

RECOMENDACIÓN UIT-R M.1039-1

COMPARTICIÓN DE FRECUENCIAS ENTRE ESTACIONES DEL SERVICIO MÓVIL POR DEBAJO DE 1 GHz Y ESTACIONES TERRENAS MÓVILES QUE UTILIZAN ACCESO MÚLTIPLE POR DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA (AMDF) CON SATÉLITES EN ÓRBITA NO GEOESTACIONARIA (NO-OSG)

(Cuestiones UIT-R 83/8 y UIT-R 84/8)

(1994-1997)

Resumen

En la presente Recomendación se expone un método estadístico que permite evaluar la compartición entre estaciones terrenas móviles que utilizan acceso múltiple por distribución de frecuencia y estaciones del servicio móvil. Con objeto de facilitar la compartición, se describe una técnica de asignación dinámica de canales.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

a) que la compartición del espectro atribuido por la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para examinar la atribución de frecuencias en ciertas partes del espectro (Málaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) al servicio móvil por satélite (SMS) con satélites en órbita terrestre baja (LEO) por debajo de 1 GHz, si se comparte con los servicios móviles, deberá proporcionar protección adecuada contra la interferencia perjudicial;

b) que el SMS LEO puede ofrecer importantes servicios de radiocomunicaciones, incluido el alerta de emergencia (véase la Nota 1), a un gran número de viajeros.

NOTA 1 – Sin embargo, estos servicios no se identificarán como servicios de seguridad, tal como define el Reglamento de Radiocomunicaciones;

c) que el empleo de satélites LEO permite a las estaciones espaciales utilizar en la práctica frecuencias inferiores a 1 GHz;

d) que introduciendo algunas técnicas de coordinación y canalización utilizadas en los sistemas de radiocomunicaciones fijos y móviles en bandas por debajo de 1 GHz puede obtenerse en canales individuales una carga de tráfico en Erlang baja;

e) que es posible emplear técnicas de asignación dinámica de canales que proporcionan un método de compartición del espectro entre los servicios móviles y los SMS de baja potencia y bajo índice de actividad;

f) que los usuarios se encuentran distribuidos a lo largo de amplias zonas geográficas;

g) que las transmisiones de las estaciones terrenas del SMS se efectúan en ráfagas de breve duración,

recomienda

1 que para evaluar la compartición entre las estaciones terrenas móviles en el SMS que utilizan técnicas de AMDF y los servicios móviles en la misma banda de frecuencia se utilicen los métodos de cálculo estadístico descritos en el Anexo 1;

2 que los sistemas del SMS no-OSG (de banda estrecha) que funcionan con atribuciones al SMS por debajo de 1 GHz utilicen tipos de técnicas de asignación dinámica de canales como los descritos en el Anexo 2 a fin de mejorar la compatibilidad con los servicios terrenales.

Métodos y cálculos estadísticos para determinar la compartición entre los transmisores de las estaciones terrenas del SMS por debajo de 1 GHz y las estaciones móviles

1 Introducción

En este Anexo se describe un método para determinar si los transmisores de una estación terrena del SMS (ETS) pueden compartir espectro con los servicios móviles. Los métodos descritos proporcionan una base para evaluar la eficacia de los límites de nivel de potencia para la p.i.r.e. de la ETS que deben establecerse con objeto de permitir la compartición con los servicios móviles (véase la Nota 1).

NOTA 1 – Además, las transmisiones en sentido ascendente desde la ETS tienen una duración óptima para la compartición con ciertos servicios vocales terrenales. Se ha señalado que esta duración podría ser de hasta 500 ms. Se está estudiando la duración del tiempo durante el que podrían tener lugar estas transmisiones (se ha sugerido el valor del 1% de 1 a 15 min).

2 Posibilidad de interferencia del SMS a los servicios móviles

Los servicios móviles en la banda de ondas métricas se caracterizan normalmente por la existencia de portadoras de voz y datos moduladas en frecuencia y asignadas a una red periódica de canales. Las separaciones de canal habituales son 12,5 kHz, 15 kHz, 25 kHz y 30 kHz.

Los sistemas del SMS por debajo de 1 GHz pueden utilizar un algoritmo de asignación dinámica de canales que permite a la estación espacial identificar los canales no ocupados por estaciones móviles que están compartiendo el espectro. Por consiguiente, cabe esperar que haya normalmente una separación en frecuencias significativa (15 kHz o menos) entre la transmisión del SMS y la frecuencia central del receptor de la estación móvil. Sin embargo, en este método aún no puede preverse la eficacia del proceso de asignación dinámica de canales; en consecuencia, se supone que la selección de canales del enlace ascendente del SMS se distribuye aleatoriamente en pasos de 2,5 kHz (véase la Nota 1) dentro de las atribuciones a los servicios móviles.

NOTA 1 – Este tamaño del paso representa las restricciones prácticas a la hora de realizar el sintetizador, perdiendo poco en la generalización del análisis.

3 Resumen de la metodología

Para determinar la posibilidad de que los transmisores de las ETS provoquen interferencia perjudicial a las estaciones móviles deben llevarse a cabo varios pasos. En este punto se presenta de forma general la metodología correspondiente. En los puntos siguientes aparecen descripciones detalladas de cada paso.

3.1 Contorno de coordinación

El primer paso consiste en calcular un contorno de coordinación típico alrededor del receptor móvil que debe protegerse. El contorno viene determinado por la distancia a la cual un transmisor o grupo de transmisores de ETS producirán una densidad de flujo de potencia superior a un nivel determinado considerado, como el criterio de protección. Para realizar este cálculo deben conocerse los siguientes valores:

- $p.i.r.e._{ets}$: p.i.r.e máxima de la ETS (W)
- BW_{ets} : anchura de banda de la señal del transmisor de la ETS (Hz)
- dfp_r : densidad de flujo de potencia considerada perjudicial (W/m^2)
- N_t : número máximo esperado de transmisores simultáneos de ETS
- $L(d)$: pérdidas de propagación en función de la distancia.

Si puede determinarse que el contorno de coordinación es lo suficientemente pequeño en comparación con los movimientos esperados de las estaciones móviles y de las ETS, no es necesario realizar ningún cálculo adicional. Si el contorno de coordinación es demasiado amplio como para hacer esta suposición, deben llevarse a cabo los siguientes pasos.

3.2 Cálculo de la probabilidad de rebasamiento del nivel umbral

Para determinar el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa la dfp de protección en un receptor de estación móvil particular se utilizan técnicas probabilísticas. Si el porcentaje determinado es lo suficientemente bajo, el rebasamiento del nivel de protección no se considera como interferencia perjudicial.

3.2.1 Zona geográfica para el cálculo

El primer paso consiste en determinar un área en la cual las transmisiones de las ETS contribuirán de forma significativa a los valores estadísticos de la dfp recibida en el receptor móvil. Si se emplea un área demasiado amplia, es probable que se infravalore la correspondiente probabilidad de rebasamiento calculada. Este área se describe normalmente como el radio correspondiente al contorno de protección descrito anteriormente.

3.2.2 Función densidad de probabilidad de la dfp de un solo transmisor

Tomando un área en la que va a realizarse el cálculo, se efectúa una estimación de la función densidad de probabilidad discreta (véase la Nota 1) para los valores esperados de la dfp en un receptor móvil. Consiste en un proceso de dos pasos que se inicia con el establecimiento de una variable aleatoria que describe la distribución de probabilidad de las ETS en el alcance del receptor móvil. A continuación se evalúa la probabilidad de una dfp determinada como la asociada con el alcance que, en combinación con la p.i.r.e. de la ETS, el modelo de propagación y el aislamiento del filtro, produce dicha dfp.

NOTA 1 – La función densidad de probabilidad (FDP) para una variable aleatoria define el peso en probabilidad de cada uno de los valores que puede tomar la variable aleatoria. La integral de la función densidad de probabilidad es la unidad. Si se construye una nueva función para cada uno de los valores que puede tomar la variable aleatoria integrando la función densidad de probabilidad de menos infinito a dicho valor variable aleatorio, se obtiene la función distribución acumulativa.

3.2.3 Función densidad de probabilidad de la dfp en el caso de múltiples transmisores

La función densidad de probabilidad resultante de la dfp se aplica cuando se activa un solo transmisor de ETS. Las funciones densidad de probabilidad para las dfp asociadas con dos o más transmisores de ETS se obtienen a partir de la función densidad de probabilidad de una sola portadora utilizando el método de convolución descrito en el § 7.

3.2.4 Probabilidad de que estén activos los transmisores de la ETS

Las distribuciones de dfp resultantes vienen condicionadas por la probabilidad real de que uno o más transmisores de ETS estén activos dentro de la zona en que se encuentre el receptor que va a protegerse. Estas probabilidades dependen del nivel de tráfico y normalmente se describen por la distribución de Poisson. Esta parte del cálculo depende del tipo de esquema de acceso elegido para el sistema del SMS, sin embargo se han limitado las máximas probabilidades de transmisión suponiendo una utilización muy eficaz de los canales disponibles por el operador del SMS.

3.2.5 Probabilidad de rebasamiento

La probabilidad real de rebasamiento depende de la compartición del tráfico del SMS originado dentro del contorno de protección del receptor móvil. Normalmente, la relación entre la zona de cobertura de la estación espacial del SMS y el área comprendida dentro del contorno de protección es del 0,1% o inferior. Como la distribución real del tráfico del sistema no puede determinarse con anterioridad a la explotación del mismo, el método descrito para determinar la probabilidad de rebasamiento demuestra cómo convertir este factor en parámetro. Ello facilitará una mejor comprensión de la influencia que tienen los niveles de tráfico esperados en la posibilidad de provocar interferencia perjudicial a una estación móvil.

3.2.6 Probabilidad de rebasamiento en función de la interferencia real

La probabilidad de rebasamiento calculada sobrevalora la posibilidad de interferencia perjudicial por las siguientes razones:

- supone que cada enlace móvil siempre está activo, transmitiendo o recibiendo;
- supone que cada receptor móvil está funcionando a su máximo alcance (umbral de calidad de funcionamiento mínimo) sin margen del enlace adicional; sin embargo, para eliminar este efecto en algunos sistemas puede emplearse control de potencia;

- pasa por alto el hecho de que las técnicas de asignación dinámica de canales utilizadas por los sistemas del SMS impedirán las frecuencias activas de recepción;
- muchas transmisiones de ETS consistirán en ráfagas breves que puede que no lleguen a activar el silenciador en muchos receptores y que no sean audibles si aparecen durante periodos de actividad vocal en los canales de voz; sin embargo, si el canal se utiliza para transmisión de datos o señalización puede degradarse la calidad de funcionamiento independientemente de la longitud de la ráfaga.

4 Modelo de propagación de referencia

Para evaluar la posible interferencia causada por los transmisores del enlace ascendente del SMS LEO a las estaciones móviles o a las estaciones de base en la banda de ondas métricas, se utiliza un modelo de enlace de referencia. Son necesarios más estudios para evaluar el modelo de propagación adecuado en otras bandas de frecuencias por debajo de 1 GHz.

La pérdida de propagación prevista es función de la distancia de separación entre el transmisor y el receptor. La expresión siguiente proporciona una estimación de primer orden de la intensidad de campo recibida en la banda de ondas métricas:

$$E = \frac{88 \sqrt{P}}{\lambda d^2} h_t h_r \quad (\mu\text{V/m})$$

siendo:

P : potencia transmitida (W)

h_t : altura de la antena transmisora (m)

h_r : altura de la antena receptora (m)

d : separación entre las antenas (km)

λ : longitud de onda (m).

Transformando esta expresión de intensidad de campo en densidad de flujo de potencia causada por dicho transmisor a una distancia d , se obtiene:

$$dfp(d) = \frac{(E \times 10^{-6})^2}{120 \pi}$$

Para evaluar la posible interferencia causada por un transmisor del SMS LEO a una estación móvil, debe utilizarse un producto de altura de antena del orden de 10 m. Ello tiene en cuenta el hecho de que los transmisores del SMS LEO normalmente son manuales o van montados en un vehículo en vez de instalados en un mástil. Para el caso de las estaciones de base en el servicio móvil, el valor de este producto debe ser mayor, según convenga. En el caso de receptores a bordo de aeronaves o transmisores del SMS también deben utilizarse productos mayores.

5 Probabilidad de transmisiones múltiples de ETS

Como se ha indicado en el § 3.1 la posibilidad de interferencia dependerá del número esperado de transmisores de ETS simultáneos que pueden contribuir a la dfp combinada que incide en el receptor del servicio móvil. Los protocolos de acceso aleatorio (véase la Nota 1) permiten las transmisiones simultáneas múltiples ocasionales en la misma frecuencia y, por consiguiente, representan el caso límite superior de posible interferencia combinada causada a un receptor de estación móvil. La probabilidad de tener un cierto número de transmisores funcionando simultáneamente se calcula utilizando la distribución de Poisson:

$$P_a(n) = \frac{\Lambda^n}{n!} \cdot e^{-\Lambda}$$

siendo:

n : número de transmisores simultáneos

Λ : número medio de transmisiones por unidad de tiempo.

NOTA 1 – Muchos protocolos de acceso aleatorio se conocen con el nombre de protocolos «ALOHA», que se trata de un tipo específico de protocolo de acceso aleatorio.

El tipo particular de protocolo de acceso aleatorio elegido determinará el valor adecuado de Λ . La utilización de protocolos de acceso aleatorio ranurados permite el valor más elevado de tráfico cursado, un máximo teórico del 36,8%; los límites superiores prácticos se encuentran alrededor del 30%, lo cual es el doble del valor del tráfico y del valor de Λ en comparación con una técnica sin ranurar sencilla. Los sistemas deben diseñarse para funcionar con el caudal limitado del protocolo de acceso aleatorio a fin de mantener su calidad de servicio. En consecuencia, si bien pueden aparecer breves periodos en los que la carga de tráfico rebasa los valores de la estabilidad, es razonable suponer que los sistemas deberán funcionar por debajo de estos valores para conservar a sus usuarios.

Con un valor de $\Lambda = 0,4$ en la expresión de la distribución de Poisson se obtienen unos niveles máximos de carga de tráfico razonables para el protocolo de acceso aleatorio ranurado. En el Cuadro 1 se indica la probabilidad de que aparezcan 0, 1, 2, ..., 6 transmisores funcionando simultáneamente para un valor de $\Lambda = 0,4$. En este Cuadro puede observarse que la probabilidad de que haya más de 4 transmisores funcionando a la vez es 0,00001. Por consiguiente, un valor adecuado para N_t es 4; sin embargo también debe contemplarse la utilización de otros valores.

CUADRO 1

Probabilidades de transmisión de ETS representativas

n	$P_a(n)$	$C_a(n)^{(1)}$	$1 - C_a(n)$
0	0,670320	0,670320	0,329680
1	0,268128	0,938448	0,061552
2	0,053626	0,992074	0,007926
3	0,007150	0,999224	0,000776
4	0,000715	0,999939	0,000061
5	0,000057	0,999996	0,000004
6	0,000004	1,000000	0,000000

⁽¹⁾ $C_a(n)$: función distribución acumulativa de $P_a(n)$.

La dfp combinada incidente en un receptor del servicio móvil procedente de un cierto número de transmisores de ETS de igual potencia a una distancia determinada puede expresarse por la relación:

$$dfp_t(d) = \frac{\left(88 \frac{\sqrt{p.i.r.e.ets \cdot N_t}}{\lambda d^2} h_t h_r \times 10^{-6} \right)^2}{120 \pi}$$

6 Evaluación de la distribución de probabilidad de la dfp de una sola portadora

La distribución de probabilidad de dfp de una sola portadora se evalúa a partir de dos suposiciones básicas: que las pérdidas de propagación entre la ETS y el receptor del servicio móvil dependen de la distancia; y que se conoce la distribución de probabilidad de todas las separaciones posibles. Para la primera, véase el § 4 relativo al modelo de pérdidas de propagación. Para la segunda se utiliza una densidad uniforme de ETS (terminales/m²). Pueden utilizarse distribuciones más complicadas pero ello supondría implícitamente que algunas características del receptor del servicio móvil, un fenómeno sin correlación con respecto a la situación de las ETS, tienen alguna influencia en la distribución de las ETS.

Es fácil demostrar que una densidad uniforme de ETS produce una función densidad de probabilidad de rampa unidad para la variable aleatoria que describe la separación entre las ETS y el receptor del servicio móvil. Esta función densidad de probabilidad discreta se construye de la siguiente forma:

$$P_s(d_i) = \frac{d_i}{norma}$$

con:

$$norma = \sum_0^{N_i} d_i$$

siendo:

N_i : número total de muestras

d_i : valores discretos de la distancia de separación.

N_i debe elegirse de forma que $d_{m\acute{a}x}/N_i \leq 0,5$ km para asegurar una resolución adecuada del modelo.

El aislamiento del filtro con respecto a una transmisión de ETS en los receptores de la estación móvil debe calcularse para unos desplazamientos de 2,5 kHz, al menos entre 0 y 12,5 kHz.

Se establece un conjunto con el índice correspondiente a los valores de dfp y los valores del conjunto correspondientes a los valores de probabilidad. Este conjunto tiene todos los valores puestos a cero.

Cada valor de la distancia en la densidad de probabilidad de la separación se utiliza para calcular una dfp atenuada por el aislamiento en cada una de las posiciones de 2,5 kHz. El valor de la probabilidad asociado a la distancia se divide por el número de cálculos de aislamiento de filtro separado y se añade al valor de la probabilidad ya asociado con la dfp calculada. Este proceso se repite en todos los valores de distancia significativamente estadísticos para elaborar la función de distribución de probabilidad completa. Este cálculo se expresa en la siguiente ecuación:

$$\sum_{i=0}^{N_i} \sum_{j=0}^{N_f} P_{dfp} \left(\frac{dfp(d_i)}{A_j} \right) += \frac{P_s(d)}{N_f}$$

siendo:

A_j : aislamiento del filtro $j \times 2,5$ kHz desde la frecuencia central del receptor móvil.

La expresión «+ =» quiere decir que debe añadirse el lado derecho de la expresión al contenido existente de la variable en el lado izquierdo de la ecuación.

7 Evaluación de la distribución de probabilidad de la dfp en el caso de múltiples portadoras

Las distribuciones de probabilidad de la dfp de múltiples portadoras se evalúan mediante iteración empezando por la distribución de la dfp de una sola portadora obtenida anteriormente. Este cálculo se basa en el principio de que las distribuciones de la dfp en cada transmisor de ETS son las mismas y que las transmisiones de ETS son estadísticamente independientes.

El proceso de generación de la dfp se describe mediante algoritmos pues sólo es posible generar las distribuciones con ayuda informática. Se considera que dos distribuciones de dfp existen de forma discreta como un conjunto de valores, conocidos como P_{dfp1} y P_{dfp2} . Cabe señalar que los valores de dfp se referencian mediante el índice del conjunto y el valor de probabilidad asociado con una dfp individual es el valor en el conjunto de dicho índice.

Se crea un tercer conjunto (P_{dfp3}) con un valor de índice suficiente para acomodar los valores de dfp desde el valor más bajo entre las distribuciones de entrada hasta la suma de los valores más elevados en las distribuciones de entrada. Este tercer conjunto tiene todos sus valores puestos a cero. A continuación, se calcula la siguiente expresión para todos los valores de los punteros de índice a fin de obtener la distribución de dfp conjunta.

$$\sum_{i=0}^{I_{m\acute{a}x}} \sum_{j=0}^{J_{m\acute{a}x}} P_{dfp3}(dfp_i + dfp_j) += P_{dfp1}(dfp_i) \cdot P_{dfp2}(dfp_j)$$

De esta forma, la distribución de dfp para dos portadoras se obtiene con este método a partir de la distribución de una sola portadora. Las distribuciones para múltiples portadoras se calculan mediante una combinación adecuada de las distribuciones para un número menor de portadoras. Por ejemplo, una distribución de 5 portadoras puede obtenerse a partir de las distribuciones combinadas de 2 y 3 portadoras o de 4 y 1 portadoras, de acuerdo con el método descrito anteriormente.

8 Determinación de la probabilidad de transmisión de la ETS

La probabilidad de que en una unidad de tiempo determinada aparezcan una o más transmisiones de ETS se evalúa utilizando la distribución de Poisson. Para ello, se utiliza la fórmula descrita en el § 5. Ello permite que la distribución de probabilidad de dfp para n portadoras sea condicionada por la probabilidad real de que n transmisores estén activos. La forma de una distribución de Poisson en particular viene determinada por la variable Λ , conocida a menudo como intensidad de tráfico.

Los niveles de intensidad de tráfico relativos a la determinación de la posible interferencia causada por los sistemas del SMS se evalúan en términos de la compartición del tráfico total transmitido a la estación espacial del SMS generado en la región local de la estación móvil que debe protegerse. Cabe recordar que la realización práctica del sistema limita el valor máximo de Λ en la distribución de Poisson a 0,4. La respuesta a la influencia de la compartición de un determinado porcentaje del tráfico total se obtiene reduciendo el valor máximo de Λ de ese mismo porcentaje.

Por ejemplo, si se especifica que el tráfico generado en el área local de la estación móvil se encuentre en la misma proporción que la relación entre el área local y el área total de un haz de satélite LEO típico (0,002), debe utilizarse un valor de $\Lambda = 0,0008$. En la práctica, debe añadirse un factor de 50 para tener en cuenta los efectos geográficos de las crestas.

9 Cálculo de la probabilidad de rebasamiento

Los cálculos estadísticos anteriores pueden combinarse para determinar la probabilidad de rebasamiento de unos umbrales de dfp particulares y unos niveles de intensidad de tráfico de ETS local. Se recomienda evaluar la expresión contenida en este punto para un conjunto de estos parámetros, debido a la componente de incertidumbre que existe en cada uno de ellos. Debe utilizarse la siguiente expresión para determinar el valor de probabilidad de rebasamiento que debe asociarse a estos parámetros.

$$P_e(\Lambda, \tau) = \sum_{i=1}^{N_t} \frac{\Lambda^i}{i!} \cdot e^{-\Lambda} \cdot \left(1 - \sum_{-\infty}^{\tau} P_{dfpn}(dfp) \right)$$

APÉNDICE 1

AL ANEXO 1

Ejemplo de aplicación de la metodología de cálculo

1 Introducción

En este Apéndice se indica un ejemplo de aplicación de la metodología contenida en la presente Recomendación. El tipo particular de ETS considerada tiene las siguientes características principales:

- p.i.r.e. máxima: 9 dBW
- anchura de banda de modulación: < 4 kHz
- frecuencia de transmisión: alrededor de 150 MHz.

Se realiza una descripción de la técnica de asignación dinámica de canal propuesta para los sistemas del SMS que funcionan por debajo de 1 GHz seguida de los resultados de los cálculos descritos en la metodología.

El ejemplo supone el siguiente aislamiento entre el transmisor de la ETS y el receptor del sistema móvil:

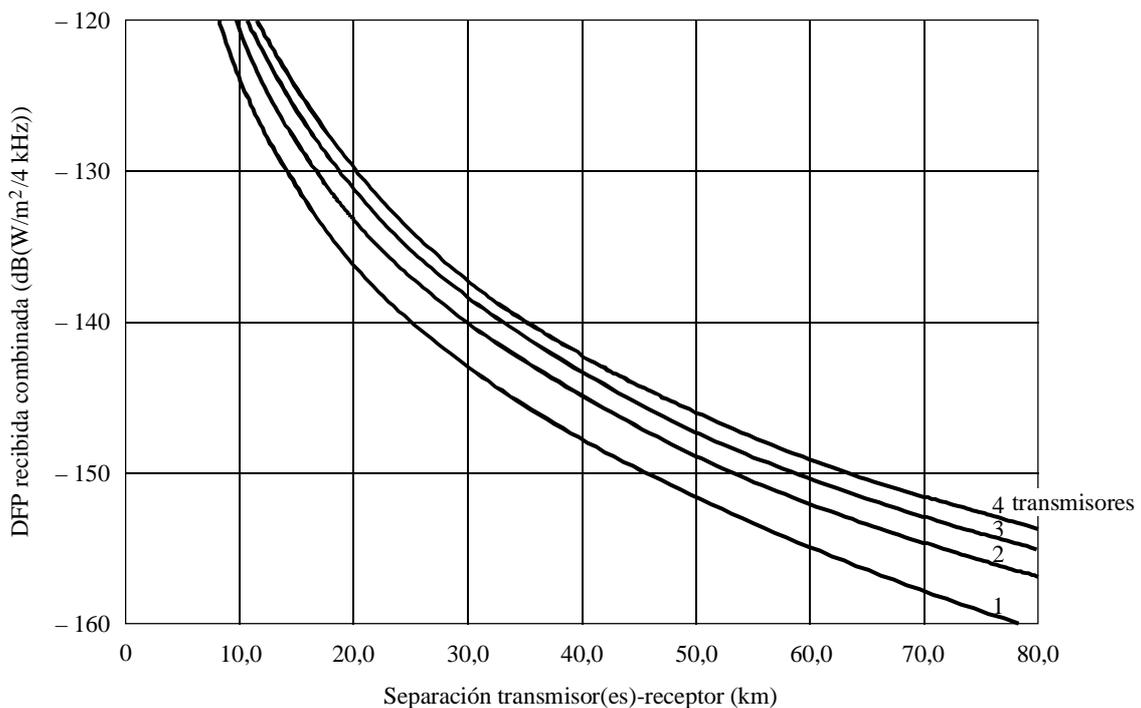
Separación (kHz)	Aislamiento (dB)
0	0
2,5	0
5,0	0
7,5	2
10,0	8
12,5	23

2 Cálculo del contorno de protección

A partir de un modelo de pérdidas de propagación y una p.i.r.e. máxima transmitida por la ETS, puede calcularse la dfp en función de la distancia como se describe en el § 5 del Anexo 1. En la Fig. 1 se representa la DFP en función de la distancia, para 1, 2, 3 y 4 transmisores de ETS activados simultáneamente. Para N_t se selecciona un valor de cuatro, que es el número máximo de transmisores que cabe esperar en una frecuencia en particular, como se describe en el § 5 del Anexo 1.

FIGURA 1

Densidad de flujo de potencia (DFP) en función de la distancia



A partir de la Fig. 1 puede determinarse que un criterio de protección de $-140 \text{ dB(W/m}^2/4 \text{ kHz)}$ sería rebasado por:

- un transmisor a una distancia de 25 km;
- dos transmisores a una distancia de 30 km;
- tres transmisores a una distancia de 33 km;
- cuatro transmisores a una distancia de 35 km.

Por consiguiente, el contorno de coordinación se definiría con un radio de 35 km para un criterio de protección de $-140 \text{ dB(W/m}^2/4 \text{ kHz)}$.

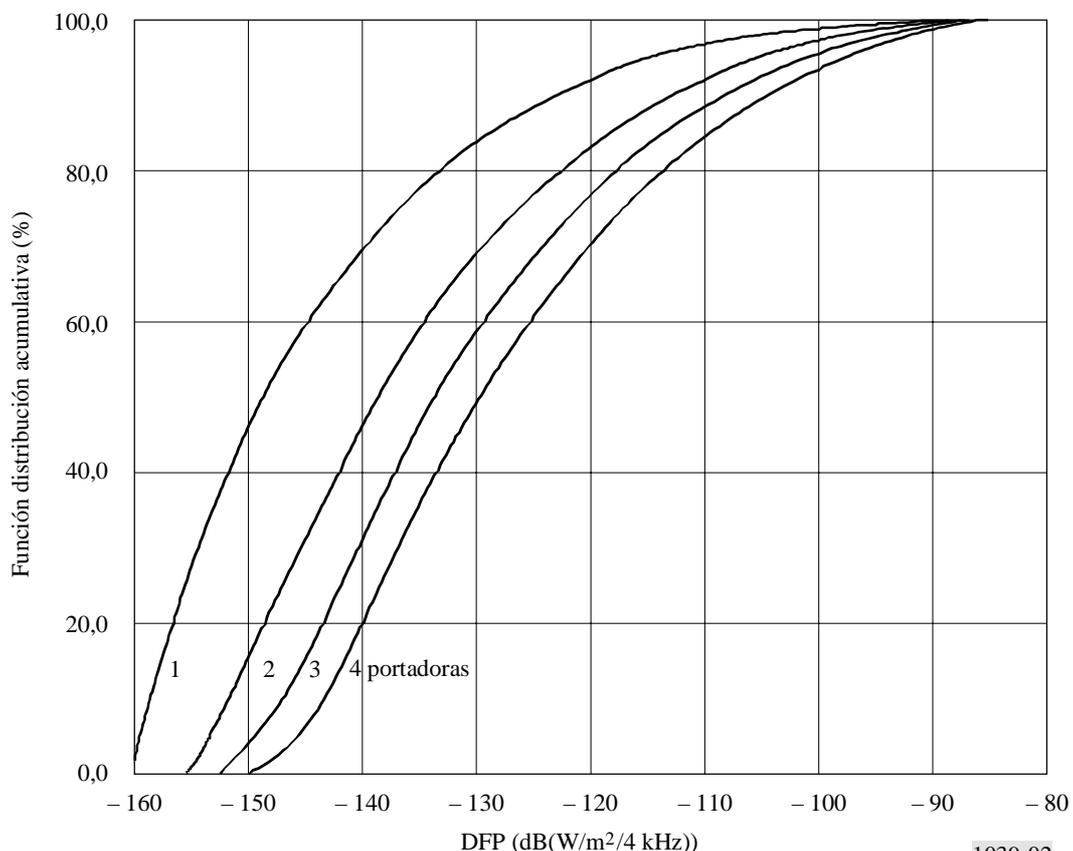
En los casos en que es posible rebasar el criterio de protección, debe determinarse la posibilidad de tal suceso. Para ello se efectúa el análisis probabilístico descrito en los § 6 a 9 del Anexo 1.

3 Distribuciones de la DFP

En la Fig. 2 se representan los resultados de la obtención de una distribución de probabilidad de la DFP, basados en una p.i.r.e. transmitida de 9 dBW por la ETS y para el caso de 1, 2, 3 y 4 portadoras. Esta distribución se realizó en un contorno de coordinación de 80 km cuyo valor se eligió para un criterio de protección de $-160 \text{ dB(W/m}^2/4 \text{ kHz)}$. Obsérvese que los resultados aparecen como funciones de distribución acumulativa.

Puede calcularse la probabilidad de que un criterio de protección de DFP no se rebase cuando hay n transmisores activos obteniendo el valor de la función de distribución acumulativa para esa DFP en el caso de n portadoras. La probabilidad de que se rebase el umbral es 1 menos ese valor. Esta probabilidad de aparición de interferencia puede venir condicionada por la probabilidad de que n transmisores se encuentren activos, tal como se indica en el siguiente punto.

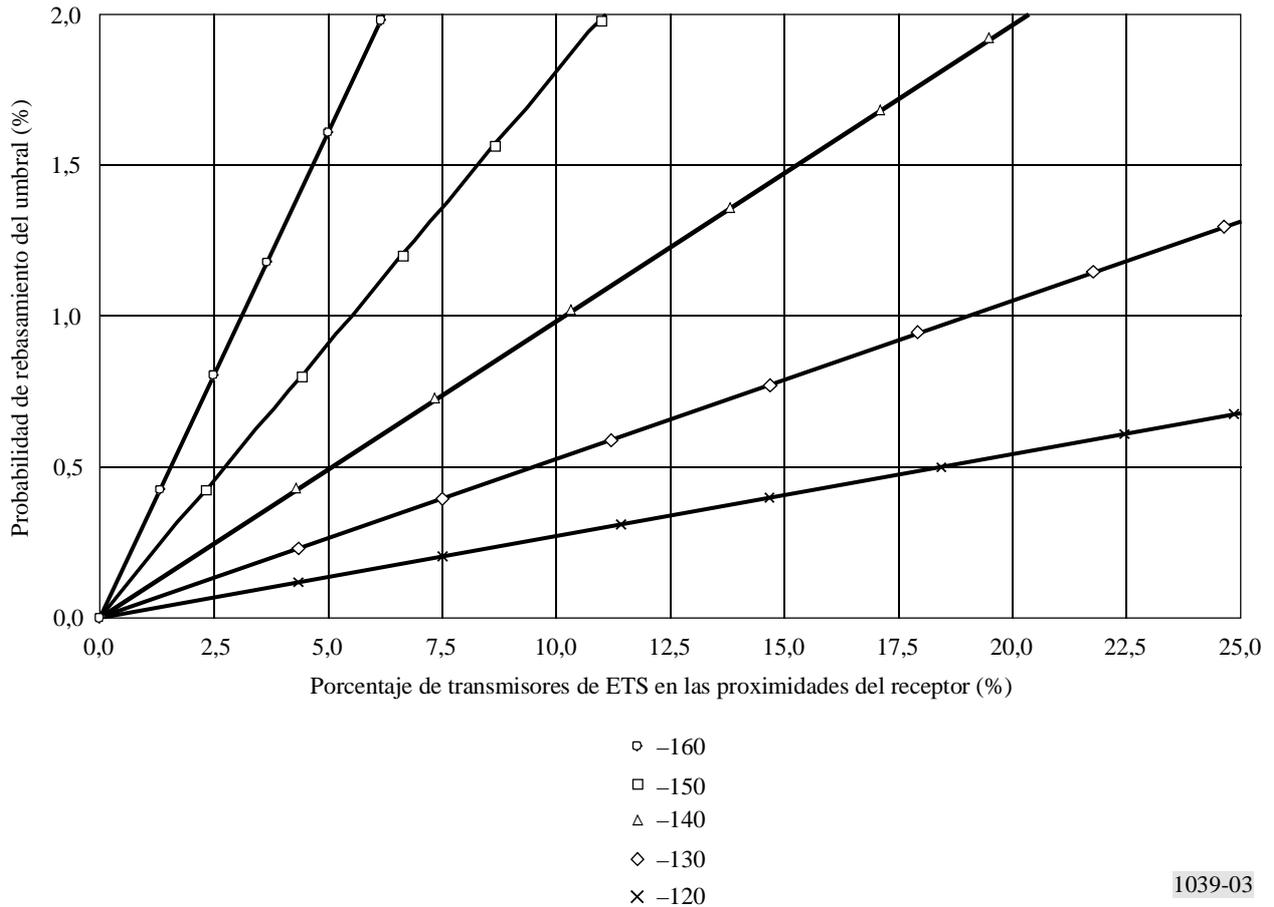
FIGURA 2
Distribución de la potencia de interferencia



4 Probabilidad de interferencia

La probabilidad real de causar interferencia a un receptor particular depende de la compartición total de tráfico de SMS dentro de la zona local del receptor. En la Fig. 3 se representa el porcentaje de tráfico que debe originarse en el área local del receptor móvil para producir una determinada probabilidad de interferencia. Por ejemplo, si el criterio de protección establecido consiste en una DFP de $-130 \text{ dB(W/m}^2/4 \text{ kHz)}$, el 20% de la totalidad de las estaciones terrenas móviles deberían encontrarse en un radio de 80 km del receptor antes de que la probabilidad de interferencia rebasase el valor de 1%.

FIGURA 3
Posibilidad de interferencia



1039-03

ANEXO 2

Técnica de asignación dinámica de canales

1 Introducción

Los sistemas móviles por satélite por debajo de 1 GHz pueden utilizar una técnica denominada sistema de asignación de actividad dinámica de canales (SAADC) para permitir a las estaciones terrenas móviles establecer comunicaciones eficazmente en presencia de interferencia casi cocanal en el enlace ascendente procedente de los transmisores móviles. La técnica permite reasignar (aproximadamente cada 10 s) los canales del enlace ascendente del SMS en respuesta a la variación estadística en el tiempo del canal utilizado por los transmisores móviles.

El algoritmo de asignación dinámica de canales comienza con una exploración de toda la banda del enlace ascendente por el satélite utilizando un tamaño de paso y una anchura de banda de medición normalmente igual a la anchura de banda de modulación de la portadora del enlace ascendente del SMS LEO. Se registra el nivel de potencia instantánea visto por el satélite en cada canal potencial. Este conjunto de mediciones se combina con mediciones anteriores en una media de tiempo ponderada para cada canal potencial. Esta media ponderada tiene en cuenta los valores estadísticos a corto y largo plazo de la actividad hablante y llamante. A continuación se clasifican los canales del más deseable al menos deseable en términos de capacidad para producir interferencia.

Cada satélite actualiza periódicamente la lista de canales que van a utilizar las estaciones terrenas móviles. Se transmite a las ETS una lista con la fracción de canales que se consideran utilizables. Una ETS elige un canal de dicha lista al iniciar una transacción con el enlace ascendente. El control del resto de canales utilizables lo retiene el sistema para utilizarlo en la asignación de canales a las ETS.

2 Descripción de la realización del SAADC

Básicamente, cada satélite de la constelación del SMS no-OSG explora la banda 148-149,9 MHz. En el caso de una constelación en particular, dicha exploración de la banda se realiza en incrementos de 5 s de forma continua. El sistema descrito a continuación se ha implantado en la red LEOTELCOM-1 (ORBCOMM) en la atribución del SMS de 148-149,9 MHz.

La técnica para evitar la interferencia del enlace ascendente de 148-149,9 MHz se basa en el SAADC.

El elemento fundamental de este sistema es un receptor de exploración capaz de medir la potencia de interferencia a través de toda la banda, en pequeños incrementos de anchura de banda y cada 5 s o menos. Esta información sobre la interferencia se procesa a bordo del satélite para obtener una lista de los mejores canales para el enlace ascendente, clasificada según la prioridad en términos de potencia de interferencia esperada en el canal en la próxima exploración. Los canales seleccionados por el SAADC se escogen de un conjunto almacenado de posibles canales para el enlace ascendente mantenidos en el satélite de acuerdo con la lista antes citada. Cada satélite contendrá una lista distinta de posibles canales del enlace ascendente evitando las situaciones de interferencia de enlace ascendente satélite a satélite dentro del sistema. En funcionamiento real con los primeros dos satélites, el SAADC ha sido capaz de predecir los canales libres de interferencia en la siguiente exploración de banda, con una precisión superior al 98%.

3 Descripción técnica

Este punto presenta una descripción técnica de las características asociadas con la técnica SAADC.

El sistema utiliza un plan de canales con una separación de 2,5 kHz, a diferencia de la red de los servicios móviles utilizada en Estados Unidos de América y en muchos otros países en la que las frecuencias centrales de transmisores y receptores están separadas 25 kHz. Los canales «0» y «10» de la Fig. 4 representan los canales de la red del servicio móvil de Estados Unidos de América. La curva muestra la probabilidad de asignar un canal para una transmisión de usuario. En la Figura puede observarse que durante 1993 el SAADC no seleccionó una frecuencia directamente en la red móvil de 25 kHz.

3.1 Longitudes de mensaje

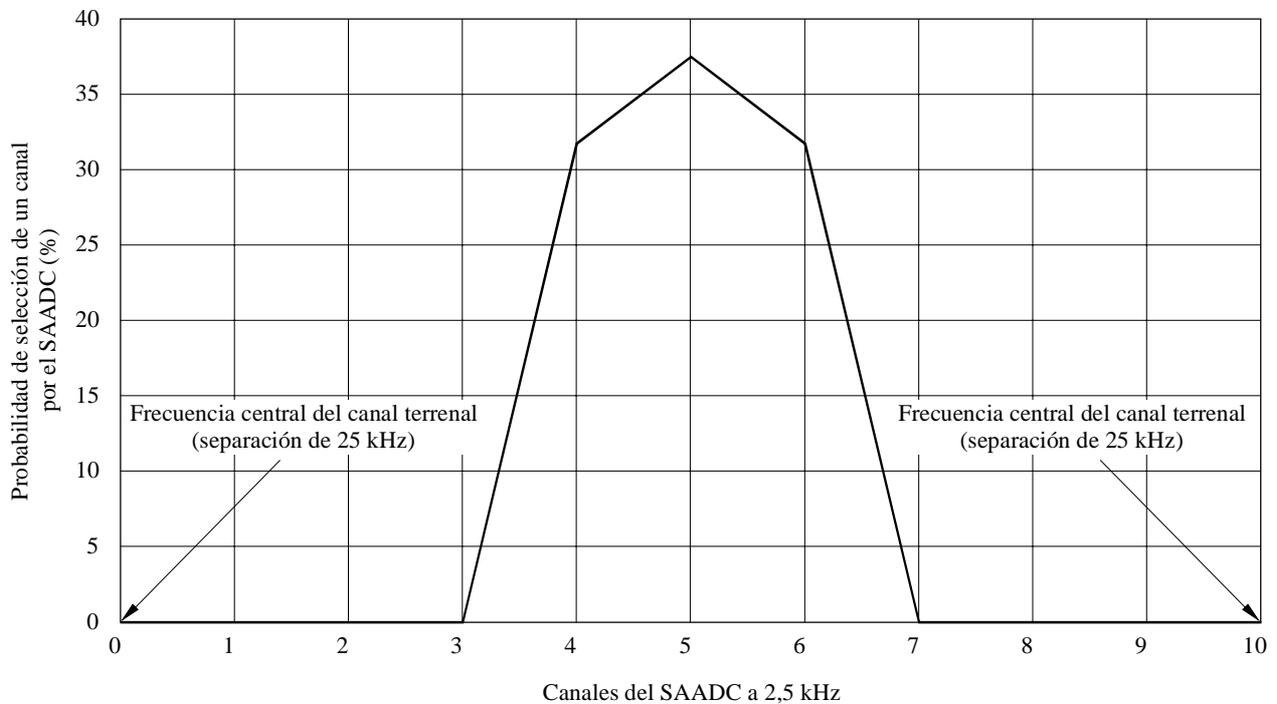
En las constelaciones de sistemas de frecuencia ágil, un abonado puede realizar únicamente dos tipos de transmisiones: una ráfaga breve, o petición de acceso, en el canal de acceso aleatorio o una ráfaga de transmisión de mensaje más larga, en un canal de mensaje. Cada ráfaga de mensaje está específicamente controlada en cuanto a frecuencia y duración de la transmisión. Bajo control del SAADC la frecuencia del canal de acceso aleatorio cambiará a intervalos frecuentes, permaneciendo siempre en el canal menos ocupado por cualquier usuario terrenal.

Una vez reconocido dentro del sistema, el abonado puede transmitir un solo paquete de comunicaciones de 15 bytes o, si lo solicita, transmitir un mensaje más largo.

En este último caso, el abonado transmite una petición para acceder a un canal de mensaje e indica la longitud total del mensaje que va a transmitir. Esta petición de canal es un paquete de 15 bytes y 50 ms de duración. La longitud máxima del mensaje (es decir, el número de bytes que va a transmitir el usuario en una ráfaga) se retransmite al abonado junto con la frecuencia de transmisión específica obtenida del proceso del SAADC. Esta longitud máxima del mensaje admisible se utilizará para controlar que la máxima duración de transmisión del mensaje de abonado sea menor de 450 ms, o 108 bytes a 2400 bit/s, en un sola frecuencia de transmisión. Como la toma de contacto inicial abonado-satélite tiene lugar en un canal utilizado como una comunicación de servicio de acceso aleatorio, el mensaje de abonado se transmitirá en una frecuencia distinta.

Si la máxima duración del mensaje permitida es más breve que la duración total del mensaje de abonado, dicho mensaje se transmitirá en varias ráfagas. La frecuencia de transmisión de cada ráfaga de abonado viene controlada por el proceso del SAADC en el satélite y tendrá una frecuencia diferente. De esta forma se controlará el periodo máximo durante el cual un abonado puede transmitir en una sola frecuencia.

FIGURA 4
Selecciones de frecuencias realizadas por el SAADC



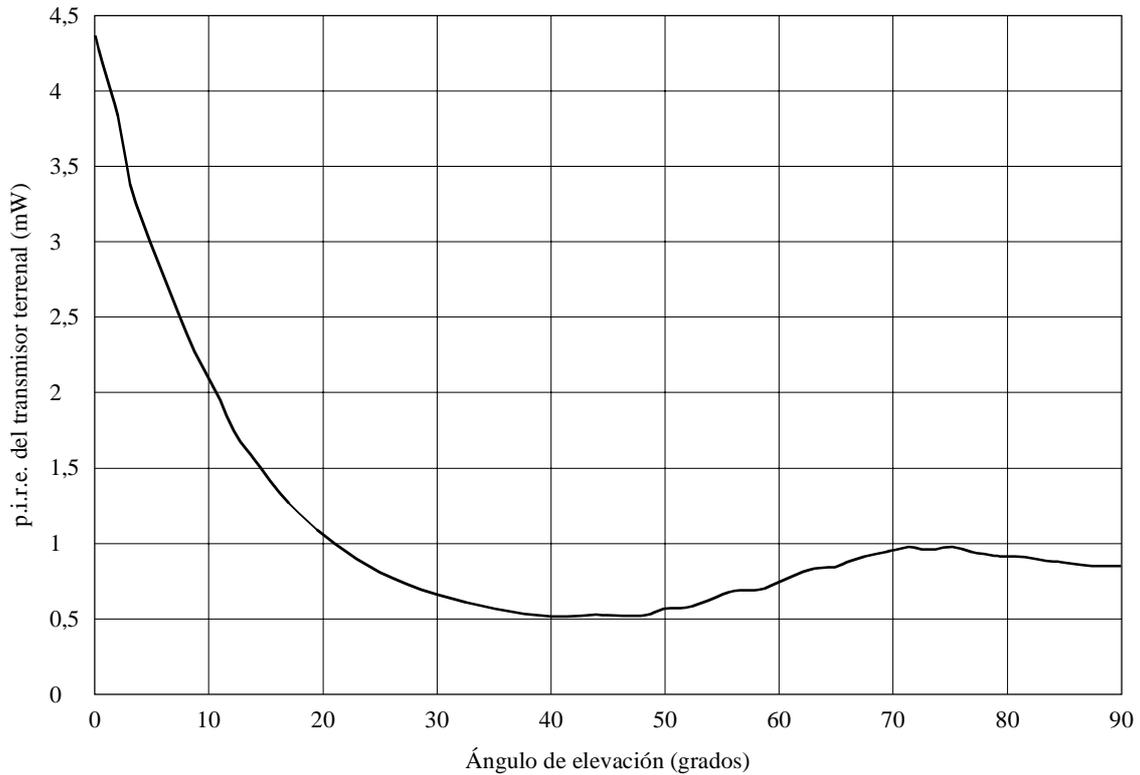
Basada en simulaciones realizadas utilizando los datos recogidos por un satélite CDS durante todo un año sobre ocupación de frecuencias

1039-04

3.2 Sensibilidad del SAADC

Los receptores de los satélites tienen un ruido de fondo de -137 dBm en una anchura de banda de 2,5 kHz. Esta cifra se obtiene a partir de un factor de ruido del receptor de 2 dB, unas pérdidas entre la antena y el receptor de 1,6 dB, una característica de la ganancia de antena casi omnidireccional y una temperatura de antena de 480 K. El proceso del SAADC detectará, y puede evitar, toda señal procedente de un transmisor terrenal que se reciba 1 a 2 dB por encima de este nivel. La potencia isotrópica radiada equivalente (p.i.r.e.) del transmisor terrenal requerida para recibir un nivel de -135 dBm en el satélite es función del ángulo de elevación del mismo (véase la Fig. 5).

FIGURA 5
p.i.r.e. del transmisor terrenal «vista» y evitada por el SAADC ORBCOMM



p.i.r.e. necesaria para generar un nivel de señal de -135 dBm
en el receptor del SAADC (filtro del receptor de 2,5 kHz)

1039-05

Como puede verse en la Fig. 6, el SAADC puede detectar los transmisores terrenales con potencias del orden de 1 a 5 mW según la posición relativa del satélite y el transmisor terrenal. Una transmisión terrenal del orden de 5 a 10 mW siempre debe detectarse y evitarse.

4 Prevención de la interferencia

Actualmente existe un sistema del SMS no-OSG que utiliza la técnica SAADC con dos satélites de su constelación en órbita. En estos satélites se han llevado a cabo pruebas de desarrollo para determinar si el sistema SAADC está funcionando según lo previsto.

En muchos países, los usuarios principales de la banda de frecuencias 148-149,9 MHz son sistemas móviles terrenales del gobierno. El SAADC está específicamente diseñado para evitar los canales ocupados en la banda 148-149,9 MHz. Determinando los canales sin ocupar y asignando estos canales libres a los terminales terrenos móviles de abonado, el sistema satisfará este criterio. En la Fig. 7 se representa la probabilidad de selección de canal del algoritmo SAADC. El algoritmo se aplicó a una simulación basada de los datos recopilados durante todo un año por el CDS (communications demonstration satellite) sobre ocupación de frecuencias. El CDS reúne los datos explorados en la banda de 148-149,9 MHz desde una altitud de 750 km. Los satélites CDS son satélites experimentales en órbita baja diseñados para recoger información sobre la utilización de la citada banda por los servicios terrenales. Los satélites recopilaron datos durante aproximadamente 2 años desde una altitud de 750 km.

FIGURA 6
Exploración típica de CDS

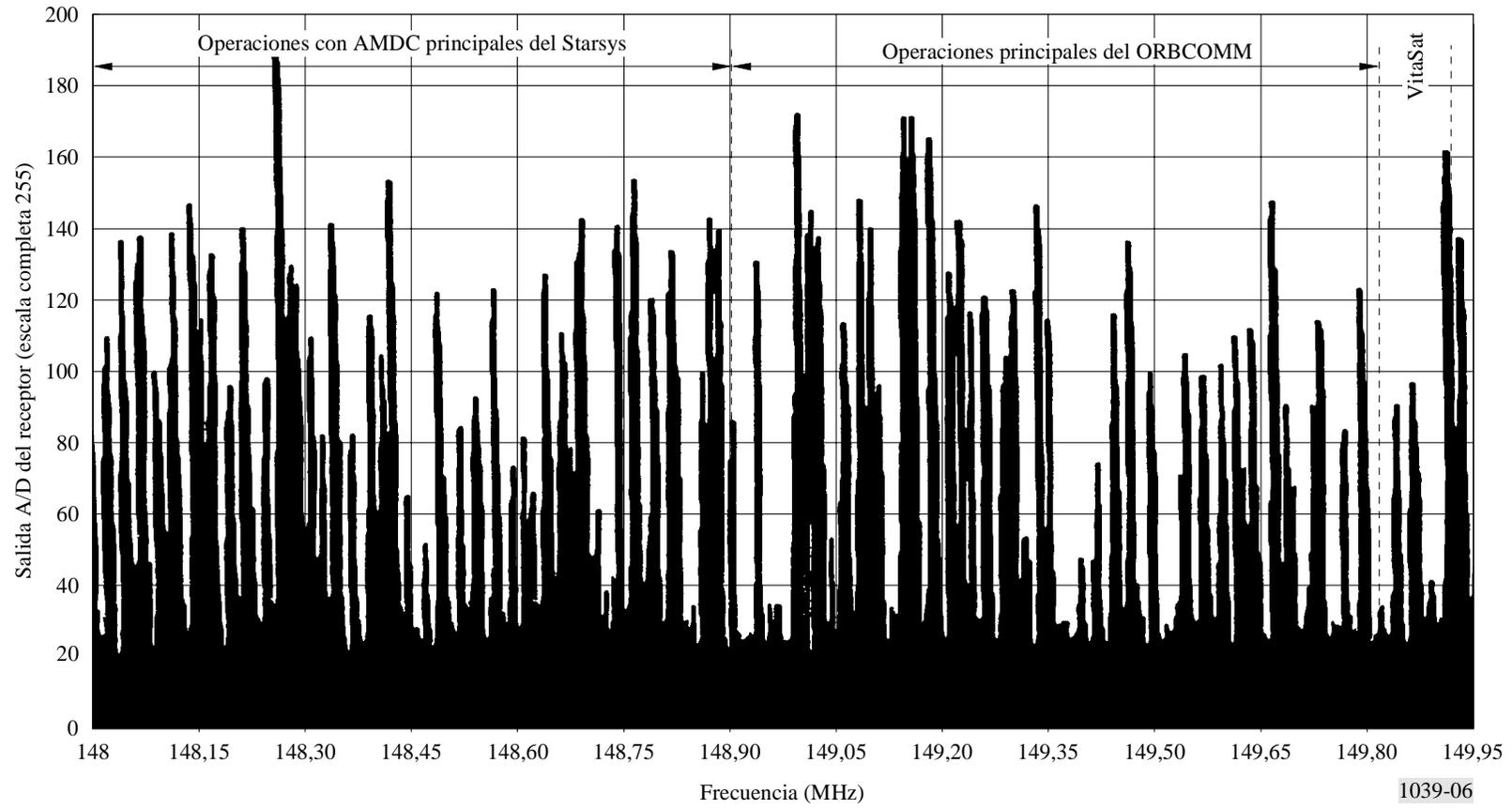
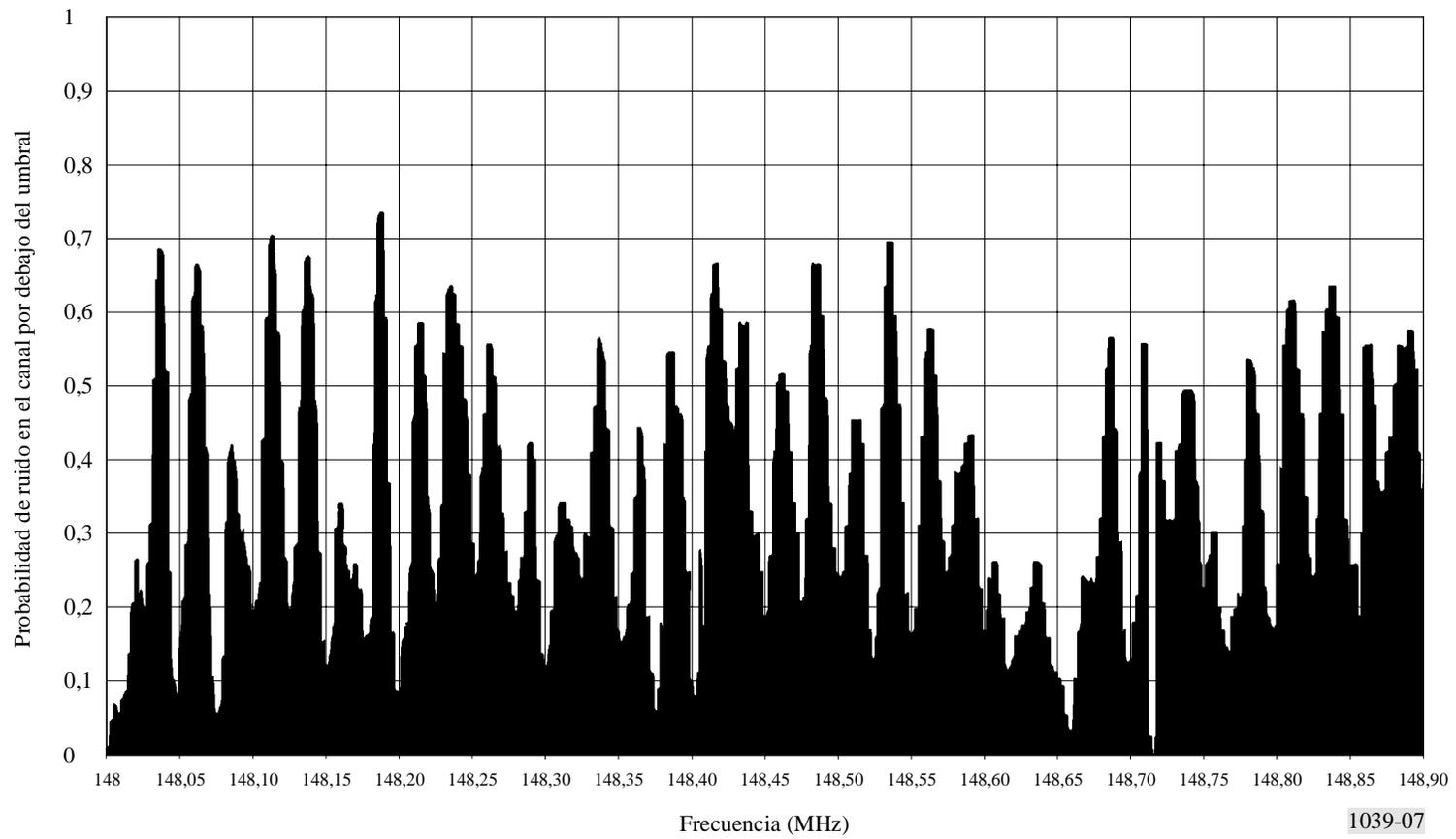


FIGURA 7
Probabilidad de encontrar canales libres de interferencia



5 Resumen

El SAADC es una técnica que optimiza la posibilidad de que los sistemas del SMS no-OSG que funcionan en frecuencias por debajo de 1 GHz puedan explotarse en modo cofrecuencia con servicios terrenales tales como los servicios fijo y móvil. Se ha demostrado que el tipo MF de los sistemas del SMS no-OSG en la banda 148-149,9 MHz que utiliza esta técnica pueden compartir frecuencias de forma óptima con otros servicios que poseen atribuciones primarias en la banda, en la medida en que lo permita la congestión de utilización y la probabilidad de canales libres de interferencia similar a la de la Fig. 7.
