorará significativamente las condiciones de compartición.

3.2 Resultados sin reducción de la interferencia

Los estudios determinísticos indican que en la banda 18,8-19,3 GHz, un transmisor del servicio fijo podría provocar interferencia inaceptable a los terminales de usuario del SFS no OSG situados en las proximidades de la estación del servicio fijo o en su haz principal, a menos que se aplique alguna técnica de reducción de la interferencia.

Los resultados basándose en condiciones de propagación con pérdidas en el espacio libre pero que utilizan distintas hipótesis (como ecos parásitos en el suelo, tamaño y forma de la zona considerada) demuestran que las zonas de exclusión en las áreas urbanas (Francia, Canadá y Argentina) pueden variar entre el 14% y el 65% cuando no se utilizan técnicas de reducción de la interferencia.

Los estudios demostraron que cuanto mayor sea la densidad de instalación de sistemas del servicio fijo más restrictiva se convierte la ubicación de terminales de usuario del SFS no OSG. Los estudios que no han tenido en cuenta ninguna técnica de reducción de la interferencia ni han considerado el bloqueo debido a los obstáculos del terreno o artificiales indican que el porcentaje de la zona en la cual podrían estar excluidos potencialmente los terminales del SFS no OSG puede ser muy elevado en zonas con una elevada densidad de instalación de sistemas del servicio fijo.

Otros estudios determinísticos demostraron que los ecos parásitos en el suelo y las variaciones del terreno pueden reducir en principio las zonas de exclusión del SFS no OSG un factor significativo. Por ejemplo, el estudio antes mencionado en una zona de 14 km × 14 km alrededor de París puso en evidencia una reducción del 20,6% al 5,2% debido a la consideración de los ecos parásitos producidos en el suelo. El estudio no tuvo en cuenta las reflexiones ni tampoco los posibles efectos de apantallamiento por el terreno y/o la atenuación de las reflexiones.

Un estudio estadístico arrojó números más bajos de terminales de usuario del SFS que sufren interferencia. Aproximadamente el 1,5% (en el caso más realista en que los terminales se encuentran principalmente en zonas urbanas densas) de estas estaciones terrenas receptoras de usuario sufrirían interferencia procedente de los 23 enlaces reales en París y los 53 enlaces del servicio fijo planificados en una célula de 118 km × 118 km centrada en París.

Cabe señalar que un aumento en la instalación de transmisores del servicio fijo en la banda 18,8-19,3 GHz hará cada vez más difícil la introducción de terminales de usuario del SFS no OSG en esta banda.

3.3 Resultados de las mediciones

Para evaluar el efecto de los enlaces fijos sobre las estaciones terrenas del SFS no OSG, un equipo técnico llevó a cabo un grupo de mediciones en distintos emplazamientos de Buenos Aires. Estas mediciones fueron objeto de un estudio teórico.

Las mediciones se realizaron únicamente en el interior de los límites de la ciudad puesto que es la zona más congestionada para los enlaces fijos de microondas. No se incluyeron, pues, los alrededores (el Gran Buenos Aires).

Las mediciones se efectuaron sobre terrazas de edificios de diferentes alturas distribuidas a lo largo de Buenos Aires, con buenas condiciones meteorológicas y situando las estaciones receptoras de forma que se obtuviera despejamiento para ángulos de elevación por encima de 45°.

El procedimiento utilizado consistió en encontrar señales de interferencia mensurables girando la antena en todas las direcciones (360°), registrando su frecuencia, acimut y anchura de banda. A continuación estos valores se compararon con los obtenidos en los cálculos teóricos que se efectuaron utilizando la base de datos del regulador nacional.

Con los resultados para cada medición se realizó una comparación entre la señal de interferencia medida y las calculadas en cada emplazamiento.

- Ocho de los 14 emplazamientos medidos (el 57%) recibió una señal de interferencia que rebasaba el criterio de interferencia de $-99,2$ dBm (basado en el 6% del ruido del terminal del SFS). Este valor corresponde a la medición de la interferencia más elevada en cada emplazamiento.
- La máxima señal de interferencia para todas las mediciones estuvo por debajo (entre 4 dB y 15 dB) del valor teórico calculado.
- En cuatro casos (el 28,5%) la máxima señal de interferencia medida fue causada por reflexiones, lo que demuestra que los edificios pueden provocar tanto bloqueo como reflexiones.
- La interferencia depende en gran medida de la altura a la que se realicen las mediciones. Éstas se realizaron en terrazas situadas entre 3 y 6 m por encima del nivel de la calle y la interferencia detectada fue muy baja o nula, incluso en los casos donde existía un buen despejamiento del terreno alrededor del punto de medición.
- La interferencia también dependía fuertemente del emplazamiento de la estación sobre la propia terraza. En cambio, la posición del receptor puede eliminar parte de la interferencia y, sin embargo, puede provocar que aparezcan otras interferencias.

Puede llegarse a la conclusión de que:

Aunque el número de emplazamientos donde se realizaron las mediciones puede que no sea lo suficientemente elevado como para verificar el porcentaje de la zona de exclusión, la tendencia de dicho porcentaje muestra que la coexistencia entre el servicio fijo y el SFS no OSG no sería posible sin utilizar métodos de reducción de la interferencia en la zona urbana estudiada. No es posible tampoco establecer una comparación directa con los resultados de los estudios estadísticos puesto que las zonas estudiadas eran completamente distintas.

Además, sería necesario llevar a cabo una campaña de mediciones mucho más completa para determinar el entorno de interferencia real en una zona urbana específica.

3.4 Conclusión basada en los estudios realizados sin utilizar técnicas de reducción de la interferencia

Teniendo en cuenta el rápido crecimiento previsto en las instalaciones de sistemas de servicio fijo, las administraciones, tan pronto como sea posible, deben tener en cuenta estos factores a la hora de planificar su espectro nacional. Además, las comunidades del servicio fijo y del SFS deben también tener presente estos factores cuando diseñen sus sistemas.

En resumen, se destacaron los siguientes puntos:

- la instalación por doquier de alguno de los dos servicios o ambos (servicio fijo y SFS no OSG) en la misma banda y en la misma zona geográfica puede ser difícil de acuerdo con los sistemas considerados, a menos que se utilicen técnicas de reducción de la interferencia;
- las administraciones deben tener en cuenta esta circunstancia a la hora de llevar a la práctica sus decisiones sobre el espectro nacional.

4 Análisis de posibles técnicas propuestas para facilitar la compartición

Históricamente, los sistemas del SFS y del servicio fijo punto a punto han compartido las mismas bandas. La coordinación de frecuencias implica un número relativamente escaso tanto de enlaces terrenales como de estaciones terrenas de satélite de gran tamaño y costosas. La coordinación no fue excesivamente complicada para ninguno de los servicios. Actualmente, los desarrollos tecnológicos permiten tanto a los operadores de satélites como a los de servicios terrenales proporcionar servicios destinados a un gran número de usuarios finales.

Ello ha desembocado en la amplia instalación de ambos tipos de servicio con un número de terminales mucho más elevado, por lo que podría ser difícil para estos servicios reducir la interferencia procedente de un número tan elevado de posibles estaciones interferentes. A medida que se llevan a cabo estas instalaciones, la densidad de estaciones transceptoras puede alcanzar rápidamente niveles que harían inviable la compartición de la misma frecuencia. La coordinación de un número cada vez mayor de estaciones del servicio fijo y de terminales de usuario de satélite resulta imposible. La zona de una región donde podrían sufrir interferencia terminales de ambos servicios sería cada vez mayor.

Para abordar este problema, se han propuesto técnicas para facilitar la utilización del espectro de 18/19 GHz por los transmisores del servicio fijo y los terminales receptores del SFS no OSG que funcionan en la banda 18,8-19,3 GHz. En el § 4 se resume la posible eficacia de estas técnicas propuestas y la viabilidad de su implantación.

4.1 CAPT en sistemas del servicio fijo

4.1.1 Posible eficacia de la técnica

La aplicación del CAPT en el servicio fijo se traduce en una disminución de la posible interferencia causada a los receptores del SFS debido al hecho de que la máxima potencia del transmisor del servicio fijo se aplica únicamente durante breves periodos de tiempo. En condiciones de propagación con cielo despejado, se considera que la ventaja teórica es una reducción de potencia del transmisor del servicio fijo entre 9 dB y 15 dB, de acuerdo con la gama de CAPT del servicio fijo.

Esta técnica podría en principio reducir el tamaño de las zonas de exclusión creadas por los transmisores del servicio fijo en condiciones de cielo despejado pero no disminuiría suficientemente dichas zonas para permitir la instalación generalizada de terminales de usuario del SFS no OSG. Cuando el receptor del SFS está situado lejos de la dirección principal de orientación del servicio fijo puede haber casos en que el desvanecimiento debido a la lluvia podría degradar la transmisión

del servicio fijo de manera que exigiese potencia adicional del CAPT, pero dicho desvanecimiento no atenuaría necesariamente la señal en su trayecto desde el transmisor del servicio fijo hasta el terminal de usuario del SFS. También pueden producirse casos opuestos en los que la lluvia que aparece únicamente en el trayecto de interferencia disminuirá el nivel de interferencia sin provocar un aumento de la potencia emitida del servicio fijo.

En condiciones de cielo despejado que representan la interferencia a largo plazo, el CAPT presenta una ventaja directa sobre el nivel de I/N en el receptor del SFS. En condiciones de desvanecimiento debido a la lluvia, dependiendo del emplazamiento relativo del transmisor del servicio fijo, la estación del SFS y la zona de lluvia, puede haber algunos casos en los que la activación del CAPT en el enlace del servicio fijo puede provocar un aumento de la interferencia, en comparación con la que aparece en condiciones de cielo despejado. Pero también hay algunos casos en los que el CAPT no se activará mientras la lluvia se produzca en el trayecto interferente, disminuyendo entonces el nivel de interferencia causada al receptor del SFS. En principio, la zona de interferencia principal de un enlace del servicio fijo se reduce a una región a lo largo del rayo de la antena de transmisión. Por consiguiente, se considera que en la mayoría de los casos las condiciones de propagación hacia una estación del SFS interferidas son bastantes similares a las condiciones en el enlace del servicio fijo. No obstante, los niveles de interferencia en condiciones de desvanecimiento debido a la lluvia serán en cualquier caso inferiores al nivel de interferencia permanente sin utilización de CAPT.

Un estudio que realizaba simulaciones sobre la zona metropolitana de París demostró que la aplicación de CAPT por el servicio fijo disminuye significativamente las zonas de exclusión en torno a los transmisores del servicio fijo (el estudio consideró 23 enlaces de servicio fijo, que actualmente utilizan una gama de CAPT de 9 dB). En el Cuadro 6 figura un resumen de los resultados de este estudio para distintas gamas de CAPT:

CUADRO 6

Efecto del CAPT sobre las zonas de exclusión

	Sin CAPT (%)	Gama de CAPT de 9 dB (%)	Gama de CAPT de 15 dB (%)
Porcentaje de zonas de exclusión en una superficie de 14 × 14 km	5	2,3	1
Porcentaje de zonas de exclusión afectadas en zonas urbanas densas	14	6,5	2,7

Este estudio demuestra que la utilización de CAPT por el servicio fijo es una técnica de reducción de la interferencia que disminuye el tamaño de las zonas de exclusión en torno a los transmisores del servicio fijo.

Las ventajas de esta técnica suponen una realización ideal del bucle de seguimiento del CAPT.

Algunos fabricantes han indicado que el tiempo de respuesta del CAPT es del orden de 20 ms y la velocidad de cambio de al menos 20 dB/s.

4.1.2 Viabilidad de la técnica

Se observó que a la introducción de CAPT aumenta el coste de los equipos.

Debido a los gastos que supone incorporar CAPT puede que este sistema no sea práctico para una utilización en terminales del SF de bajo coste e instalación masiva y omnipresente. Sin embargo, ya hay muchas normas (por ejemplo, las elaboradas por el Instituto Europeo de Normalización de las Telecomunicaciones) que introducen, al menos opcionalmente, el CAPT. Desde el 1 de enero de 2003 el CAPT es obligatorio en esta banda en algunos países europeos. Muchos fabricantes manufacturan equipos con CAPT en esta banda. Sin embargo, la mayoría de los sistemas del SF actualmente instalados no van equipados con CAPT y una mejora del soporte físico existente sería difícil.

La utilización de CAPT provoca que los enlaces del servicio fijo sean más susceptibles a la interferencia procedente de los satélites del SFS y de los sistemas del servicio fijo.

4.2 Asignación dinámica de canales (ADC) en sistemas del SFS

Esta técnica ha sido considerada como una posible técnica de reducción de la interferencia; sin embargo, en los estudios se ha llegado a la conclusión de que aunque es teóricamente posible, la implantación de una ADC no es práctica en la planificación de redes del SFS en la banda 18/19 GHz para estaciones terrenas instaladas en gran número.

4.3 Designación de espectros separado para el servicio fijo y para sistemas del SFS no OSG

Teniendo en cuenta las dificultades relativas a la compartición cofrecuencia entre sistemas del servicio fijo y terminales de usuario del SFS no OSG previstos para ser instalados en gran número en la misma zona geográfica sin la utilización de otras técnicas de reducción de la interferencia, los puntos siguientes estudian la posible eficacia y viabilidad de la designación de espectro separado no superpuesto para dos servicios distintos en la banda 18/19 GHz.

4.3.1 Posible eficacia de esta solución

Desde el punto de vista de prevención de la interferencia, esta solución es eficaz y permite la instalación masiva de terminales del servicio fijo y del SFS no OSG de forma que se eviten los problemas y restricciones que uno o ambos servicios experimentarían en funcionamiento cofrecuencia utilizando técnicas de reducción de la interferencia. No se necesitaría coordinación entre estaciones de los dos servicios y se evitaría el riesgo de que apareciera interferencia si no hay superposición de frecuencias, por lo tanto se facilitaría la instalación de terminales en cualquiera de los servicios. Ello evitaría las cargas administrativas que supone efectuar la coordinación. La designación de espectro separado permite utilizar eficazmente el espectro, proporcionar un servicio de alta calidad a bajo coste independientemente del emplazamiento y ofrecer flexibilidad a los usuarios de todos los sistemas en los servicios afectados, especialmente en casos como el de la banda 18,8-19,3 GHz donde está prevista la instalación de un gran número de terminales. Un inconveniente es que se dispone de menos anchura de banda tanto para el servicio fijo como para el SFS. Sin embargo, en los casos en que no esté prevista una instalación de un gran número de terminales del servicio fijo y del SFS, la designación de espectro separado es una medida que puede no resultar adecuada.

La designación de espectro separado para el servicio fijo y el SFS no OSG debe tener en cuenta el hecho de que la banda 18,8-19,3 GHz (y la correspondiente banda de enlace ascendente 28,6-29,1 GHz) es el único espectro identificado por la UIT que permite que las redes de enlace de servicio del SFS no OSG funcionen sin necesidad de asegurar la plena protección de todo el arco OSG.

4.3.2 Análisis estadístico que considera la repercusión de esta técnica sobre el servicio fijo

Se realizó un estudio estadístico para examinar las ventajas relativas de exigir que los terminales de usuario de los sistemas del SFS de alta densidad coordinen con los terminales del servicio fijo dentro de un determinado país en comparación con el método consistente en evitar dicha coordinación nacional instalando el servicio fijo en espectro no compartido con el SFS de alta densidad e instalando estos sistemas en espectro no atribuido al servicio fijo. La cuestión hipotética que debe considerarse es: «Si los gestores del espectro nacional deben compartir 1 000 MHz de espectro en la banda 18/19 GHz entre sistemas del servicio fijo y del SFS de alta densidad en su país ¿puede obtenerse mayor eficacia en la utilización del espectro exigiendo a los dos tipos de sistemas que compartan toda la banda de 1 000 MHz o atribuyendo 500 MHz a cada sistema sin atribuírselos al otro?»

4.3.2.1 Enfoque

Se realizó un estudio de simulación basado en el siguiente razonamiento algebraico:

1. Si el servicio fijo tenía 1 000 MHz de espectro no atribuido al SFS de alta densidad, el servicio fijo tendría una utilización saturada (es decir, máxima) de $2Y$ enlaces de una determinada anchura de banda.
2. Si la banda de 1 000 MHz se gestionase de tal forma que el servicio fijo funcionase en 500 MHz no atribuidos a sistemas del SFS de alta densidad (y los sistemas del SFS de alta densidad funcionasen en los otros 500 MHz no atribuidos a sistemas del servicio fijo), el servicio fijo tendría una utilización saturada de Y enlaces de la misma anchura de banda que en 1).
3. Sin embargo, si el servicio fijo y el SFS de alta densidad comparten 1 000 MHz de espectro de forma equitativa, el servicio fijo tendría una utilización de $2Y\alpha$ siendo α un factor que no puede ser mayor que 1. Si el valor de α es inferior a 0,5, la utilización del servicio fijo sería inferior a Y y, por lo tanto, sería mucho más conveniente explotar el servicio fijo con la mitad de espectro que no está atribuido a los sistemas del otro tipo. Si el valor de α es superior a 0,5, sería necesario realizar un análisis de la utilización de los sistemas del SFS de alta densidad para determinar el método de compartición que lograría la utilización más eficaz de los 1 000 MHz.

4.3.2.2 Consideraciones sobre el método de simulación

Mediante el método de simulación de Monte Carlo se realizó una estimación del factor de utilización del servicio fijo, α , de la forma siguiente. En primer lugar se efectuó una simulación previa para generar una base de datos sobre la instalación previamente coordinada (dentro del servicio) y saturada del servicio fijo. Ello se logró ubicando de forma aleatoria estaciones del servicio fijo cofrecuencia sujetas a la limitación de interferencia combinada dentro del servicio (para los trayectos de ida y de vuelta) hasta que en la simulación fue casi imposible situar aleatoriamente otra estación del servicio fijo en la misma zona geográfica (de 20 km de diámetro). El entorno saturado se definió como el punto en el que tras 10 000 intentos no se había logrado instalar con éxito un enlace del servicio fijo en un emplazamiento aleatorio con un acimut del haz principal de la antena aleatorio y una longitud del enlace aleatoria, sin quebrantar los criterios de interferencia de esa estación o de otras estaciones. Los criterios de selección se basaron de una relación de interferencia procedente de una sola fuente/ruido de -10 dB y una relación I/N de -6 dB (correspondiente a una degradación de 1 dB en el margen). El resultado de estas simulaciones previas fue un conjunto de instalaciones del servicio fijo saturadas que se utilizaron en los siguientes ejercicios de simulación del servicio fijo/SFS de alta densidad. El procedimiento de simulación para crear muestras de entornos del servicio fijo saturados se ejecutó 2 755 veces obteniéndose una densidad de estaciones media de 49 por cada superficie de 20 km de diámetro ($0,156$ estaciones/km²).

A continuación se utilizó la herramienta de simulación servicio fijo/SFS de alta densidad para ubicar alternativamente terminales del servicio fijo y del SFS de alta densidad hasta que el entorno de servicio doble alcanzase la saturación. Este proceso comienza seleccionando aleatoriamente una estación de una de las bases de datos previas del servicio fijo a fin de iniciar un proceso de Monte Carlo en el servicio fijo/SFS de alta densidad. A continuación, se elige aleatoriamente un emplazamiento del receptor del terminal de usuario SFS de alta densidad y se calcula la interferencia que recibiría procedente del transmisor del servicio fijo. Suponiendo que esta interferencia se encuentra por debajo del criterio de interferencia del receptor del SFS de alta densidad (I/N combinada $< -9,1$ dB), el terminal del SFS de alta densidad se ubica en este emplazamiento y se lleva a cabo el siguiente paso de la simulación. Si se rebasa el umbral de interferencia, la simulación elige aleatoriamente otro emplazamiento para el receptor del SFS de alta densidad hasta que la interferencia se encuentre por debajo del valor umbral.

En el siguiente paso del procedimiento se elige otra estación del servicio fijo sujeta a la limitación de que no debe provocar un rebasamiento del criterio de interferencia combinada en ninguna estación existente del SFS de alta densidad. El proceso de simulación continúa de esta forma ubicando aleatoriamente estaciones del servicio fijo y del SFS de alta densidad alternativamente hasta que la base de datos previa a la simulación del servicio fijo está plenamente instalada o no es posible situar una estación más del servicio fijo. Para cada etapa de ejecución del proceso Monte Carlo del SF/SFS de alta densidad, se calcula el valor de α (factor de utilización del servicio fijo). Este procedimiento se repitió 549 veces para determinar un valor medio de α .

Sin embargo, se ha observado que este estudio no ha utilizado ningún tipo de datos de perfiles topográficos o de edificios ni ha empleado ninguna otra técnica de reducción de la interferencia (por ejemplo, apantallamiento del emplazamiento) que aumente la densidad de instalación, en los cálculos sobre el servicio fijo únicamente y sobre el servicio fijo/SFS de alta densidad compartidos. Sería necesario realizar estudios con técnicas de reducción de la interferencia para determinar si aumenta, disminuye o permanece igual la repercusión sobre la mejora en el factor de utilización del servicio fijo.

Cabe señalar que:

- el estudio utilizó la Recomendación UIT-R S.465 para los diagramas de antena del SFS aunque se sugirió que el empleo de la Recomendación UIT-R S.1428 reduciría la ganancia 1,8 dB;
- la interferencia de canal adyacente del servicio fijo puede tener repercusiones importantes en la instalación de terminales del servicio fijo para canales de banda amplia (por ejemplo, de 55 ó 110 MHz), pero se indicó que ello disminuiría la densidad de instalación posible en los entornos del servicio fijo saturados (sin SFS de alta densidad) y compartidos. Se necesitan más estudios para evaluar la reducción relativa en ambos casos;
- en el entorno compartido, cuando un enlace del servicio fijo no pudo instalarse debido a la interferencia causada en los terminales del SFS, no se hizo ningún intento para encontrar otro enlace de sustitución. Sin embargo, se consideró que cualquier nuevo enlace podría, de hecho, interferir en otros enlaces del servicio fijo en el entorno saturado del servicio fijo y que realizando un número suficiente de ensayos estadísticos los resultados finales convergerían hacia los mismos valores. Son necesarios más estudios para validar esta hipótesis.

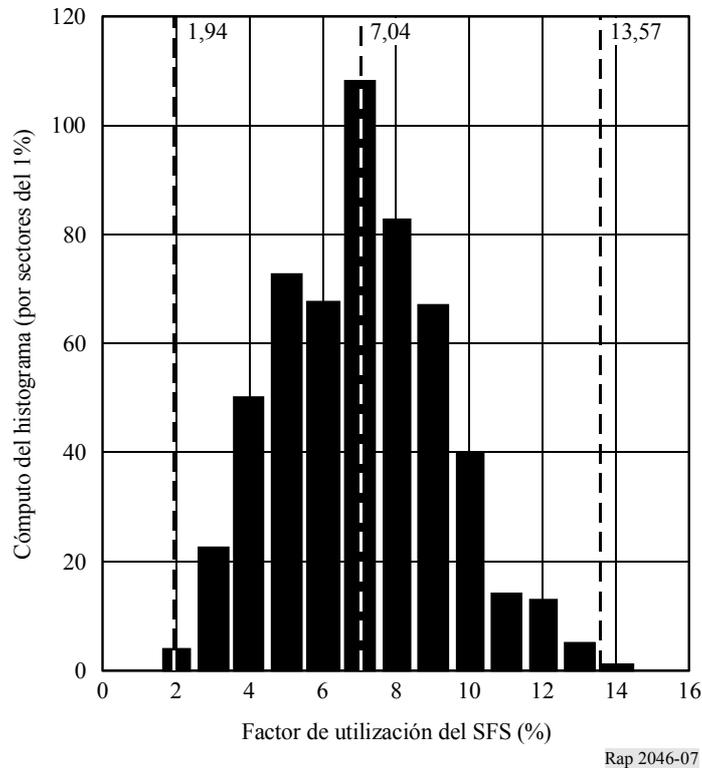
Se sugirió que en este estudio debe evaluarse la eficacia global de utilización del espectro incluidos ambos tipos de sistemas.

4.3.2.3 Resultados

Los resultados del Método de Monte Carlo (es decir, ubicación alternativa del servicio fijo y del SFS de alta densidad) se resumen en el histograma que aparece en la Fig. 7. La altura de cada barra vertical de la Figura indica el número de ejecuciones del Método de Monte Carlo para cada correspondiente factor de utilización del servicio fijo.

FIGURA 7

Resultados de la utilización del servicio fijo para 549 ejecuciones del Método Monte Carlo (Simulando una tasa de instalación igual para el SFS de alta densidad)



Estos resultados indican que, por término medio, la utilización del espectro por parte del servicio fijo lograda cuando toda la banda de 1 000 MHz se comparte de forma equitativa con el SFS de alta densidad es únicamente del 7%. (El porcentaje de utilización del SF más elevado que se obtuvo con una compartición forzada servicio fijo/SFS de alta densidad en todas las ejecuciones del método de Monte Carlo fue menos del 14% mientras que el más bajo fue inferior al 2%.) Por otro lado, si los gestores del espectro de estos mismos 1 000 MHz dan al servicio fijo acceso a 500 MHz libres del SFS de alta densidad, la utilización del espectro del servicio fijo sería del 50% en comparación con la que tendría si el servicio fijo tuviese acceso a toda la banda de 1 000 MHz libre del SFS de alta densidad. Ello representa, por termino medio, un factor de mejora superior a 7 (50% de utilización en comparación con el 7% de utilización) para el servicio fijo con acceso a la mitad del espectro en comparación con el caso en que el espectro no está atribuido al SFS de alta densidad. Estos resultados se resumen en el Cuadro 7.

CUADRO 7

Valores medios del factor de utilización del servicio fijo

	Valor medio del factor de utilización del espectro por parte del servicio fijo, α (con respecto al que se logra con un acceso sin restricciones a los 1 000 MHz)
Acceso del servicio fijo sin limitaciones a 500 MHz (sin sistemas del SFS de alta densidad)	50%
El servicio fijo debe compartir equitativamente con el SFS de alta densidad los 1 000 MHz	7%
Mejora en el factor de utilización del espectro por parte del servicio fijo con acceso sin restricciones a 500 MHz en comparación con el acceso restringido a los 1 000 MHz	7,10 (cociente entre los dos resultados anteriores)

En estudios anteriores, que no tuvieron en cuenta las técnicas de reducción de la interferencia, se demostró que los terminales de usuarios del SFS de alta densidad no son compatibles con las estaciones del servicio fijo que transmiten en la misma frecuencia y en la misma zona geográfica. Por lo tanto, para los sistemas del SFS de alta densidad sería mucho mejor tener acceso a 500 MHz no atribuidos al servicio fijo que la situación en la que se vieran obligados a coordinar a escala nacional la banda de 1 000 MHz con el servicio fijo. Además, los resultados del actual estudio de simulación demuestran que el servicio fijo también lograría una utilización del espectro mucho más elevada si tuviese acceso a 500 MHz libres del SFS de alta densidad en vez de tener que compartir el acceso a la banda completa de 1 000 MHz. Basándose en estos resultados, puede llegarse a la conclusión de que en los países que deseen introducir sistemas del SFS de alta densidad la mejor solución es dejar partes de la banda 18/19 GHz libres del servicio fijo y otras partes de la citada banda de 18/19 GHz libres de sistemas del SFS de alta densidad, en vez de tener que coordinar ambos tipos de sistemas, en caso de que esto sea una opción de la administración. No obstante, hay que indicar que este estudio no tuvo en cuenta los trayectos reales de propagación (con la atenuación debida al terreno y a los obstáculos artificiales) que habrían reducido la mejora indicada en el Cuadro 7. Algunas administraciones no consideran la separación de frecuencias de los sistemas del servicio fijo y del SFS de alta densidad como una opción.

4.3.3 Viabilidad de esta solución

La designación de espectro separado de la banda 18/19 GHz para proporcionar al SFS en forma exclusiva la banda 18,8-19,3 GHz produce una pérdida de espectro del 25% como mínimo para el servicio fijo, en comparación con la utilización sin restricciones de toda la gama de 2 GHz (17,7-19,7 GHz) por este servicio. Cuando se considera el emparejamiento de canal dúplex, esta pérdida podría alcanzar un valor de hasta el 50% a menos que se introdujese un plan de canalización del servicio fijo distinto en la correspondiente banda dúplex. No pueden obtenerse en este caso las ventajas que producen las economías de escala a no ser que se instale un gran número de unidades o haya muchas administraciones que adopten el nuevo plan de canalización. La designación de espectro separado para cada servicio permite a las administraciones que no utilizan actualmente esta banda poder instalar sin restricciones sistemas del SFS no OSG y del servicio fijo.

En los países donde ya hay instalaciones del servicio fijo en esta banda, tales como muchos países europeos, la introducción de esta técnica exigiría la supresión o el reajuste de un número muy elevado de enlaces en la banda 18,8-19,3 GHz y su banda emparejada (que representan la mitad de la banda total) lo cual podría no ser posible debido a la falta de espectro disponible en otras bandas y tendría una gran repercusión desde el punto de vista económico. Cabe indicar que si es necesario desplazar enlaces del servicio fijo a bandas de frecuencias más elevadas (donde las condiciones de propagación son muy distintas (véase el § 4.3.4)), ello daría lugar a longitudes de salto distintas y, por consiguiente, sería necesario rediseñar completamente la estructura de la red.

Los costes de reubicación o reajuste de los actuales sistemas del servicio fijo pueden minimizarse sustituyendo paulatinamente los actuales sistemas a lo largo de cierto periodo de tiempo y país por país, de forma aceptable tanto para el servicio fijo como para el SFS.

Dichos costes de reubicación o reajuste de los futuros sistemas del servicio fijo podrían reducirse al mínimo:

- instalando todos los nuevos sistemas del servicio fijo de conformidad con un nuevo plan de canalización o en otras bandas, evitando a la vez el segmento de banda reservado para los sistemas del SFS no OSG;
- utilizando un nuevo plan de canalización;
- haciendo uso del nuevo plan de canalización al mejorar los sistemas existentes incorporando en ellos equipos más eficaces desde el punto de vista de la utilización del espectro.

4.3.4 Efecto de la lluvia sobre la elección de las bandas para la infraestructura de las redes móviles del servicio fijo

Se ha llevado a cabo un estudio sobre la repercusión de la atenuación debida a la lluvia sobre la elección de las bandas de frecuencias al establecer las redes de la infraestructura del servicio fijo. Calculando el margen en una longitud de salto determinada, se ha demostrado que la banda de 18/19 GHz desempeña el papel de las bandas de 23 GHz y 38 GHz para estas redes de la infraestructura, en particular en el caso de las redes de infraestructura del servicio fijo punto a punto, en zonas geográficas donde se produce una elevada atenuación debida a la lluvia.

El cálculo se basa en la utilización de la Recomendación UIT-R P.530, con una mínima disponibilidad del 99,99%, y de la Recomendación UIT-R P.676. Los sistemas del servicio fijo considerados son punto a punto y sus características se han extraído de la Recomendación UIT-R F.758. En algunos casos se han utilizado las características empleadas por los sistemas actualmente explotados (en Europa o en los Departamentos Franceses de Ultramar).

El margen, M , se calcula de la forma siguiente:

$$M = P_r - P_{r,min} = (G_e \cdot G_r \cdot P_e) / (L_T(p) \cdot FL) - P_{r,min}$$

siendo:

$P_{r,min}$: mínimo nivel en recepción (normalmente para una BER de 1×10^{-6})

$G = G_e = G_r$: ganancia de antena en emisión/recepción

P_e : potencia de entrada de la emisión

$L_T(p)$: pérdidas totales (por lluvia $p\%$, gases, difracción)

FL: pérdidas en el alimentador (totales: en emisión y recepción).

El resultado de la comparación directa entre la gama disponible de longitudes de salto en la banda de 18/19 GHz en la Zona Q y las bandas de 23 GHz y 38 GHz en la Zona E aparece en la Fig. 8 donde se han utilizado las características indicadas en el Cuadro 8.

CUADRO 8

Características de los sistemas del servicio fijo en varias bandas de frecuencias

Frecuencia (GHz)	18/19	23	38
FL (dB)	3	4	4
P_e (dBW)	-5	-5	-5
G (dBi)	45	46	46
$P_{r,min}$ (dBW)	-102,4	-108	-108

Este estudio teórico ha sido confirmado por los datos proporcionados por un operador que instaló una infraestructura del servicio fijo para una red móvil en Francia metropolitana y en los Departamentos franceses de ultramar. Como se puede observar en la Fig. 9, este operador no utiliza las bandas de 23 GHz y de 38 GHz debido a la atenuación causada por la lluvia. La banda de frecuencias más elevada es la de 18/19 GHz.

FIGURA 8

Comparación entre la gama disponible de longitudes de salto en las bandas de 18/19 GHz en la Zona Q y de 23 y 38 GHz en la Zona E

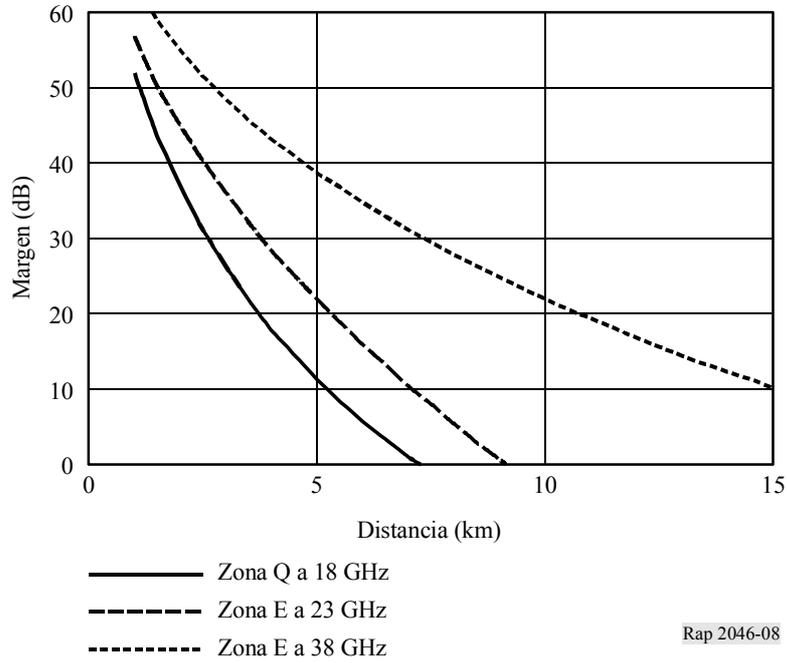
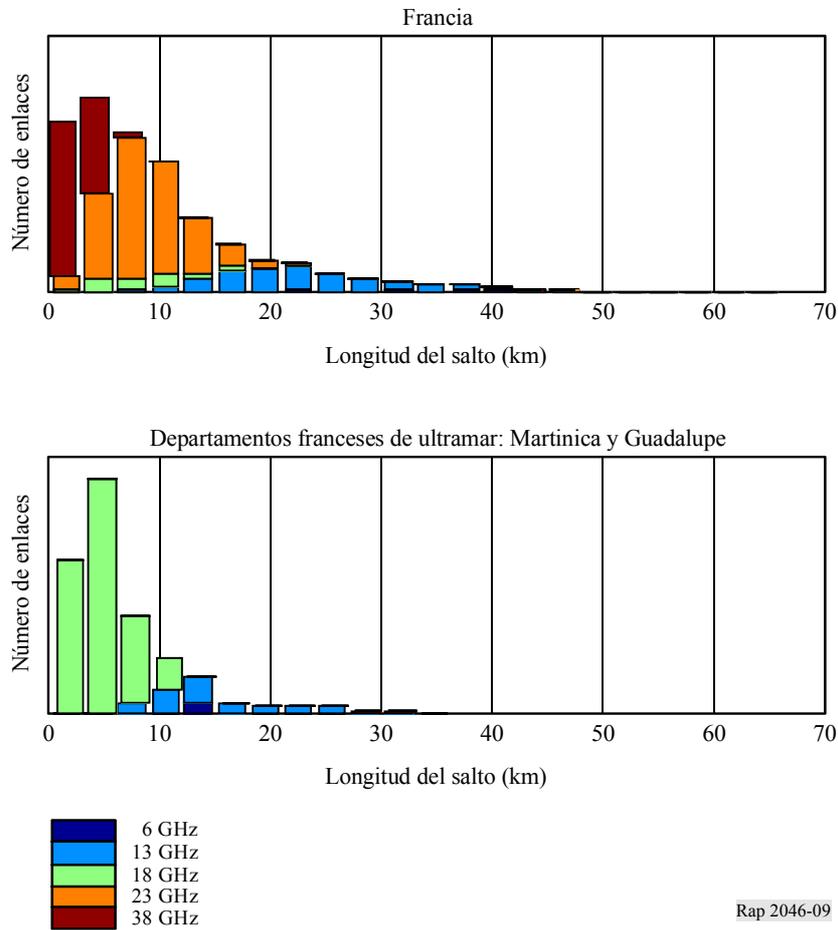


FIGURA 9

Distribución de los enlaces e infraestructura de redes móviles en el territorio metropolitano de Francia y en los Departamentos franceses de ultramar, Martinica y Guadalupe



En consecuencia, este estudio muestra el riesgo que supone no permitir que el servicio fijo utilice toda la banda 17,7-19,7 GHz en caso de una segmentación de la misma.

4.4 Apantallamiento por el terreno y ubicación de la estación del SFS

Como los obstáculos en el trayecto de interferencia desde el transmisor del servicio fijo al receptor del SFS pueden tener un efecto de bloqueo muy significativo de la señal interferente, pueden utilizarse varias técnicas para mejorar la compartición:

- El apantallamiento por el terreno consiste en situar intencionadamente el receptor del SFS en ubicaciones donde cualquier posible interferencia procedente del servicio fijo resulte bloqueada por el entorno circundante.
- La ubicación del emplazamiento consiste en encontrar el lugar óptimo con respecto a la interferencia en la zona disponible para el funcionamiento de la estación del SFS.

4.4.1 Posible eficacia de la técnica

Un análisis de la técnica de reducción de la interferencia mediante apantallamiento por el terreno ha puesto en evidencia que los emplazamientos elevados de los terminales de usuario no OSG que proporcionan un aislamiento significativo contra la señal interferente del servicio fijo tienen como contrapartida una visibilidad extremadamente baja de los satélites no OSG. Los intentos para ubicar el receptor de la antena no OSG en posiciones con plena visibilidad del satélite han dado como resultado la imposibilidad de lograr aislamiento contra la interferencia o una atenuación despreciable de la misma. La conclusión de este análisis es que el apantallamiento por el terreno no es una técnica de reducción de la interferencia viable que asegure la coexistencia del servicio fijo y del SFS no OSG en la banda 18,8-19,3 GHz. Los resultados de una campaña de mediciones han demostrado que la interferencia depende en gran medida del emplazamiento específico de las estaciones del SFS en un terreno elevado.

Con respecto al emplazamiento y ubicación de los terminales del SFS, en los casos en que los obstáculos en el trayecto de interferencia desde el transmisor del servicio fijo hasta el receptor del SFS puedan tener un efecto de bloqueo significativo de la señal interferente principal y en los casos en que la interferencia proceda de la difracción o de la reflexión, la ubicación de los terminales puede mejorar la situación. Por lo tanto, en tal situación, un cuidadoso emplazamiento de la estación del SFS debe considerarse como un método para reducir la interferencia procedente del transmisor del servicio fijo.

4.4.2 Viabilidad de la técnica

En algunos países la legislación impone varias restricciones al emplazamiento de antenas en la parte superior de los edificios. Como ejemplo puede citarse que algunas legislaciones prohíben la ubicación de cualquier equipo (incluso dispositivos de aire acondicionado) que sobresalgan más de 30 cm de la fachada del edificio. Evidentemente, esta situación hace muy difícil utilizar el apantallamiento por el terreno como técnica de reducción de la interferencia. Las tecnologías de apantallamiento por el terreno que permiten bloquear completamente las estaciones del SFS contra cualquier interferencia pueden ser difíciles de aplicar debido a las limitaciones técnicas y a las regulaciones municipales y/o de utilización del territorio.

Como la ubicación se optimiza durante la instalación del terminal del SFS no OSG, su efecto exige un entorno de interferencia estable. En las situaciones en que esta técnica fuese posible, el coste de la instalación podría aumentar debido a la necesidad de analizar el entorno de interferencia. Como consiste simplemente en encontrar el emplazamiento óptimo con respecto a la interferencia en la zona disponible para el funcionamiento de la estación del SFS se trata de una técnica viable que podría presentar ventajas para el SFS.

4.5 Antenas del servicio fijo de alto rendimiento

Las antenas del servicio fijo de alto rendimiento deben tener unas ganancias de lóbulo lateral y lóbulo posterior reducidas.

4.5.1 Posible eficacia de la técnica

Esta técnica podría, en principio, reducir la anchura de las zonas de exclusión creadas por los transmisores del servicio fijo pero no disminuiría necesariamente su longitud, que es la dimensión más significativa de la zona de exclusión típica. Ello probablemente no daría lugar a una mejora significativa en la posibilidad de instalar masivamente terminales de usuario del SFS no OSG, especialmente en zonas donde la densidad de instalación de estaciones del servicio fijo es significativa (por ejemplo, zonas suburbanas) y donde las zonas de exclusión de transmisores múltiples se superponen.

4.5.2 Viabilidad de la técnica

Esta técnica es viable pero no reduce la interferencia de manera significativa.

4.6 Antenas del servicio fijo de alta ganancia

4.6.1 Posible eficacia de esta solución

La utilización de antenas del servicio fijo con ganancias más elevadas permiten reducir la potencia de salida del transmisor del servicio fijo y, por consiguiente, disminuye la superficie de la zona donde los receptores del SFS pueden experimentar interferencia. Duplicando el diámetro de las antenas del transmisor y el receptor del enlace del servicio fijo y, en consecuencia, disminuyendo la potencia del transmisor de manera que no cambie el rendimiento del enlace, se reducirá la superficie de interferencia teórica por un factor de 8, aproximadamente.

4.6.2 Viabilidad de esta solución

Esta técnica es viable para nuevos enlaces del servicio fijo pero el coste para los enlaces del servicio fijo existentes es mucho más elevado. Difícilmente sería posible aumentar demasiado el tamaño de la antena (por ejemplo, a un diámetro de 1,2 m) debido a los límites mecánicos inherentes, tales como la carga del viento y el propio peso de la antena. Además, las antenas más grandes que reciben las señales más débiles serían más susceptibles a la interferencia procedente de los transmisores del satélite.

4.7 Gestión de las asignaciones del servicio fijo en la banda

La instalación de estaciones del servicio fijo podría limitarse en número, banda de frecuencias y/o zonas geográficas para facilitar la compartición con el SFS.

4.7.1 Posible eficacia de esta solución

Restringiendo la instalación de estaciones del servicio fijo se facilitaría evidentemente la introducción de terminales de usuario del SFS pero no disminuirían las cargas inherentes a la coordinación.

4.7.2 Viabilidad de esta solución

Toda restricción en la instalación del servicio fijo puede representar el coste correspondiente.

4.8 Coordinación entre el SFS y el servicio fijo

Esta técnica puede ser eficaz para estaciones terrenas de gran tamaño (de tipo cabecera). Aunque es viable para dichas estaciones terrenas de gran tamaño, no es posible la coordinación en el caso de terminales de usuario de bajo coste y omnipresentes. Las cargas financieras y administrativas que supone realizar la coordinación serían desproporcionadas en comparación con el bajo coste y facilidad de instalación de estos pequeños terminales de usuario. Además, si el usuario cambia de emplazamiento no hay garantía de que un terminal previamente coordinado pueda continuar funcionando sin interferencia en su nuevo emplazamiento.

4.9 Diagramas de antenas del SFS

La interferencia causada por un transmisor del servicio fijo a una estación terrena receptora del SFS normalmente no será nunca de haz principal a haz principal. Por consiguiente, las características del diagrama de la antena del SFS fuera del haz principal y de los primeros lóbulos laterales reviste gran importancia a la hora de estudiar la situación de interferencia. En principio, las antenas de los terminales del SFS de alta ganancia producen unas ganancias de lóbulo lateral menores y, en cualquier caso, los terminales del SFS deben diseñarse considerando la importancia del comportamiento del lóbulo lateral. Sin embargo, el coste de introducir una antena de alta ganancia en un terminal de usuario puede ser muy elevado y puede obstaculizar el objetivo de obtener terminales de usuario de bajo coste para aplicaciones masivas del SFS no OSG.

4.10 Codificación adaptativa

Esta técnica de reducción de la interferencia consiste en aumentar la redundancia de la información transmitida durante un (pequeño) porcentaje de tiempo a fin de compensar una disminución de la disponibilidad del sistema debido a la conjunción de la interferencia y la atenuación debida a la lluvia, cuyo efecto combinado es superior al de la suma del margen de la interferencia externa, M_E , y el margen de lluvia, M_R .

La codificación adaptativa es una técnica que puede utilizarse para compensar las degradaciones variables en el tiempo que se producen en el margen del enlace; por ejemplo, el desvanecimiento. La interferencia causada por el servicio fijo al SFS puede considerarse constante a lo largo del tiempo. En tal situación, el único efecto variable en el tiempo es la atenuación debida a la lluvia. Si la interferencia externa degrada el margen del sistema un valor M_E , una atenuación debida a lluvia superior a M_R provocará una indisponibilidad del servicio. Si el nivel de interferencia rebasa el valor M_E , aumentará el porcentaje de tiempo de indisponibilidad ya que parte del margen de lluvia se utilizará para compensar este nivel de interferencia adicional.

Sin embargo, si el nivel de interferencia rebasa permanentemente el valor $M_R + M_E$, la utilización de la codificación adaptativa puede que no evite la disminución de la velocidad de transmisión de datos durante el 100% del tiempo.

4.10.1 Repercusión de la reducción de la velocidad de transmisión de datos de información

Se han llevado a cabo estudios sobre la repercusión que tiene la utilización de la codificación adaptativa para reducir la interferencia del servicio fijo en la banda 18/19 GHz sobre el comportamiento de los sistemas del SFS y en el Cuadro 9 aparece cuantificada la repercusión de la interferencia del servicio fijo para sistemas del SFS que emplean codificación adaptativa con varios niveles de margen fijo.

CUADRO 9

Influencia de la interferencia del servicio fijo sobre la velocidad de transmisión media y la indisponibilidad del SFS para sistemas del SFS que utilizan codificación adaptativa (margen de 0,5 dB para la interferencia del servicio fijo)

Degradación total debida a la interferencia del servicio fijo (dB)	Margen fijo del SFS de 1 dB Velocidad de transmisión media de 336,9 Mbit/s Indisponibilidad del 0,079%		Margen fijo del SFS de 3 dB Velocidad de transmisión media de 338,3 Mbit/s Indisponibilidad del 0,042%		Margen fijo del SFS de 5,5 dB Velocidad de transmisión media de 338,6 Mbit/s Indisponibilidad del 0,021%	
	Porcentaje de disminución en la velocidad de transmisión del SFS	Indisponibilidad del SFS ⁽¹⁾ (%)	Porcentaje de disminución en la velocidad de transmisión del SFS	Indisponibilidad del SFS y ⁽¹⁾ (%)	Porcentaje de disminución en la velocidad de transmisión del SFS	Indisponibilidad del SFS ⁽¹⁾ (%)
0,5	0,0	0,079	0,0	0,042	0,0	0,021
1,0	0,4	0,087	0,0	0,046	0,0	0,024
1,5	1,8	0,097	0,1	0,049	0,0	0,026
2,0	12,4	0,109	0,1	0,054	0,0	0,027
2,5	21,8	0,122	0,3	0,059	0,0	0,029
3,0	30,3	0,158	0,7	0,071	0,1	0,031
3,5	37,9	0,181	1,9	0,078	0,1	0,036
4,0	44,6	0,210	12,5	0,086	0,1	0,039
4,5	50,6	0,293	22,0	0,107	0,2	0,046
5,0	56,0	0,458	30,4	0,121	0,3	0,050
5,5	60,8	0,556	38,0	0,156	0,6	0,059
6,0	65,1	0,777	44,7	0,179	1,8	0,065
6,5	69,0	1,390	50,7	0,244	12,4	0,079
7,0	73,3	5,012	56,1	0,453	21,9	0,097

⁽¹⁾ Esta indisponibilidad del SFS se calcula con respecto al caso con una interferencia del servicio fijo de 0,5 dB si se utiliza el margen adicional permitido por la codificación adaptativa para aumentar la disponibilidad nominal.

Como se indica en el Cuadro 9, el efecto de una degradación de 0,5 dB de la interferencia del servicio fijo (adicional al margen de 0,5 dB que incorporan los sistemas a tal efecto) aumentará la indisponibilidad de la estación terrena del SFS aproximadamente un 10% independientemente del margen fijo del SFS. El Cuadro también demuestra que si se utiliza un margen fijo de 5,5 dB además de la codificación adaptativa, el sistema del SFS puede hacer frente a una degradación a largo plazo de hasta 6,5 dB debida a la interferencia del servicio fijo, antes de sufrir una influencia significativa en la velocidad de transmisión media del sistema. Sin embargo, cabe señalar que este mismo nivel de interferencia del servicio fijo aumentará la indisponibilidad del SFS (es decir, la indisponibilidad que se produciría si el nivel de interferencia del servicio fijo es el valor atribuido de 0,5 dB) para tal sistema desde el 0,021% hasta el 0,097%.

Además, el Cuadro 9 muestra la influencia de la degradación debida a la interferencia del servicio fijo en un sistema del SFS que utilice 1 dB o 3 dB de margen fijo además de la codificación adaptativa. Para un sistema del SFS con 1 dB de margen fijo, un incremento de 1,5 dB en la degradación debida a la interferencia del servicio fijo provocará una disminución de la velocidad de transmisión media del SFS de un 12%. Un incremento de 2,5 dB en la degradación debida al servicio fijo reducirá dicha velocidad un 22% y un aumento de 5 dB de la degradación debida a la interferencia del servicio fijo disminuirá la velocidad media del SFS un 61%. Hay que indicar, sin embargo, que esta disminución permite al sistema mantener la comunicación entre el satélite y la estación terrena.

Hay que señalar igualmente que para un sistema del SFS un margen fijo de 1 dB junto con una codificación adaptativa (lo que permite una reducción en la velocidad de transmisión de datos hasta el 25%) da lugar a un valor de disponibilidad del 99,92%, coherente con muchos objetivos de disponibilidad del SFS señalados. Cada dB adicional de margen fijo para un sistema del SFS requiere un 25% de incremento de potencia de los amplificadores del satélite, lo que se traduce en un incremento similar de la potencia principal con los consiguientes aumentos en el peso del lanzamiento y en los costes. Sin embargo, un sistema que ya cuente con un margen de desvanecimiento elevado sólo necesitaría tener en cuenta los costes adicionales de implantación de una técnica de codificación adaptativa en su red. Teniendo en cuenta que muchos sistemas del SFS están destinados a proporcionar un servicio mundial y no simplemente un servicio local, los objetivos de diseño de tales sistemas deben, por un lado, tener en cuenta la repercusión que dicho aumento del margen fijo tendría sobre el coste total del sistema y, por otro lado, considerar la mayor oportunidad que tienen de ofrecer servicio a abonados en zonas donde hay una gran densidad de instalación de servicios terrenales, así como la mayor disponibilidad que habría en zonas con instalaciones terrenales muy escasas o inexistentes o en zonas con mayores índices de pluviosidad. En otras palabras, si se establece un margen fijo elevado para un sistema del SFS junto con una codificación adaptativa, dicho sistema del SFS estará sobrediseñado en algunas regiones del mundo donde la instalación del servicio fijo puede no ser demasiado significativa para satisfacer los objetivos de diseño en algunas regiones donde sí hay una importante instalación de sistemas del servicio fijo. Sin embargo, cabe esperar que los sistemas del SFS destinados a dar servicio a todas las regiones del mundo sean diseñados para hacer frente a situaciones en las que el nivel de atenuación debida a la lluvia es elevado en algunas zonas y bajo en otras. En consecuencia, aun suponiendo la ausencia del sistema del servicio fijo, los sistemas del SFS deben diseñarse con un margen de desvanecimiento suficiente.

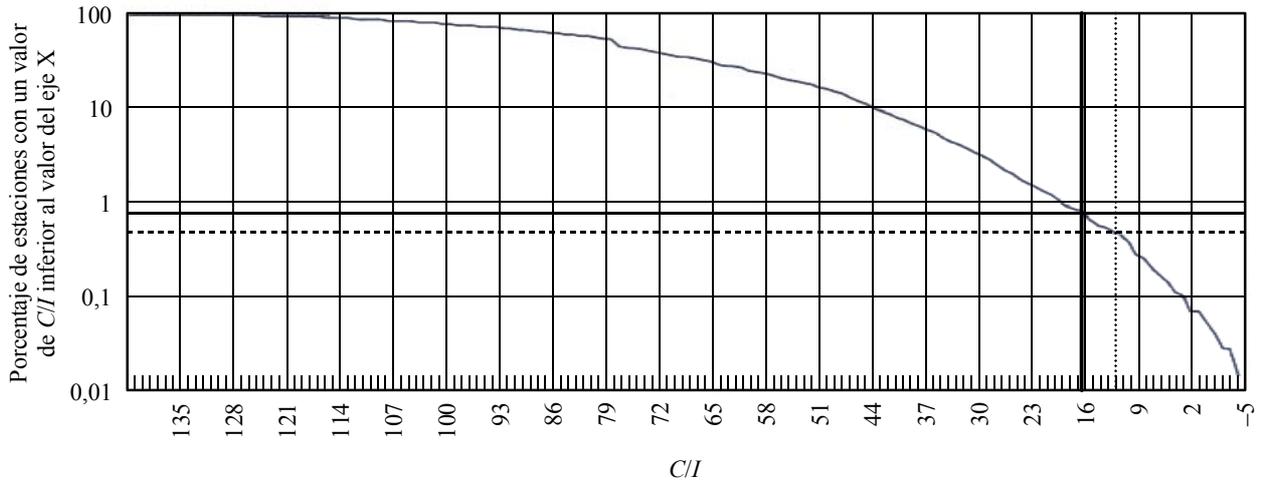
4.10.2 Repercusión de la utilización de la técnica de codificación adaptativa sobre las posibles estaciones terrenales del SFS interferidas

Se llevó a cabo un estudio para cuantificar la mejora obtenida en la compartición entre los terminales del servicio fijo y del SFS cuando el sistema del SFS utiliza codificación adaptativa como técnica de reducción de la interferencia. Este estudio se fundamentó en dos métodos, uno basado en la simulación estadística y otro en un cálculo determinístico.

El estudio estadístico se basó en las mismas hipótesis que las consideradas en el § 3.1.2. Supone un margen de lluvia de 5,5 dB y un margen adicional de 1 dB para el enlace descendente del SFS y considera dos casos. En el primero se supone que la codificación adaptativa puede compensar un margen de degradación de 1 dB y en el segundo este valor es de 3 dB. A partir de estos valores se ha vuelto a calcular la C/I requerida para el sistema del SFS a partir de su valor inicial supuesto de 20 dB. Estos valores son, respectivamente, 16,4 dB y 12,2 dB.

La Fig. 10 representa, para una simulación, el porcentaje de estaciones en las cuales el valor de la relación C/I es inferior al valor que figura en el eje de abscisas.

FIGURA 10

Resultados de los cálculos de C/I en las estaciones terrenas del SFS no OSG

$C/I = 16,4$ dB (línea continua)
 $C/I = 12,2$ dB (línea de puntos)

Rap 2046-10

Los Cuadros 10 y 11 muestran los porcentajes de estaciones con $C/I < 16,4$ dB o $< 12,2$ dB cuando se utiliza codificación adaptativa para distintas simulaciones:

CUADRO 10

Resultados para estaciones terrenas del SFS no OSG que utilizan un margen de 1 dB

Porcentaje de estaciones con $C/I < 16,4$ dB cuando se utiliza codificación	Evolución de número de estaciones con un valor de C/I inferior al necesario con respecto al caso en que no se utiliza codificación adaptativa (%)
0,7	-44
0,8	-33

CUADRO 11

Resultados para estaciones terrenas del SFS no OSG que utilizan un margen de 3 dB

Porcentaje de estaciones con $C/I < 12,2$ dB cuando se utiliza codificación	Evolución de número de estaciones con un valor de C/I inferior al necesario con respecto al caso en que no se utiliza codificación adaptativa (%)
0,085	-93
0,5	-58

La eficacia de la codificación adaptativa en la situación de compartición servicio fijo/SFS es significativa puesto que permite disminuir entre el 33% y el 93% el número de estaciones interferidas, aun cuando este número ya es muy bajo.

El estudio determinístico se basó en las mismas hipótesis que las indicadas en el § 3.1.1.1. En consecuencia, se empleó un modelo de propagación de pérdidas en el espacio libre junto con la atenuación gaseosa añadida y no se consideró ningún bloqueo por parte del terreno.

En estos estudios determinísticos mencionados se consideró un margen de interferencia a largo plazo del 6% del ruido del sistema del terminal de usuario no OSG (es decir $I/N = -12,2$ dB) en condiciones de cielo despejado y sin obstáculos del terreno. Ello corresponde a un máximo nivel de interferencia en el receptor del SFS de $-99,2$ dBm para un ruido del receptor de -87 dBm (suponiendo una anchura de banda de 500 MHz).

Un valor de I/N de $-12,2$ dB corresponde a un posible margen de degradación de 0,25 dB al cual (como se ha explicado anteriormente) se añade el posible margen de degradación autorizado por la utilización de la codificación adaptativa. En el Cuadro 12 aparece el máximo valor de interferencia de acuerdo con este margen de degradación añadido.

CUADRO 12

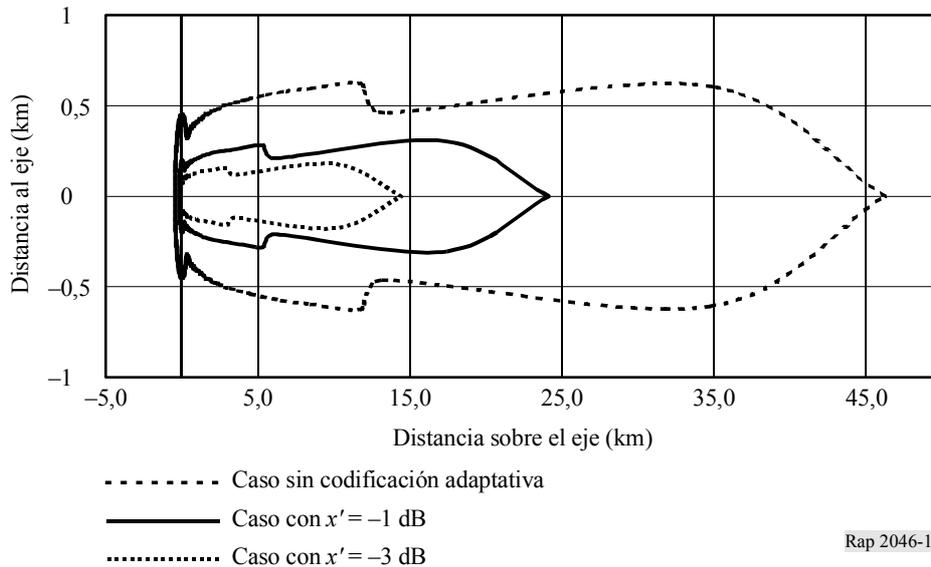
Máximo nivel de interferencia en el receptor del SFS

Margen de degradación añadido (dB)	Margen total de degradación autorizada (dB)	Máximo nivel de interferencia en el receptor del SFS (dBm)
1	1,25	-91,77
3	3,25	-86,53

La Fig. 11 presenta los resultados del cálculo para los tres casos: sin codificación adaptativa y con codificación adaptativa, cuando esta última compensa un margen de degradación añadido de 1 dB y 3 dB.

FIGURA 11

Zonas donde los receptores del SFS pueden sufrir interferencia procedente del servicio fijo, con y sin codificación adaptativa



Si se utiliza codificación adaptativa, es muy significativa su repercusión en la zona donde los receptores de la estación terrena del SFS pueden sufrir interferencia. No sólo la máxima distancia en la dirección del haz principal del servicio fijo se reduce del 50% al 70% (24 a 14 km) de acuerdo con el margen compensado (1 ó 3 dB) sino que también disminuye la superficie total de forma espectacular. Cabe señalar, además, que en el lóbulo posterior la distancia se reduce de menos de 10 a 20 m de acuerdo con el caso considerado.

Los estudios determinísticos dieron resultados similares a los estadísticos. La aplicación de la codificación adaptativa en la transmisión del enlace descendente del SFS es una técnica de reducción de la interferencia muy eficaz a la hora de disminuir el riesgo de interferencia causada por los transmisores del servicio fijo a las estaciones terrenas receptoras del SFS.

4.10.3 Aplicación de la codificación adaptativa

Es posible aplicar la codificación adaptativa a los sistemas de satélites añadiendo un (nuevo) nivel de codificación asociado con un mecanismo de adaptación de esta codificación (por ejemplo, mediante códigos perforados).

Cuando puede tomarse en consideración el entorno interferencia desde el principio del diseño del sistema del SFS, puede optimizarse la elección de los códigos adaptativos. Se ha observado que por su propia naturaleza la utilización de códigos Turbo puede ayudar de manera muy significativa a lograr esta optimización, minimizando a la vez la repercusión sobre la velocidad de transmisión de la información.

A partir de la información que figura en el § 4.10.1 se deduce por qué un operador del SFS puede decidir utilizar sólo 1 dB de margen fijo aunque un valor más elevado de dicho margen fijo haría que los terminales terrenos del SFS fuesen menos susceptibles a la interferencia a largo plazo procedente del servicio fijo y permitiría ofrecer servicio en lugares donde no sería posible sin este margen fijo más elevado para combatir la interferencia del servicio fijo. Algunas administraciones expresaron la opinión de que los sistemas del SFS que utilizan codificación adaptativa y están diseñados para funcionar en un entorno compartido con el servicio fijo no deben utilizar solamente un margen fijo de 1 dB.

4.10.4 Viabilidad de la técnica

La adopción de la codificación adaptativa en los sistemas de comunicaciones por satélite (por ejemplo, USAMEO-1; DVB-RCS para cuya utilización está prevista la implantación de un canal de retorno vía satélite en aplicaciones de banda estrecha) indica la viabilidad de la realización de estos códigos y puede dar lugar a una mayor disponibilidad de los correspondientes circuitos de codificador/decodificador.

Además, la Recomendación UIT-R S.1420, en el caso particular de las transmisiones ATM, insta a la utilización de la codificación con corrección de errores sin canal de retorno y a la regulación adaptativa de la velocidad de transmisión de datos a fin de mejorar la calidad del servicio de la transmisión.

4.10.5 Conclusión sobre la codificación adaptativa

La codificación adaptativa es una técnica para combatir los efectos de la degradación variables en el tiempo.

Aun cuando para algunas hipótesis de interferencia, la técnica de codificación adaptativa no será capaz de superar las dificultades de compartición entre los sistemas del servicio fijo y del SFS, esta técnica sigue presentando ventajas y, en consecuencia, debe considerarse como un método para mejorar la situación de compartición entre los terminales del servicio fijo y las estaciones receptoras del SFS.

Se observó que la utilización de la codificación adaptativa no puede combatir directamente la reducción del margen del enlace debido a la interferencia del servicio fijo pero, a expensas de una reducción de la velocidad de transmisión de datos, podrá mantener la disponibilidad del enlace aunque con un servicio degradado.

4.11 Espectro ensanchado

La utilización de espectro ensanchado como técnica de reducción de la interferencia basada en la hipótesis de que debido a las características de reutilización de frecuencias de las redes de infraestructura terrenal, puede suponerse que las estaciones terrenas potencialmente interferidas reciben interferencia simultáneamente de un pequeño número de transmisores del servicio fijo (con una anchura de banda de 55 MHz, 27,5 MHz o 13,75 MHz), dando lugar en muchos casos a una interferencia de banda estrecha con respecto a la anchura de banda de 500 MHz utilizada por el sistema de satélite de banda ancha.

En la Recomendación UIT-R SM.1055 aparecen ejemplos de compartición de banda utilizando técnicas de espectro ensanchado para proporcionar una mayor resistencia contra ciertos tipos de interferencia.

En este contexto, se han estudiado tres técnicas distintas de espectro ensanchado: secuencia directa, multiportadora y salto de frecuencia. Se observó que las señales del espectro ensanchado están asociadas con la multiplexación por división de código (MDC), que al igual que la multiplexación por división de frecuencia (MDF) y la multiplexación por división de tiempo (MDT) son técnicas de multiplexación.

Se ha determinado, además, que las técnicas de MDC son generalmente más complejas que las de MDF y MDT. Sin embargo, las técnicas de MDC presentan otras ventajas con respecto a las dos últimas. En comparación con la MDF, cuando se utiliza el espectro ensanchado como técnica de reducción de la interferencia, el sistema de satélite no necesita conocer en qué frecuencia está transmitiendo localmente el transmisor del servicio fijo.

4.11.1 Posible eficacia de la técnica

Se observó que cuantos más enlaces del servicio fijo se instalaban más probable era que las técnicas de espectro ensanchado no fueran capaces de superar las dificultades de compartición entre los sistemas del servicio fijo y del SFS, sin embargo se reconoció que debido a la interferencia del servicio fijo dentro del servicio, la instalación de sistemas del servicio fijo no puede aumentar indefinidamente.

El espectro ensanchado puede incrementar el margen de interferencia reduciendo la velocidad de transmisión de datos (incrementando el factor de ensanchamiento del espectro sin cambiar la anchura de banda de portadora atribuida), que es lo mismo que puede lograrse con cualquier otro tipo de multiplexación (por ejemplo, MDT) reduciendo la velocidad de transmisión de datos a la vez que se mantienen los niveles de potencia para lograr un margen más elevado. En ambos casos, la reducción de la velocidad de transmisión de datos se traduce en un margen de desvanecimiento adicional en el enlace descendente del SFS. Asignando más margen de desvanecimiento a la interferencia del servicio fijo, se atribuye una mayor proporción de la indisponibilidad del sistema a la interferencia procedente de este otro servicio.

4.11.1.1 Espectro ensanchado por secuencia directa

El espectro ensanchado por secuencia directa puede definirse como una técnica de estructuración de la señal que utiliza un ensanchamiento del código digital con una velocidad de segmentos $1/T_c$ mucho más elevada que la velocidad binaria de la señal de la información $1/T_b$. Cada bit de información de la señal digital se transmite como una secuencia pseudoaleatoria de segmentos que produce un espectro similar al ruido de banda ancha. El receptor realiza la correlación de la señal de entrada en RF con una copia local de la secuencia ensanchada para recuperar la información de datos de banda estrecha a la velocidad $1/T_b$.

Cuando la interferencia es de banda estrecha, la correlación cruzada de la señal recibida con la réplica de la secuencia ensanchada reduce el nivel de interferencia dispersándola a través de toda la banda de frecuencias ocupada por la señal ensanchada. Por consiguiente, la interferencia se hace equivalente a un nivel de ruido inferior con un espectro relativamente plano. De forma simultánea, la correlación cruzada colapsa la señal deseada a la anchura de banda ocupada por la señal de información antes del ensanchamiento.

La relación entre la anchura de banda total W y la anchura de banda de información R ($W/R = T_b/T_c$) es el factor de expansión de anchura de banda. Como una buena aproximación, la mejora de la relación entre las potencias de la señal y la interferencia es igual al factor de expansión de anchura de banda o la relación entre la anchura de banda de la señal ensanchada y la anchura de banda de la señal interferente, tomando entre ambos valores el menor.

Asociando múltiples códigos ortogonales al mismo usuario puede obtenerse un cierto nivel de flexibilidad en la capacidad de usuario.

Los sistemas MDC que utilizan espectro ensanchado por secuencia directa requieren cierta linealidad en el amplificador de potencia, lo que supone utilizar amplificadores de satélite más grandes o aumentar la reducción de la potencia de salida del satélite, lo cual afecta al comportamiento del sistema.

4.11.1.2 Espectro ensanchado por multiportadora

El espectro ensanchado por multiportadora consiste en tomar M ondas de banda estrecha, cada una sobre una portadora de distinta frecuencia y asignarles a todas la misma utilización, incrementando así la anchura de banda ampliada un factor M . El receptor proporciona un correlador para cada portadora y las salidas de los correladores se combinan obteniendo una ganancia de procesamiento comparable a la de un sistema de secuencia directa de una sola portadora. De forma similar a un sistema de secuencia directa de una sola portadora convencional, un sistema multiportadora tiene un efecto de reducción de la interferencia de banda estrecha.

En vez de repetir simplemente el mismo símbolo de datos en cada una de las M portadoras, puede utilizarse un código convolucional perforado de alta velocidad para adaptar los k bits de entrada a los n bits de salida (k con un valor próximo a n). A continuación, los $n = M$ bits de salida se modulan a continuación en las M portadoras.

A nivel de receptor del terminal de usuario de satélite, uno o varios de los M canales pueden resultar interferidos. Utilizando la redundancia en los datos transmitidos, el decodificador en el terminal de usuario del satélite rellena las posiciones donde se han producido esos borrados y recupera la secuencia de información original. Tales códigos pueden diseñarse para corregir uno o varios borrados, dependiendo de la longitud de memoria del código.

Por consiguiente, eligiendo adecuadamente el código convolucional perforado de alta velocidad, es posible suprimir completamente una (o varias) de las M portadoras transmitidas. Las portadoras interferidas, caso de existir, pueden ser distintas para cada terminal dentro de un haz puntual.

Se ha observado que la eficacia de esta técnica depende del alineamiento de las M portadoras al Plan de frecuencias utilizado por las redes de infraestructura terrenal. En el caso de superposición de frecuencias pueden resultar interferidas dos portadoras (en vez de una) aunque con niveles de potencia inferiores.

Los sistemas MDC que utilizan aspecto ensanchado por multiportadora exigen cierta linealidad en el amplificador de potencia lo que se traduce en la necesidad de utilizar un amplificador de satélite más grande o en aumentar, la reducción de potencia de salida del satélite, lo que afecta a la calidad de funcionamiento del sistema.

4.11.1.3 Espectro ensanchado por salto de frecuencia

El espectro ensanchado por salto de frecuencia puede definirse como una técnica de estructuración de la señal que utiliza conmutación automática de la frecuencia transmitida. La selección de la frecuencia que va a transmitirse se efectúa normalmente de forma pseudoaleatoria a partir de un conjunto de frecuencias que cubren una banda más amplia que la anchura de banda de la información. El receptor destino de la información realiza saltos de frecuencia en sincronización con el transmisor para recuperar la información deseada.

Esta técnica de espectro ensanchado por salto de frecuencia mejora el requisito de C/I creando una diversidad de las fuentes interferentes. El valor de C/I utilizado en el diseño puede basarse en el valor medio de $(C/I)_{medio}$ en vez de en el caso más desfavorable. Si bien algunos de los canales de banda estrecha se desvanecen o resultan interferidos, la mayoría de las frecuencias normalmente se ven libres de interferencia.

Cuando el terminal de satélite conoce las frecuencias interferidas, en un entorno geográfico determinado, pueden evitarse completamente estas frecuencias en la secuencia de salto. En algunos casos, para un terminal de satélite concreto esto da lugar a una secuencia de salto más corta, sin pérdida de capacidad.

4.11.2 Repercusión sobre la velocidad de transmisión de datos

La velocidad instantánea de transmisión de datos dirigidos a un usuario se reduce por el factor de dispersión. Sin embargo, en el sistema de espectro ensanchado al permanecer más tiempo en el usuario puede mantenerse la velocidad media de transmisión de datos. La permanencia más larga en un usuario determinado reduce la flexibilidad con la que puede utilizarse la capacidad del sistema. Este último efecto puede al menos reducirse asignando códigos múltiples al mismo usuario, teniendo en cuenta que dicha asignación de códigos múltiples al mismo usuario disminuye el factor de dispersión.

En el sistema de multiportadora, la influencia sobre la velocidad de transmisión de datos es equivalente al índice del código convolucional perforado k/n . Sin embargo, un sistema de satélite con MDT que utilice esta técnica para mejorar la situación de compartición sólo tiene que disminuir la velocidad de transmisión de datos en los terminales potencialmente interferidos.

Independientemente del tipo de la multiplexación del espectro ensanchado y de la arquitectura del satélite, disminuye la velocidad de transmisión de datos de cresta lograda por el MDC cuando se utiliza como técnica de reducción de la interferencia causada por el servicio fijo. La reducción de la velocidad de transmisión de datos necesaria para el espectro ensanchado es similar a la reducción de la velocidad de datos que puede utilizarse en otras técnicas de modulación para aumentar la energía por bit y compensar la interferencia del servicio fijo. Sin embargo, hay que indicar que el comportamiento del espectro ensanchado por salto de frecuencia en este contexto debe ser objeto de más estudio.

Se ha demostrado que una red de satélites que utilice multiplexación de espectro ensanchado por secuencia directa no ofrece más protección contra la interferencia que un sistema que utilice MDT con velocidades de transmisión de datos comparables en el transpondedor, tanto si se trata de configuraciones de satélites con antenas orientables o satélites que utilicen haces fijos (haces de satélite o haces fijos dirigidos a la Tierra). De hecho, en un estudio llevado a cabo utilizando haces fijos, el sistema con MDT fue en realidad más robusto frente a la interferencia que el sistema de espectro ensanchado por secuencia directa.

Cabe señalar que una señal de espectro ensanchado puede ajustarse dinámicamente en lo que respecta al factor de dispersión (y a la ganancia dispersión) para acomodarse al entorno de interferencia de cada usuario, pero puede hacerse lo mismo con el acceso MDT siempre que se proporcione a cada usuario una velocidad de transmisión de datos adaptativa en modo paquete a paquete o mediante ráfagas de transmisión de datos.

Además, para una calidad de servicio determinada, la utilización de N portadoras con una tasa de servicio R/N proporcionaría un caudal de tráfico medio inferior al tráfico proporcionado por una sola portadora más grande con una tasa de servicio R . Ello significa que la utilización de cualquier tipo de multiplexación de espectro ensanchado como técnica de reducción de la interferencia del servicio fijo conduce inevitablemente a una pérdida de ganancia de multiplexación estadística y, por lo tanto, da lugar a una pérdida en la capacidad global del satélite del SFS.

4.11.3 Viabilidad de la técnica

Se observó que las diversas técnicas de espectro ensanchado pueden estar más adaptadas a una u otra arquitectura del sistema de satélites. Además, aunque no se utilicen ampliamente en las comunicaciones por satélite, estas técnicas se han desarrollado para los sistemas de radiocomunicaciones tanto terrenales como por satélite.

Independientemente de la arquitectura básica del SFS, cuando se utiliza secuencia directa, multiplexión de espectro ensanchado por multiportadora o espectro ensanchado por salto de frecuencia con múltiples portadoras para reducir la interferencia del servicio fijo, el amplificador del satélite debe funcionar con una reducción de potencia de salida que aumenta el número de portadoras. La utilización de esta reducción de potencia supone una disminución en la eficacia de la potencia del amplificador si se compara con la situación en la que la carga útil del satélite se limita a un funcionamiento con una sola portadora saturada. Esta reducción en la eficacia de la potencia se traduce en un aumento en la potencia necesaria del amplificador del satélite, lo que exige que éste deba tener una masa mayor. Sin embargo, cabe señalar que algunos sistemas del SFS están diseñados para funcionar con acceso MDF utilizando un conjunto de portadoras cuyas anchuras de banda oscilan entre menos de 100 kHz y más de 100 MHz. Ello significa que el amplificador de alta potencia del satélite deberá funcionar en su región lineal para que el operador del SFS pueda proporcionar servicios con funcionamiento multiportadora. Además, es necesario reducir la potencia en el amplificador con funcionamiento multiportadora para disminuir los productos de intermodulación. En funcionamiento multiportadora, es preciso, por consiguiente, llegar a una solución de compromiso entre la eficacia del amplificador y el nivel de los productos de intermodulación. En el caso de funcionamiento con una sola portadora, puede utilizarse toda la potencia del amplificador.

Aunque este Informe se refiere únicamente a la banda de 18/19 GHz es importante indicar que existen algunos sistemas del SFS diseñados en la gama 10-12 GHz destinados a ser utilizados con técnicas de MDC para proporcionar servicio a un gran número de estaciones terrenas en bandas compartidas con servicios terrenales. Teniendo en cuenta que las consideraciones de diseño y las condiciones de propagación son distintas para las dos bandas de frecuencias, la implantación de MDC en la gama de 12 GHz puede no ser la misma que en la banda 18/19 GHz.

4.11.4 Conclusión sobre la utilización del espectro ensanchado como técnica de reducción de la interferencia

Se considera que aunque en algunas hipótesis de interferencia la técnica de espectro ensanchado no podrá resolver las dificultades inherentes a la compartición entre sistemas del servicio fijo y del SFS, esta técnica aún sigue presentando ventajas y, en consecuencia, debe tenerse en cuenta para mejorar la situación de compartición entre terminales del servicio fijo y estaciones terrenas receptoras del SFS.

Se observó que la mayoría de los sistemas de satélite propuestos en la banda 18/19 GHz no van a utilizar la técnica de espectro ensanchado pero que, sin embargo, al menos uno de ellos sí lo hace.

4.12 Otras técnicas de reducción de la interferencia

La consideración del tipo de antena que debe utilizarse es especialmente útil en los casos de interferencia entre emplazamientos muy próximos entre sí (aproximadamente 100 m). En algunos casos puede lograrse una diferencia de 10 dB gracias a las características de la antena cuando hay suficiente separación angular entre la dirección de orientación de la antena del terminal del SFS y el emplazamiento en la estación del servicio fijo.

A partir de la información contenida en una contribución recibida, puede llegarse a la conclusión de que un emplazamiento adecuado de la instalación puede considerarse una técnica de reducción de la interferencia, puesto que ésta puede disminuir notablemente cuando resulta bloqueada por obstrucciones situadas en las cercanías de la propia fuente de interferencia.

4.13 Combinación de distintas técnicas de reducción de la interferencia

En la medida en que diversas técnicas puedan utilizarse individualmente para reducir la interferencia su efecto combinado podría mejorar la situación de compartición con respecto a los métodos utilizados de forma individual.
