

RECOMENDACIÓN UIT-R M.1039-2

COMPARTICIÓN DE FRECUENCIAS ENTRE ESTACIONES DEL SERVICIO MÓVIL POR DEBAJO DE 1 GHz Y ESTACIONES TERRENAS MÓVILES DE SISTEMAS DE SATÉLITES NO GEOESTACIONARIOS (TIERRA-ESPACIO) QUE UTILIZAN ACCESO MÚLTIPLE POR DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA (AMDF)

(Cuestiones UIT-R 83/8, UIT-R 84/8 y UIT-R 201/8)

(1994-1997-2000)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la compartición del espectro atribuido por las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones CAMR-92, CMR-95 y CMR-97 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 la Resolución 214 (Rev.CMR-97) invita al UIT-R a que estudie y elabore Recomendaciones sobre los requisitos de calidad de funcionamiento, los criterios de compartición y los aspectos técnicos y de explotación relacionados con la compartición entre los servicios existentes y previstos, y el SMS no OSG por debajo de 1 GHz;
 - c) que el SMS LEO puede ofrecer importantes servicios de radiocomunicaciones, incluido el de alerta de emergencia (véase la Nota 1).
- NOTA 1 – Sin embargo, estos servicios no se identificarán como servicios de seguridad, tal como define el Reglamento de Radiocomunicaciones;
- d) que el empleo de LEO permite a las estaciones espaciales utilizar en la práctica frecuencias inferiores a 1 GHz;
 - e) que introduciendo algunas técnicas de coordinación y canalización utilizadas en los sistemas de radiocomunicaciones de los servicios fijo y móvil en bandas por debajo de 1 GHz puede obtenerse en canales individuales una carga de tráfico (en Erlang) baja;
 - f) 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;
 - g) que los usuarios del SMS no OSG se encuentran distribuidos a lo largo de amplias zonas geográficas;
 - h) que las transmisiones de las estaciones terrenas móviles (ETM) se efectúan en ráfagas de breve duración;
 - j) que las características de la señal en el SMS por debajo de 1 GHz pueden permitir la compartición cocanal con los servicios móviles;
 - k) que es necesario determinar las posibilidades de compartición entre el SMS y el servicio móvil considerando a la vez las repercusiones de las transmisiones del servicio móvil sobre los receptores de los satélites del SMS;
 - l) que mediante técnicas de establecimiento de modelos estadísticos puede realizarse una estimación de la probabilidad de que el SMS cause interferencia al servicio móvil,

considerando además

- a) que, en muchos países, las atribuciones al servicio móvil son ampliamente utilizadas y en algunos casos experimentan periodos de elevada carga de tráfico;
- b) que la Recomendación UIT-R P.370 proporciona un modelo de propagación que utiliza un modelo de dispersión para la banda de ondas métricas,

observando

- a) que se necesitan estudios adicionales para determinar si los modelos estadísticos son plenamente aplicables a los servicios móviles marítimo y aeronáutico;

- b) que la distribución de los usuarios de las ETM puede concentrarse en una zona específica situada dentro de la huella de un satélite, teniendo en cuenta las restricciones geográficas;
- c) que en la Recomendación UIT-R M.1184 figuran las características técnicas de las redes del SMS no OSG por debajo de 1 GHz que se consideran adecuadas para establecer modelos y analizar la compartición y la posible interferencia entre las estaciones terrenas móviles y las ETM de los servicios móviles,

recomienda

- 1 que para obtener una primera aproximación de la probabilidad de interferencia causada por las ETM del SMS no OSG a las estaciones móviles terrestres (EMT) que funcionan generalmente en la misma banda de frecuencias se utilice la metodología analítica descrita en el Anexo 1;
- 2 que se lleve a cabo un cálculo más preciso de la probabilidad de interferencia utilizando los métodos estadísticos detallados descritos en el Anexo 2 o el Anexo 3 para evaluar la compartición entre las estaciones del servicio móvil y las ETM que utilizan AMDF con OSG y atribuciones primarias (Tierra-espacio) en la misma banda de frecuencias por debajo de 1 GHz;
- 3 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 4 a fin de mejorar la compatibilidad con los servicios terrenales.

ANEXO 1

Metodología analítica para calcular la probabilidad de interferencia causada por las estaciones terrenas del SMS no OSG a las EMT que funcionan por debajo de 1 GHz

1 Introducción

El presente Anexo describe una metodología analítica para calcular la probabilidad de interferencia, considerando la posible interferencia causada por las ETM a las estaciones de base de los actuales sistemas de EMT, y utilizando un modelo de propagación obtenido de la Recomendación UIT-R P.370.

El método propuesto puede utilizarse para evaluar fácilmente la probabilidad de interferencia y se aplica a cualquier sistema del SMS no OSG que utilice AMDF. El empleo de este método facilitaría los análisis de compartición de frecuencias entre los sistemas del SMS no OSG y los actuales sistemas del servicio móvil por debajo de 1 GHz.

2 Modelo de interferencia entre un sistema del SMS no OSG y un sistema de comunicaciones móviles terrestres

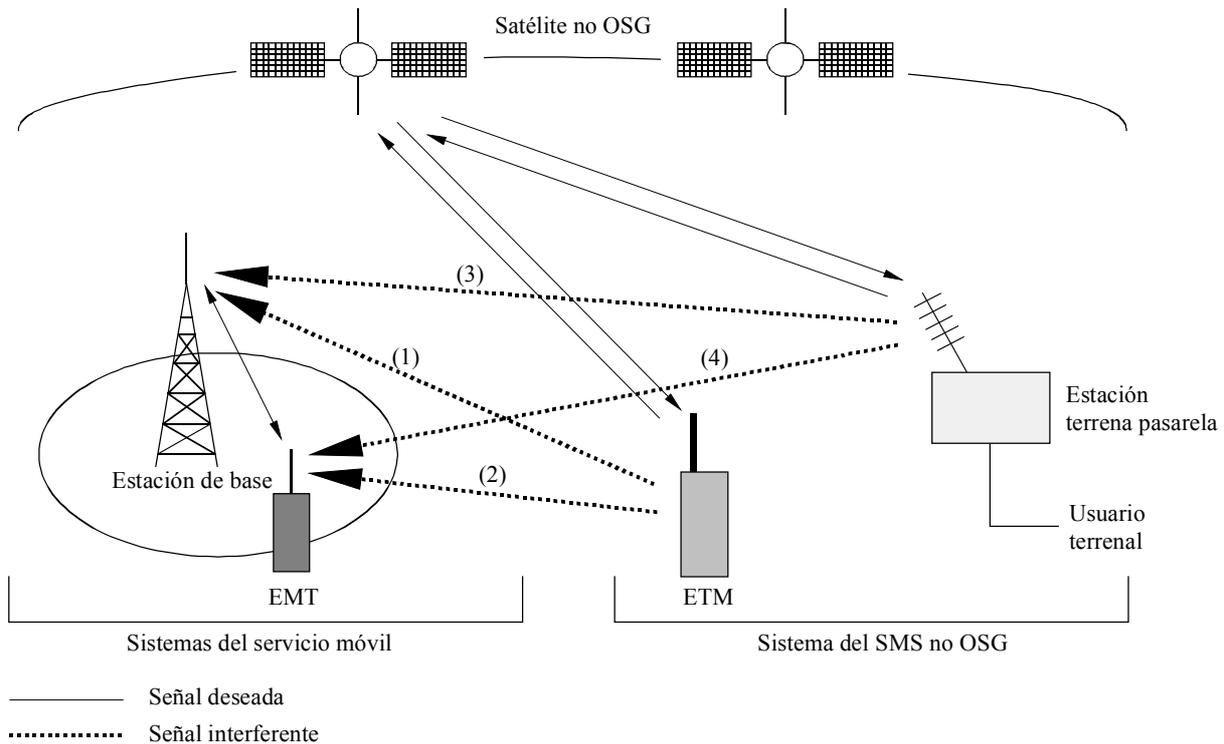
La banda de frecuencias 148-149,9 MHz atribuida a los sistemas del SMS no OSG en sentido Tierra-espacio se utiliza para los enlaces de ida y vuelta de los sistemas de comunicaciones móviles terrestres. El funcionamiento de los sistemas del SMS no OSG en la banda de frecuencias 148-149,9 MHz podría provocar los cuatro casos de interferencia siguientes entre estos dos sistemas, como se representa en la Fig. 1:

- (1) Interferencia causada por una ETM de un sistema del SMS no OSG a una estación de base del sistema del servicio móvil existente.
- (2) Interferencia causada por una ETM a una EMT del sistema del servicio móvil existente.
- (3) Interferencia producida por una estación terrena pasarela de un sistema del SMS no OSG a una estación de base.
- (4) Interferencia producida por una estación terrena pasarela a una EMT.

Entre estos cuatro casos de interferencia, (1) y (2) son los trayectos de interferencia de la ETM a los sistemas del servicio móvil existentes.

FIGURA 1

Modelo de interferencia entre sistemas del SMS no OSG y sistemas del servicio móvil



1039-01

Este Anexo describe la metodología para evaluar la probabilidad de interferencia en los trayectos de interferencia (1) y (2).

Para los trayectos de interferencia (1) y (2) es necesario evaluar los sistemas existentes en los dos modos de funcionamiento siguientes:

- modo comunicaciones,
- modo espera.

El modo espera se produce cuando no se intercambia información entre dos estaciones pero los receptores del servicio móvil están preparados para aceptar toda llamada o información. Cuando el sistema del servicio móvil se encuentra en modo espera, los receptores, salvo los que utilizan técnicas de silenciador de tono, interrumpirán el silenciador durante la longitud de la ráfaga $+\alpha$ (máximo $450 \text{ ms} +\alpha$, por ejemplo) emitida por la ETM con la probabilidad de interferencia mencionada a continuación.

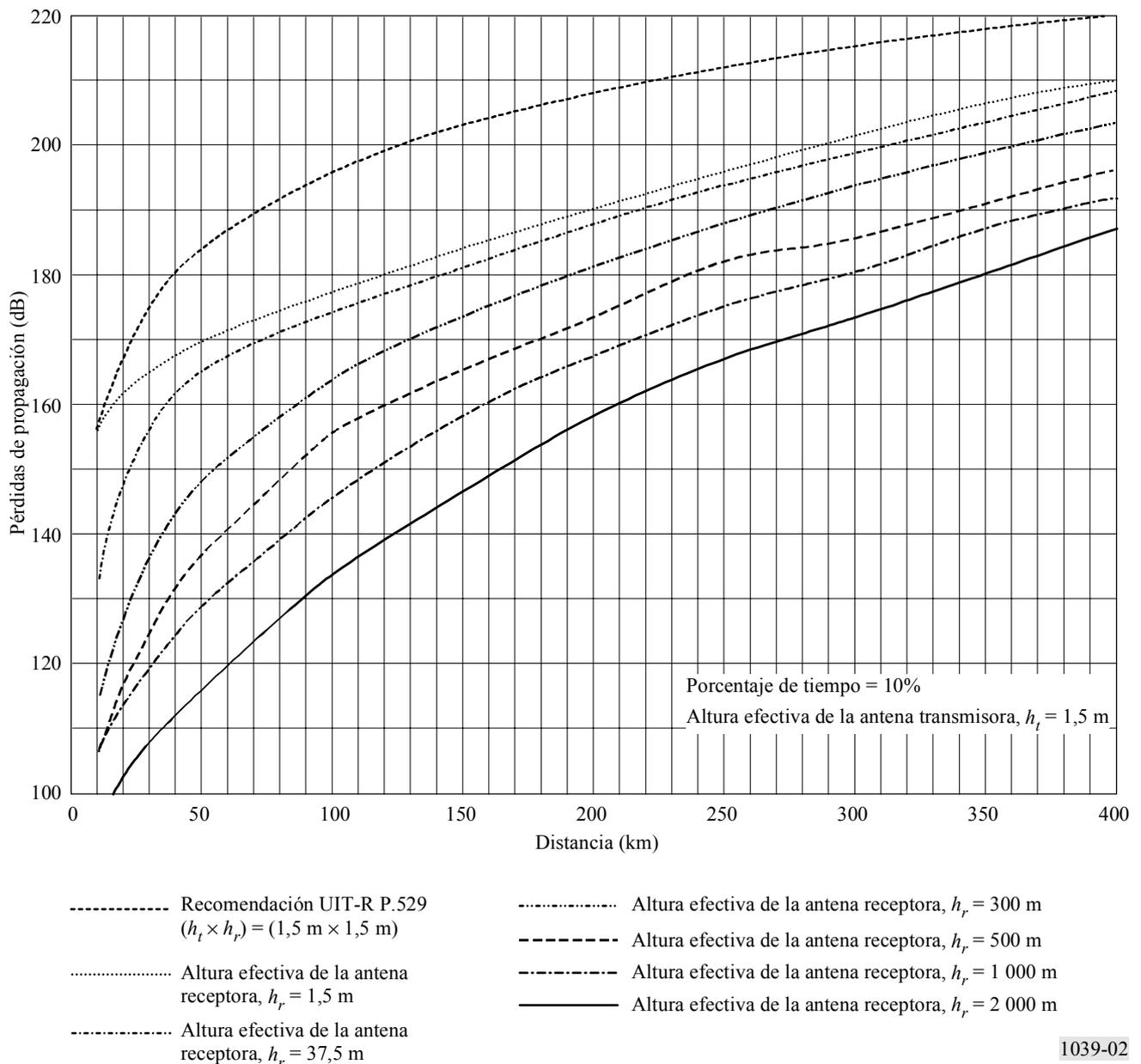
En lo que sigue se presenta la metodología para evaluar la probabilidad de interferencia que aparece en los trayectos de interferencia (1) y (2) mostrados en la Fig. 1, cuando los sistemas existentes se encuentran en los modos comunicaciones y espera.

3 Pérdidas de propagación entre la ETM y la estación de base de un sistema del servicio móvil

Entre los textos del UIT-R, la Recomendación UIT-R P.370 describe las pérdidas de propagación en la banda de ondas métricas en transmisiones realizadas desde antenas de elevada altitud. Esta Recomendación muestra los resultados experimentales sobre los valores de intensidad de campo de señales de televisión en la banda de ondas métricas que aparecen en una estación receptora situada a una distancia de d km. Se indican los resultados para varias alturas de antena. Por estas razones, las pérdidas de propagación necesarias para obtener la distancia de coordinación de interferencia entre la ETM y la estación de base se evalúa en este modelo basándose en la Recomendación UIT-R P.370. La Fig. 2 muestra las pérdidas de propagación en ondas métricas a la distancia de propagación para diversas alturas de antena, obtenidas de la Recomendación UIT-R P.370. En el cálculo de las pérdidas de propagación mostrado en la Fig. 2, se utiliza un porcentaje de tiempo del 10%. Para otras bandas de frecuencias, es necesario volver a trazar la Fig. 2.

FIGURA 2

Pérdidas de propagación en la banda de ondas métricas (basadas en la Recomendación UIT-R P.370)



4 Parámetros del sistema

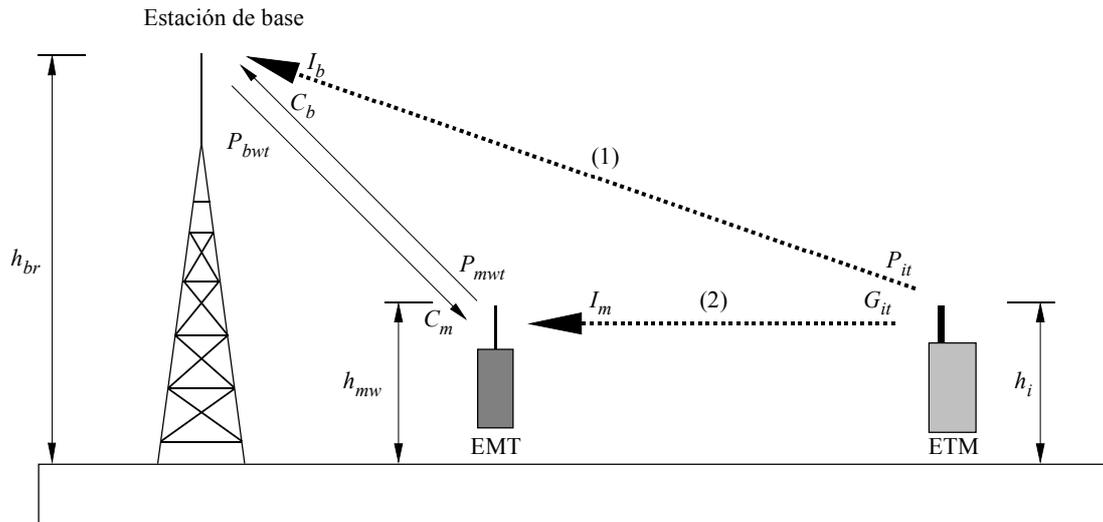
La Fig. 3 representa el modelo de interferencia causada por la ETM a la estación de base y a la EMT del sistema del servicio móvil existente. A continuación se resumen los parámetros del sistema de la estación de base, de la EMT y de la ETM utilizados en la siguiente consideración. El sufijo i indica sistema interferente, w quiere decir sistema interferido, t es el transmisor y r es el receptor. Además, b y m indican estación de base y EMT, respectivamente.

4.1 Parámetros de la ETM (estación interferente):

- Lado transmisión
 - Potencia de transmisión: P_{it} (dBm)
 - Ganancia de la antena de transmisión: G_{it} (dB)
 - Altura de la antena de la ETM: h_i (m)

FIGURA 3

Modelo de interferencia entre sistemas ETM y el sistema del servicio móvil existente



1039-03

4.2 Parámetros de la estación de base (estación interferida):

- Lado transmisión
 - Potencia de transmisión: P_{bwt} (dBm)
 - Ganancia de la antena de transmisión: G_{bwt} (dB)
 - Pérdidas en el alimentador de transmisión: L_{bwt} (dB)
 - Altura de la antena de la estación de base: h_{bw} (m)
- Lado recepción
 - Ganancia de la antena de recepción: G_{bwr} (dB)
 - Pérdidas en el alimentador de recepción: L_{bwr} (dB)
 - Altura de la antena de la estación de base: h_{bw} (m)
 - Sensibilidad del receptor: C_b (dBm)
 - C/I requerida: $(C/I)_{br}$ (dB)
 - Nivel de interferencia admisible: I_b (dBm)
 - Sensibilidad del silenciador: P_{bsd} (dBm)

4.3 Parámetros de la EMT (estación interferida):

- Lado transmisión
 - Potencia de transmisión: P_{mwt} (dBm)
 - Ganancia de la antena de transmisión: G_{mwt} (dB)
 - Altura de la antena de la EMT: h_{mw} (m)
- Lado recepción
 - Ganancia de la antena de recepción: G_{mwr} (dB)
 - Altura de la antena de la EMT: h_{mw} (m)
 - Sensibilidad del receptor: C_m (dBm)
 - C/I requerida: $(C/I)_{mr}$ (dB)
 - Nivel de interferencia admisible: I_m (dBm)
 - Sensibilidad del silenciador: P_{msd} (dBm).

5 Cálculo de la distancia de coordinación de interferencia cuando el sistema del servicio móvil existente se encuentra en modo comunicaciones

5.1 Interferencia causada por la ETM a la estación de base (trayecto (1) de la Fig. 3)

Se supone que d_1 es la máxima distancia entre la estación de base y la EMT a la que la señal transmitida por esta última puede recibirse en la estación de base con la relación S/N necesaria. Esta distancia d_1 equivale al radio de la zona de servicio del sistema del servicio móvil existente; es decir, el círculo de radio d_1 cuyo centro es la estación de base representa la zona de servicio para el sistema del servicio móvil. Bajo estas hipótesis y con una sensibilidad del receptor de la estación de base de C_b , se obtiene la ecuación (1):

$$C_b = P_{mwt} + G_{mwt} - L(d_1) + G_{bwr} - L_{bwr} \quad (1)$$

donde:

P_{mwt} : potencia de transmisión de la EMT

G_{mwt} : ganancia de la antena de transmisión de la EMT

$L(d_1)$: pérdidas de propagación a lo largo de la distancia d_1 entre la estación de base y la EMT

G_{bwr} : ganancia de la antena de recepción de la estación de base

L_{bwr} : pérdidas en el alimentador de recepción de la estación de base.

A partir de la ecuación (1), las pérdidas de propagación entre la estación de base y la EMT se expresan mediante la ecuación (2) y la distancia de propagación, d_1 , puede obtenerse utilizando la Fig. 2:

$$L(d_1) = P_{mwt} + G_{mwt} + G_{bwr} - L_{bwr} - C_b \quad (2)$$

La relación $(C/I)_{br}$ requerida en la estación de base puede expresarse mediante la ecuación (3):

$$(C/I)_{br} = C_b - I_b \quad (3)$$

siendo:

$(C/I)_{br}$: relación entre la potencia de la señal deseada necesaria y la potencia de la señal de interferencia en la estación de base

C_b : sensibilidad del receptor de la estación de base

I_b : potencia de interferencia admisible procedente de la ETM.

Partiendo de la ecuación (3), puede expresarse el nivel de potencia de interferencia admisible mediante la ecuación (4):

$$I_b = C_b - (C/I)_{br} \quad (4)$$

Suponiendo que funcionan en la misma banda varios sistemas del SMS no OSG, el nivel de potencia de interferencia admisible indicado en la ecuación (4) será compartido por estos sistemas del SMS no OSG. En el caso de múltiples sistemas del SMS no OSG funcionando en la misma banda de frecuencias, debe utilizarse la ecuación (5) en vez la ecuación (4):

$$I_b = C_b - (C/I)_{br} - \alpha \quad (5)$$

siendo α el factor de corrección para el caso de múltiples sistemas del SMS no OSG funcionando en la misma banda de frecuencias. Si cada uno de los sistemas del SMS no OSG puede utilizar la banda de frecuencias especializada empleando el método de segmentación de banda, el nivel de potencia de interferencia admisible para cada sistema puede venir indicado por la ecuación (4).

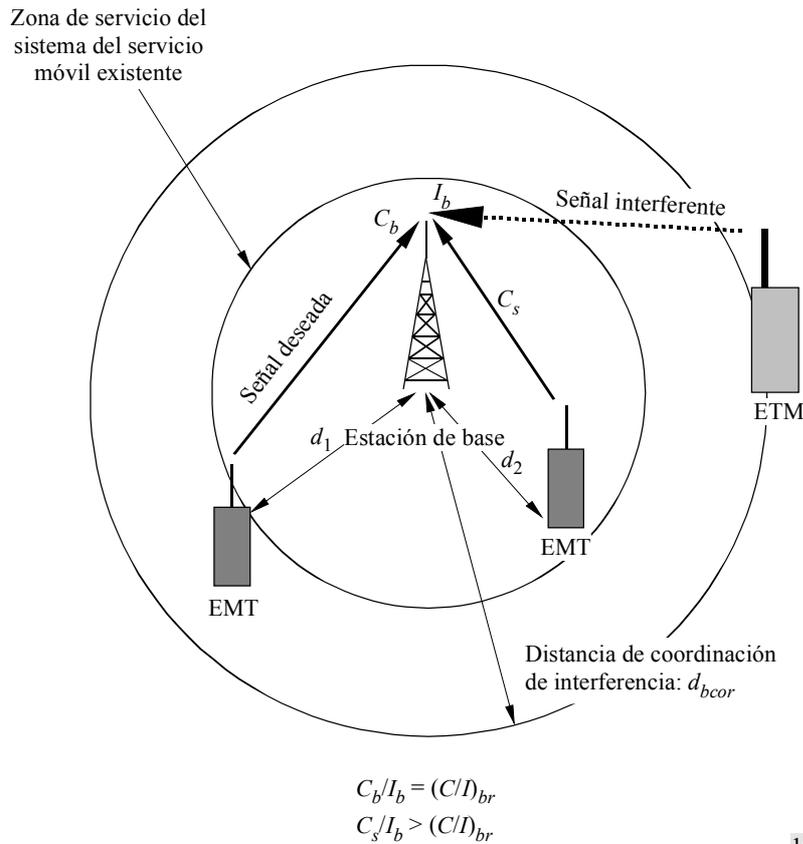
Cuando la estación de base y la ETM están separadas la distancia de coordinación de interferencia, d_{bcor} , la potencia de la señal de interferencia procedente de la ETM se recibirá en la estación de base como el nivel de potencia de interferencia admisible, I_b . Por consiguiente, puede obtenerse la ecuación (6). Estas relaciones se representan en la Fig. 4.

$$I_b = P_{it} + G_{it} - L(d_{bcor}) + G_{bwr} - L_{bwr} - I_{so} \quad (6)$$

donde I_{so} representa el aislamiento en caso de que el sistema del SMS no OSG adopte los canales intersticiales situados entre los canales del sistema existente. En el Anexo 2 aparecen los resultados de la simulación informática sobre la mejora del nivel de aislamiento de canal adyacente en el sistema de canalización intersticial.

FIGURA 4

Distancia de coordinación de interferencia para la estación de base en modo comunicaciones



1039-04

A partir de las ecuaciones (4) y (6), cuando la estación de base y la ETM están separadas por la distancia de coordinación de interferencia, d_{bcor} , las pérdidas de propagación, $L(d_{bcor})$ se expresan mediante la ecuación (7):

$$\begin{aligned}
 L(d_{bcor}) &= P_{it} + G_{it} + G_{bwr} - L_{bwr} - I_{so} - I_b \\
 &= P_{it} + G_{it} + G_{bwr} - L_{bwr} - I_{so} - C_b + (C/I)_{br}
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

A partir de la ecuación (7) y de la Fig. 2 puede obtenerse el valor de d_{bcor} que representa la distancia de coordinación de interferencia entre la estación de base y la ETM cuando la EMT del sistema existente está realizando una comunicación en el borde de la zona de servicio. En otras palabras, se supone que todas las EMT están funcionando en el borde de la zona de servicio. Se deduce de forma evidente de la Fig. 4 que las EMT más cercanas a la estación de base pueden asegurar una relación S/N superior.

5.2 Interferencia causada por la ETM a la EMT (trayecto (2) de la Fig. 3)

Se supone que d_2 es la distancia máxima entre la estación de base y la EMT a la que la señal transmitida desde la estación de base pueden recibirse en la EMT con la S/N necesaria. Esta distancia d_2 equivale a la máxima distancia a la cual la EMT puede recibir señales procedentes de la estación de base con la S/N necesaria.

Con esas hipótesis y suponiendo una sensibilidad del receptor de la EMT de C_m , se obtiene la ecuación (8):

$$C_m = P_{bwt} + G_{bwt} - L_{bwt} - L(d_2) + G_{mwr}
 \tag{8}$$

siendo:

- P_{bwt} : potencia de transmisión de la estación de base
- G_{bwt} : ganancia de la antena de transmisión de la estación de base
- L_{bwt} : pérdidas en el alimentador de transmisión de la estación de base
- $L(d_2)$: pérdidas de propagación en la distancia d_2 entre la estación de base y la EMT
- G_{mwr} : ganancia de la antena de recepción de la EMT.

A partir de la ecuación (8), pueden expresarse las pérdidas de propagación entre la estación de base y la EMT mediante la ecuación (9):

$$L(d_2) = P_{bwt} + G_{bwt} - L_{bwt} + G_{mwr} - C_m \quad (9)$$

siendo:

$(C/I)_{mr}$: relación entre la potencia de la señal deseada requerida y la potencia de la señal de interferencia en la EMT

C_m : sensibilidad del receptor de la EMT

I_m : potencia de interferencia admisible.

Esto se expresa mediante la ecuación (10):

$$(C/I)_{mr} = C_m - I_m \quad (10)$$

A partir de la ecuación (10), puede expresarse el nivel de interferencia admisible, I_m , mediante la ecuación (11):

$$I_m = C_m - (C/I)_{mr} \quad (11)$$

En el caso de que más de un sistema del SMS no OSG funcione en la misma banda de frecuencias, se requiere el mismo factor de corrección definido en la ecuación (5) para obtener el nivel de potencia de interferencia admisible para cada uno de los sistemas del SMS no OSG.

Si la EMT y la ETM están separadas por la distancia de coordinación de interferencia, d_{mcor} , la potencia de interferencia procedente de la ETM se recibirá en la EMT como la potencia de interferencia admisible, I_m , como muestra la Fig. 5. Ello puede expresarse mediante la ecuación (12):

$$I_m = P_{it} + G_{it} - L(d_{mcor}) + G_{mwr} - I_{so} \quad (12)$$

A partir de las ecuaciones (11) y (12), las pérdidas de propagación en la distancia de coordinación de interferencia, $L(d_{mcor})$, pueden expresarse mediante la ecuación (13):

$$\begin{aligned} L(d_{mcor}) &= P_{it} + G_{it} + G_{mwr} - I_{so} - I_m \\ &= P_{it} + G_{it} + G_{mwr} - I_{so} - C_m + (C/I)_{mr} \end{aligned} \quad (13)$$

A partir de la ecuación (13) y de la Fig. 2, puede obtenerse un d_{mcor} que representa la distancia de coordinación de interferencia entre la EMT y la ETM. Esta distancia de coordinación corresponde al caso en que la EMT establece comunicaciones en el borde de la zona de servicio del sistema existente. Esta hipótesis permite a las EMT situadas más cerca de la estación de base obtener un valor más elevado de la relación S/N , como se ilustra en la Fig. 5.

6 Cálculo de la distancia de coordinación de interferencia cuando el sistema del servicio móvil existente se encuentra en modo espera

6.1 Interferencia causada por la ETM a la estación de base (trayecto (1) de la Fig. 3)

Como se ilustra en la Fig. 6, se supone que la estación de base recibe una potencia de interferencia igual a su sensibilidad del silenciador cuando la ETM emite a una distancia, d_{bi} , de la estación de base. En este caso, la distancia, d_{bi} , representa la distancia de coordinación de interferencia entre la ETM y la estación de base en el modo espera. Siendo P_{bsd} la sensibilidad del silenciador de la estación de base, puede obtenerse la ecuación (14):

$$P_{bsd} = P_{it} + G_{it} - L(d_{bi}) + G_{bwr} - L_{bwr} - I_{so} \quad (14)$$

$L(d_{bi})$ es la distancia entre la estación de base y la ETM que hace que la estación de base reciba una potencia de interferencia igual a su sensibilidad del silenciador. A partir de la ecuación (14) y la Fig. 2 puede obtenerse la distancia de coordinación de interferencia, d_{bi} .

6.2 Interferencia causada por la ETM a la EMT (trayecto (2) de la Fig. 3)

Como se ilustra en la Fig. 7, se supone que la EMT recibe una potencia de interferencia igual a su sensibilidad del silenciador cuando la ETM emite a una distancia, d_{mi} , de la EMT. En este caso, la distancia, d_{mi} , representa la distancia de coordinación de interferencia entre la ETM y la EMT en el modo espera. Siendo P_{msd} la sensibilidad del silenciador de la EMT, puede escribirse la ecuación (15):

$$P_{msd} = P_{it} + G_{it} - L(d_{mi}) + G_{mwr} - L_{mwr} - I_{so} \quad (15)$$

$L(d_{mi})$ es la distancia entre la EMT y la ETM que hace que la EMT reciba una potencia de interferencia igual a su sensibilidad del silenciador. A partir de la ecuación (15) y de la Fig. 2, puede obtenerse la distancia de coordinación de interferencia, d_{mi} .

FIGURA 5
Distancia de coordinación de interferencia para una EMT en modo comunicaciones

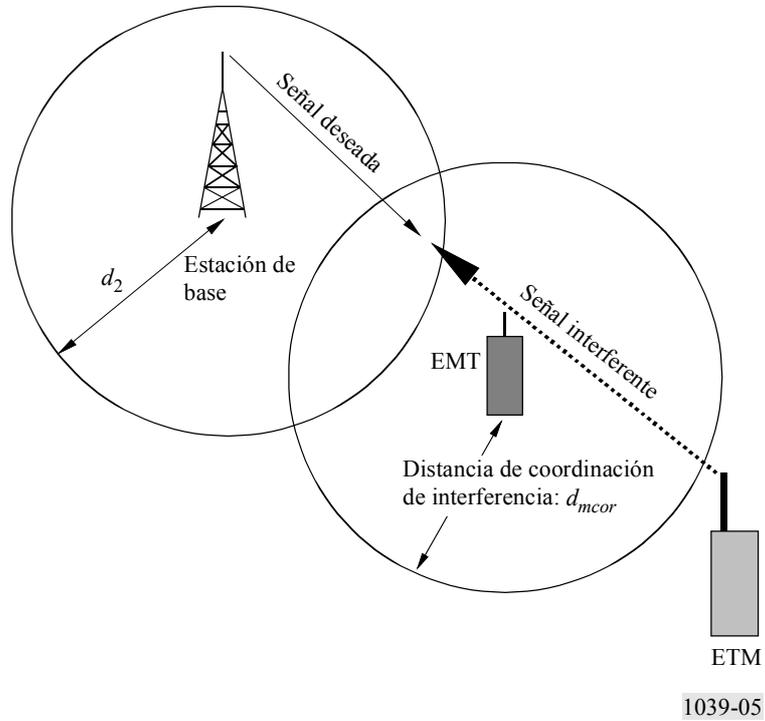


FIGURA 6
Distancia de coordinación de interferencia para la estación de base en modo espera

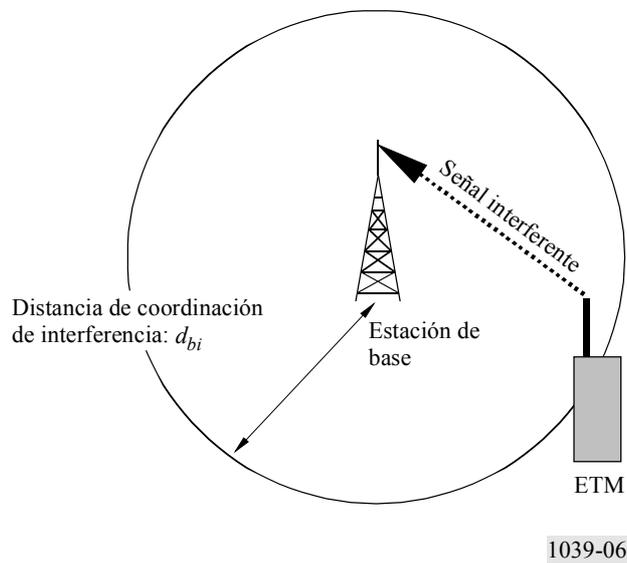
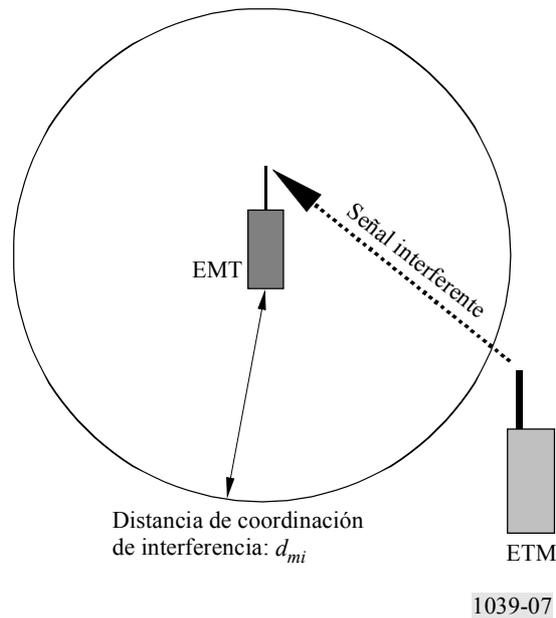


FIGURA 7

**Distancia de coordinación de interferencia
para una EMT en modo espera**



7 Evaluación de la probabilidad de interferencia

En los puntos anteriores, se indican los métodos para evaluar las distancias de coordinación de interferencia para dos posibles trayectos de interferencia entre la ETM y la estación de base y entre la ETM y la EMT, cuando los sistemas existentes se encuentran en modo comunicaciones y en modo espera, respectivamente. Este punto propone un método para obtener la probabilidad de interferencia.

7.1 Probabilidad de transmisión cocanal del sistema del servicio móvil y de la ETM

P_I es la probabilidad de que un canal utilizado por un sistema del servicio móvil sufra una interferencia cocanal procedente de una ETM y se evalúa de la forma siguiente:

$$P_I = \sum_{i=0}^m (P(\text{Interferencia causada al servicio móvil} | i \text{ canales activos}) \times P(i \text{ canales activos})) \quad (16)$$

donde $P(i \text{ canales activos})$ indica la probabilidad de que i canales se encuentren ocupados por las ETM activas del sistema de satélites y m es el número máximo de canales que pueden funcionar simultáneamente en un satélite no geostacionario. La evaluación de P_I de caso más desfavorable puede realizarse para las siguientes condiciones:

$$P(m \text{ canales activos}) = 1$$

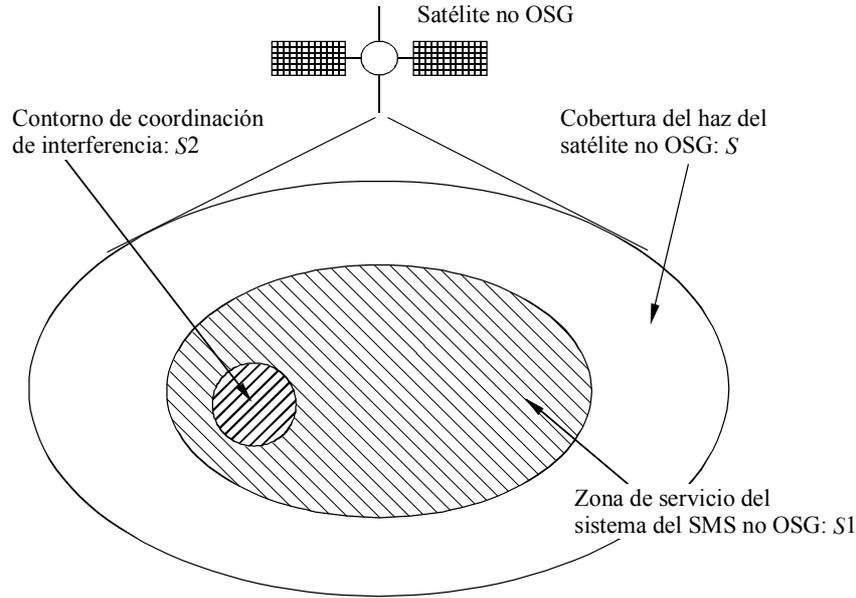
$$P(i \text{ canales activos}) = 0 \quad (i \neq m)$$

Suponiendo que las ETM se encuentran uniformemente distribuidas en la zona de cobertura del SMS, el máximo número de canales que pueden funcionar simultáneamente para un satélite no geostacionario viene dado por la ecuación (17):

$$m(S2) = m \times \frac{S2}{S1} \quad (17)$$

siendo $S1$ la cobertura de servicio del sistema del SMS y $S2$ el contorno de coordinación de interferencia con un radio igual a la distancia de coordinación de interferencia. La Fig. 8 muestra la relación entre las superficies de $S1$ y $S2$.

FIGURA 8
 Diagrama ilustrativo para obtener la probabilidad de que
 esté activada una ETM



1039-08

Ello se debe a que P (interferencia causada al servicio móvil | i canales activos) toma el valor más elevado cuando $i = m(S2)$. Por consiguiente, P_I para el caso más desfavorable pasa a ser:

$$P_I = P(\text{Interferencia causada al servicio móvil} | m(S2) \text{ canales activos}) \quad (18)$$

Si esta hipótesis es demasiado pesimista, puede multiplicarse la expresión por un factor η_L para tener en cuenta el porcentaje de tiempo en que se está utilizando el sistema del SMS no OSG, es decir:

$$P_I = P(\text{Interferencia causada al servicio móvil} | m(S2) \text{ canales activos}) \times \eta_L \quad (19)$$

Suponiendo que el máximo número de canales disponibles para el sistema del SMS no OSG es M , la probabilidad de que un canal seleccionado por la ETM entre $m(S2)$ canales cause interferencia al sistema del servicio móvil que utiliza el mismo canal, η_c viene dada por la ecuación (20):

$$\eta_c = \frac{m(S2)}{M} \times \gamma \quad (20)$$

siendo γ el factor de corrección para determinar la probabilidad de selección del canal por la ETM. Como la actividad de M canales no tiene a menudo una asignación uniforme debido al funcionamiento del sistema de asignación de actividad dinámica de canales (SAADC), el número máximo de canales disponibles debe considerarse con el factor de corrección.

Utilizando las ecuaciones (17) y (19), la probabilidad, P_I , indicada en la ecuación (18) puede obtenerse mediante la ecuación (21):

$$\begin{aligned} P_I &= \eta_c \times \eta_L \\ &= \frac{m(S2)}{M} \times \gamma \times \eta_L = \frac{m}{M} \times \gamma \times \frac{S2}{S1} \times \eta_L \end{aligned} \quad (21)$$

En la ecuación (21), la superficie de $S2$ puede determinarse utilizando la distancia de coordinación de interferencia que viene dada por las ecuaciones (7), (13), (14) y (15).

Cuando la estación de base o la EMT del sistema del servicio móvil existente se encuentra en modo comunicaciones, la probabilidad, P_I , puede obtenerse, respectivamente, mediante las ecuaciones (22) y (23).

Estación de base del sistema del servicio móvil en modo comunicaciones

$$P_{bc} = \left(\frac{m}{M} \right) \times \gamma \times \eta_L \times \pi \times \frac{(d_{bcor})^2}{S1} \quad (22)$$

EMT del sistema del servicio móvil en modo comunicaciones

$$P_{mc} = \left(\frac{m}{M} \right) \times \gamma \times \eta_L \times \pi \times \frac{(d_{mcor})^2}{S1} \quad (23)$$

Cuando la estación de base o la EMT del sistema del servicio móvil existente se encuentra en modo espera, la probabilidad P_I puede obtenerse, respectivamente, mediante las ecuaciones (24) y (25).

Estación de base del sistema del servicio móvil en modo espera

$$P_{bw} = \left(\frac{m}{M} \right) \times \gamma \times \eta_L \times \pi \times \frac{(d_{bi})^2}{S1} \quad (24)$$

EMT del sistema del servicio móvil en modo espera

$$P_{mw} = \left(\frac{m}{M} \right) \times \gamma \times \eta_L \times \pi \times \frac{(d_{mi})^2}{S1} \quad (25)$$

7.2 Otros parámetros que deben considerarse

Para evaluar la probabilidad de interferencia causada por la ETM al sistema existente en modo comunicaciones o en modo espera, es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros además de la probabilidad de que un canal utilizado por el sistema del servicio móvil sufra interferencia cocanal causada por una ETM.

Parámetro 1: Porcentaje de tiempo en que el sistema existente se encuentra en modo comunicaciones

El porcentaje de tiempo en que el sistema existente se encuentra en modo comunicaciones se supone que es η_m . En la práctica, el sistema existente normalmente funciona en modo unidireccional utilizando un terminal de tipo «pulse para hablar». En este caso, el porcentaje de tiempo para cada sentido del canal en modo comunicaciones es 1/2 de η_m .

Parámetro 2: Probabilidad de que el SAADC no detecte el canal activo utilizado por el sistema existente

El SAADC a bordo del satélite tiene capacidad para detectar todos los canales utilizados por el sistema existente; sin embargo, puede producirse un bloqueo entre la EMT y el satélite que desactive la capacidad del SAADC para detectar las señales transmitidas por la EMT. Teniendo esto en cuenta, la probabilidad de que el SAADC no detecte el canal activo utilizado por el sistema existente se supone que es η_D .

Parámetro 3: Factor de visibilidad del satélite en el caso de múltiples estaciones terrenas pasarela

Si en una zona determinada se encuentran instaladas más de una estación terrena pasarela, aumenta el número de satélites a los que pueden acceder simultáneamente las ETM y también se incrementa la probabilidad de causar interferencia al sistema existente. η_G es la relación entre el número disponible de canales con múltiples estaciones terrenas pasarela y una sola estación terrena pasarela.

Parámetro 4: Número de señales interferentes en la anchura de banda ocupada por la portadora del servicio móvil

Si la anchura de banda ocupada por la portadora del SMS no OSG es más reducida que la de la portadora del servicio móvil, podrán aparecer múltiples portadoras interferentes en la anchura de banda ocupada por la portadora del servicio móvil deseada. Bajo la hipótesis anterior, en el cálculo de la relación C/I puede considerarse el nivel de potencia de interferencia adicional dado por la ecuación (26):

$$I = 10 \log \left(\frac{B_w}{B_i} \right) \quad (26)$$

siendo B_w y B_i las anchuras de banda ocupadas, respectivamente, por la portadora del servicio móvil y la portadora de la ETM. Bajo la condición de que el sistema no OSG no asigne más de un canal en cada rejilla de frecuencias atribuida al sistema existente, no es necesario considerar el nivel de potencia de interferencia adicional indicado por la ecuación (26).

Entre los parámetros antes mencionados, se necesitan los parámetros 1 a 4 para evaluar la probabilidad de interferencia cuando el sistema existente se encuentra en modo comunicaciones y los parámetros 3 y 4 para evaluar la probabilidad de interferencia cuando el sistema existente se encuentra en modo espera.

7.3 Probabilidad global de interferencia

Basándose en lo dicho en los puntos anteriores, la probabilidad de interferencia, P_i , para dos posibles trayectos interferentes de la ETM a la estación de base y de la ETM a la EMT, ambas en modo comunicaciones y en modo espera, viene dada por las siguientes ecuaciones:

- El sistema del servicio móvil existente se encuentra en modo comunicaciones:

$$P_i \text{ (estación de base)} = P_{bc} \times \eta_D \times \eta_G \quad (27)$$

$$P_i(EMT) = P_{mc} \times \eta_D \times \eta_G \quad (28)$$

Cabe señalar que el porcentaje de tiempo de interferencia puede calcularse multiplicando P_i por el factor η_m .

- El sistema del servicio móvil existente se encuentra en modo espera:

$$P_i \text{ (estación de base)} = P_{bw} \times \eta_G \quad (29)$$

$$P_i(EMT) = P_{mw} \times \eta_G \quad (30)$$

ANEXO 2

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 (ETM) 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 ETM 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 ETM 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 ETM 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 ETM 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:

- $p.i.r.e._{em}$: p.i.r.e. máxima de la ETM (W)
- BW_{em} : anchura de banda de la señal del transmisor de la ETM (Hz)
- dfp_t : densidad de flujo de potencia considerada perjudicial (W/m^2)
- N_t : número máximo esperado de transmisores simultáneos de ETM
- $L(d)$: 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 ETM, 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 ETM 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 ETM 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 ETM, 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 ETM. Las funciones densidad de probabilidad para las dfp asociadas con dos o más transmisores de ETM 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 ETM

Las distribuciones de dfp resultantes vienen condicionadas por la probabilidad real de que uno o más transmisores de ETM 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 ETM 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, se utiliza un modelo de enlace de referencia para 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:

$$E(1 \text{ kW}) = 70 - 40 \log(d) - 10 \log(f) + 20 \log(h_1 h_2) - 10 \log(0,02 p) [1 - \exp(-0,1d)]^2 \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (31)$$

siendo:

- f : frecuencia comprendida en la gama de 20 a 1 000 MHz
- d : longitud del trayecto comprendida en la gama de 1 a 600 km
- h_1, h_2 : alturas efectivas (m) de las antenas de transmisión y recepción, respectivamente, con un valor mínimo de 1 m y limitado el producto ($h_1 h_2$) a un valor máximo de 300 m²
- p : porcentaje de tiempo durante el cual la intensidad de campo se rebasará, en la gama del 1 al 50%

donde E se evalúa para una potencia de 1 kW radiado por un dipolo de media longitud de onda (p.i.r.e. de 32,15 dBW) y E no debe rebasar el valor de espacio libre, E_{fs} , expresado en dB($\mu\text{V/m}$) por la ecuación (32):

$$E_{fs}(1 \text{ kW}) = 107 - 20 \log(d) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (32)$$

La intensidad de campo calculada debe modificarse de la siguiente forma para tener en cuenta la p.i.r.e. de la ETM:

$$E = E(1 \text{ kW}) + (P_{etm} - 32,15)$$

siendo:

- P_{etm} : p.i.r.e. de la ETM (dBW).

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

$$dfp(d) = \frac{(E \times 10^{-6})^2}{120 \pi} \quad \text{W/m}^2 \quad (33)$$

con E en $\mu\text{V/m}$.

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^2 . 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:

$$P_a(n) = \frac{\Lambda^n}{n!} \cdot e^{-\Lambda} \quad (34)$$

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 ETM 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 $P_a(n)$.

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 ETM 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 ETM (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 ETM, tienen alguna influencia en la distribución de las ETM.

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

$$P_s(d_i) = 2d_i / R^2 \quad (35)$$

siendo:

d_i : valores discretos de la distancia de separación

R : radio de la distancia de coordinación en torno al receptor móvil (km).

El aislamiento del filtro con respecto a una transmisión de ETM en los receptores de la estación móvil debe calcularse para unos desplazamientos de 2,5 kHz con respecto a la frecuencia de funcionamiento del receptor móvil.

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 debido al desplazamiento de frecuencia 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 ecuación (36):

$$\sum_{i=0}^{N_i} \sum_{j=0}^{N_f} P_{dfp} \left(\frac{dfp(d_i)}{A_j} \right) + = \frac{P_s(d)}{N_f} \quad (36)$$

siendo:

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

N_f : número de canales de frecuencia utilizados por el sistema del SMS.

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 ETM son las mismas y que las transmisiones de ETM 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.

$$\sum_{i=0}^{I_{\max}} \sum_{j=0}^{J_{\max}} P_{dfp3}(dfp_i + dfp_j) + = P_{dfp1}(dfp_i) \cdot P_{dfp2}(dfp_j) \quad (37)$$

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 ETM

La probabilidad de que en una unidad de tiempo determinada aparezcan una o más transmisiones de ETM 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 ETM 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:

$$P_e(\Lambda, \tau) = \sum_{i=1}^{N_t} \frac{\Lambda^i}{i!} \cdot e^{-\Lambda} \cdot \left(1 - \sum_{-\infty}^{\tau} P_{dfpn}(dfp) \right) \quad (38)$$

APÉNDICE 1

AL ANEXO 2

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 ETM 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
- anchura de banda de funcionamiento del SMS: alrededor de 2 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.

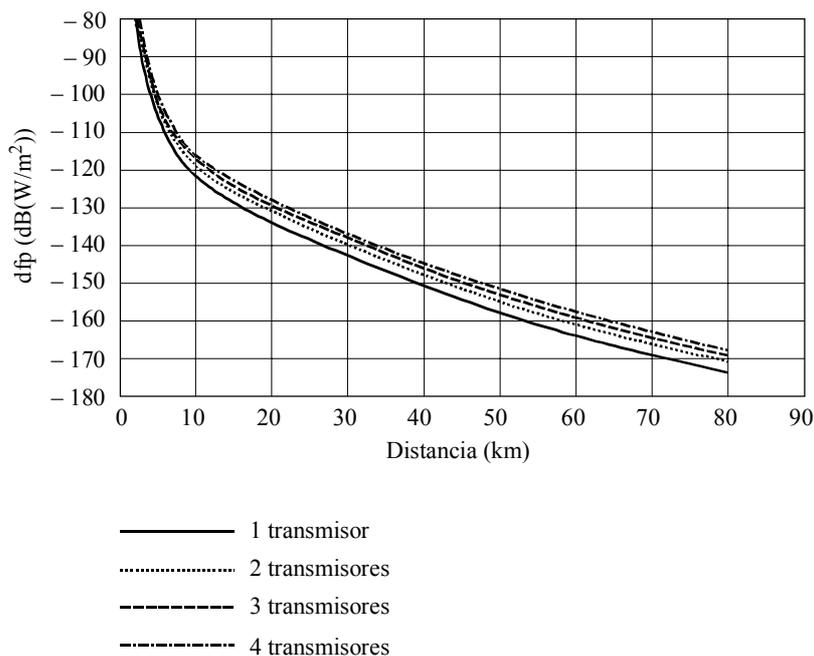
El ejemplo supone el siguiente aislamiento entre el transmisor de la ETM y el receptor del sistema móvil para desplazamientos de frecuencia próximos a la frecuencia de funcionamiento del receptor móvil. Para las transmisiones de la ETM con desplazamientos de frecuencia superiores a 12,5 kHz con respecto a la frecuencia del receptor móvil, se supone un aislamiento de 23 dB.

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 ETM, puede calcularse la d_{fp} en función de la distancia como se describe en el § 4 del Anexo 2. En este ejemplo se utiliza un valor de $p = 1\%$. En la Fig. 9 se representa la d_{fp} en función de la distancia, para 1, 2, 3 y 4 transmisores de ETM 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 2.

FIGURA 9
 d_{fp} en función de la distancia



A partir de la Fig. 9 puede determinarse que un criterio de protección de $-140 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ sería rebasado por:

- un transmisor a una distancia de 27 km,
- dos transmisores a una distancia de 30 km,
- tres transmisores a una distancia de 32 km,
- cuatro transmisores a una distancia de 34 km.

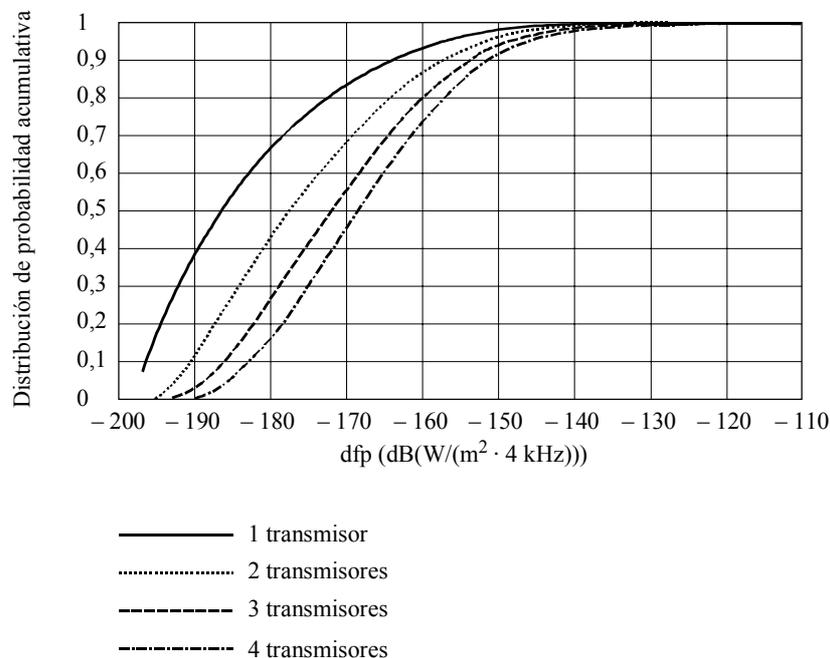
Por consiguiente, el contorno de coordinación se definiría con un radio de 34 km para un criterio de protección de $-140 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$.

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 2.

3 Distribuciones de la dfp

En la Fig. 10 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 ETM 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 $-150 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$. Obsérvese que los resultados aparecen como funciones de distribución acumulativa. La dfp más baja en la función distribución acumulativa es del orden de $-197 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$. Este valor es una combinación de la dfp de $-174 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ obtenida mediante el modelo de propagación y del aislamiento por desplazamiento de frecuencia de 23 dB.

FIGURA 10
Distribuciones de probabilidad acumulativas en función de la dfp
para 1, 2, 3 y 4 transmisores en la ETM



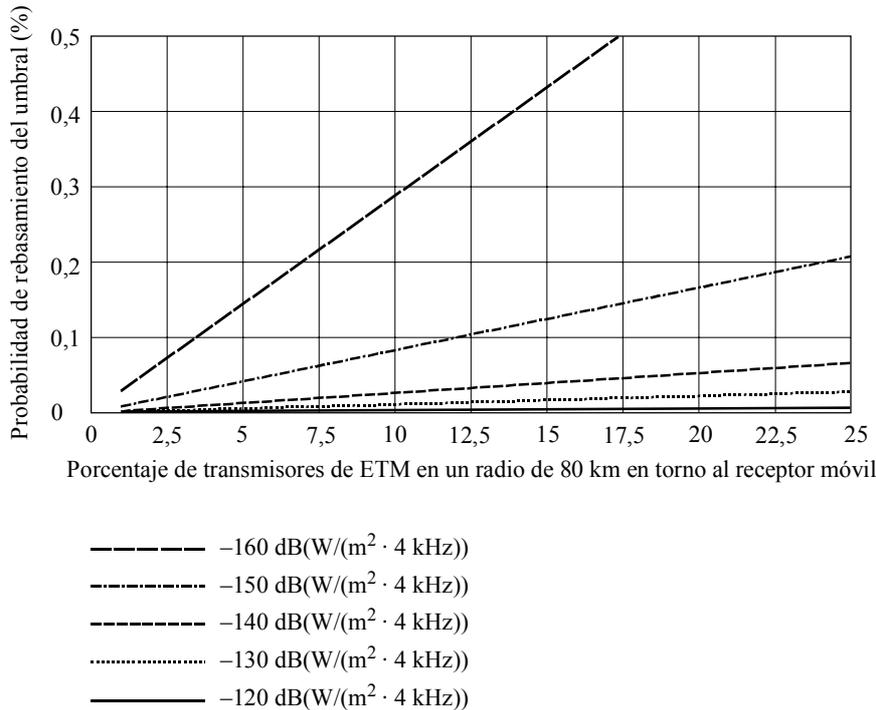
1039-10

Puede calcularse la probabilidad de que un criterio de protección de dfp no se rebasa cuando hay n transmisores activos calculando el valor de la función de distribución acumulativa para dicha dfp y para n portadoras. La probabilidad de que se rebasa 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.

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. 11 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 $-130 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$, el 90% de la totalidad de las ETM deberían encontrarse en un radio de 80 km del receptor antes de que la probabilidad de interferencia rebasase el valor de 1%.

FIGURA 11
Probabilidad de rebasamiento del umbral en función del porcentaje de población de usuarios del SMS en un radio de 80 km en torno al receptor móvil



1039-11

Una forma adicional de considerar estos resultados es tener en cuenta que el sistema del SMS que funciona con altitudes orbitales del orden de 700 a 900 km contará con una sola zona de servicio por satélite de unos 5 000 km de diámetro. La zona de 80 km de radio considerada en este ejemplo es $(80 \times 2/5\,000)^2 = 0,1\%$ de la zona de servicio del satélite. Si las ETM estuviesen uniformemente distribuidas dentro de la zona de servicio cabría esperar que el 0,1% de dichas ETM se encontrasen dentro de la zona de 80 km de radio que rodea el receptor móvil y que, como puede verse en la Fig. 11, un criterio de interferencia de $-130 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ se rebasaría únicamente durante el 0,0001% del tiempo. Si el conjunto de las ETM se distribuyese de tal forma que la zona de 80 km de radio que rodea al receptor móvil contuviese arbitrariamente 20 veces el valor de las ETM distribuidas uniformemente, el criterio de $-130 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ aún se rebasaría únicamente durante el 0,0022% del tiempo. La conclusión es que la probabilidad de rebasar un criterio de $-130 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ es muy pequeña aún teniendo en cuenta las hipótesis muy conservadoras utilizadas para las distribuciones de las ETM.

Modelos estadísticos de compartición de frecuencias entre estaciones del servicio móvil y estaciones terrenas del SMS en comunicación con satélites no OSG con atribuciones primarias (Tierra-espacio) por debajo de 1 GHz

1 Introducción

Este Anexo describe métodos para establecer modelos de transmisores de estaciones terrenas del SMS que comparten espectro con los servicios móviles. Los modelos estadísticos se establecen para una posible interferencia causada a los receptores del servicio móvil por transmisores de estaciones terrenas del SMS y para determinar la disponibilidad de canales Tierra-espacio cuando el SMS comparte frecuencias con sistemas del servicio móvil.

Los servicios móviles en las bandas por debajo de 1 GHz normalmente se caracterizan por contar con portadoras de voz y datos que pueden modularse de forma analógica o digital y asignadas según una disposición de canales periódica. Las separaciones de canales utilizadas son de 6,25 kHz, 12,5 kHz y 25 kHz. Los sistemas del SMS que pueden compartir frecuencias realizan transmisiones Tierra-espacio utilizando ráfagas de señal de breve duración de manera intermitente y con un ciclo de trabajo reducido. En el Anexo 2 a la presente Recomendación se indica que las longitudes de las ráfagas pueden ser de hasta 500 ms y que se ha sugerido un ciclo de trabajo del 1% en el intervalo de 1 a 15 min. Los sistemas del SMS por debajo de 1 GHz pueden utilizar el algoritmo de asignación dinámica de canales (descrito en el Anexo 4, por ejemplo) que permite a la estación espacial identificar los canales no ocupados por las estaciones móviles que están compartiendo espectro. Un receptor en el satélite supervisa toda la banda de frecuencias compartida y determina los segmentos del espectro que están siendo utilizados en ese instante por el sistema del servicio móvil o los enlaces ascendentes del SMS no OSG. Como el receptor de exploración de banda se encuentra a bordo del satélite hay pocas posibilidades de que las ETM produzcan interferencia a los receptores del servicio móvil. Sin embargo, existen varias circunstancias que impedirían la identificación de un canal activo del servicio móvil mediante la técnica de asignación dinámica de canales:

- nivel de potencia del servicio móvil inferior al umbral de detección del receptor de exploración de bandas del satélite,
- bloqueo en el trayecto desde el transmisor del servicio móvil al satélite, de manera que el nivel de la señal recibida no es lo suficientemente alto como para ser detectado,
- un transmisor del servicio móvil comienza el funcionamiento en un canal durante una transmisión del SMS que se ha considerado previamente como un canal libre.

La metodología descrita en el § 2 de este Anexo se refiere al cálculo de la probabilidad de interferencia causada a un receptor del servicio móvil por las transmisiones de una ETM en un solo sistema del SMS, sin utilizar la técnica de asignación dinámica de canales.

La otra posibilidad de interferencia mutua consiste en las transmisiones del servicio móvil interfiriendo al receptor de la estación espacial del SMS. Si el receptor de exploración de bandas del SMS identifica canales Tierra-espacio libres para utilización de la ETM, puede evitarse este tipo de interferencia. En el § 3 de este Anexo aparece un método estadístico que puede emplearse a fin de asegurar que se encuentra un número suficiente de canales libres para cursar las transmisiones Tierra-espacio del SMS. Sin embargo, queda la posibilidad de que exista un transmisor del servicio móvil que haya comenzado su funcionamiento en un canal previamente libre durante el breve intervalo de una transmisión de la ETM en dicho canal y, por consiguiente, podría causar interferencia al receptor de la estación espacial.

2 Modelo estadístico de la interferencia causada por ETM del SMS no OSG a estaciones del servicio móvil

El siguiente modelo estadístico determina la probabilidad de que aparezca interferencia sin utilizar la asignación dinámica de canales. Esta hipótesis de caso más desfavorable proporciona un límite superior a la probabilidad real de interferencia causada por una sola red del SMS no OSG con asignación dinámica de canales.

Los parámetros de entrada son los siguientes:

- a) Plan de canalización del servicio móvil (25, 12,5 ó 6,25 kHz)

Utilizado para determinar la frecuencia central del enlace móvil y la anchura de banda en FI del receptor, como se muestra en el Cuadro 2.

CUADRO 2

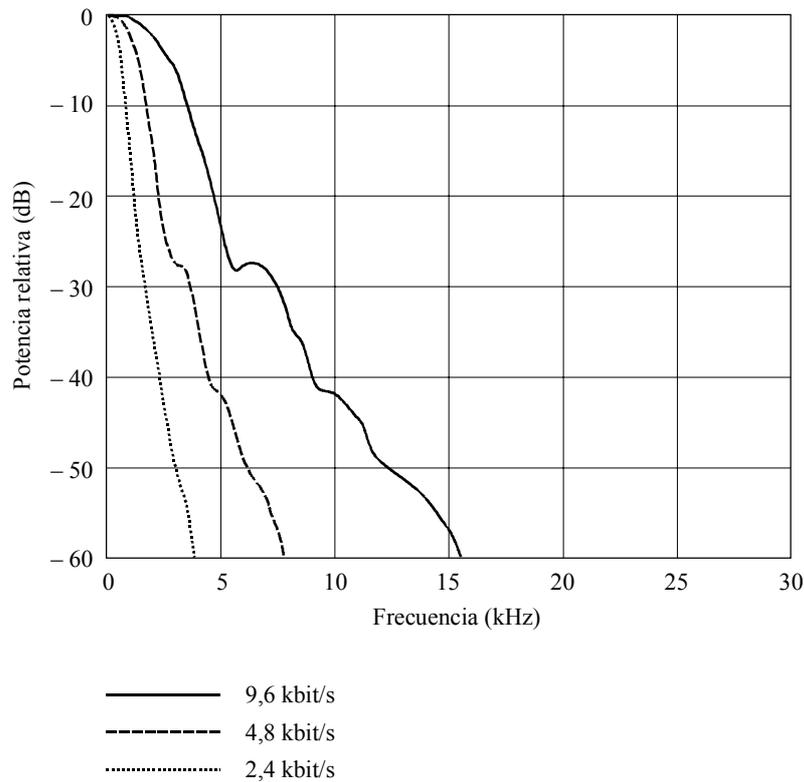
Planes de canalización típicos del servicio móvil

Plan de canalización (kHz)	Anchura de banda en FI (kHz)
25	16
12,5	8
6,25	4

b) Velocidad de transmisión de datos en enlace ascendente de la ETM (9,6, 4,8 ó 2,4 kbit/s)

Utilizada para determinar el espectro de transmisión de la ETM, como muestra la Fig. 12 y la potencia transmitida, como muestra el Cuadro 3.

FIGURA 12
Contorno del espectro de la señal transmitida por la ETM



Nota 1 – Se muestra para una modulación MDP-4 desplazada. Pueden emplearse otros tipos de modulación. Cuando se elabore una plantilla recomendada por el UIT-R debe utilizarse el contorno de la señal recomendada.

CUADRO 3

Ejemplo de potencias de transmisión de la ETM

Velocidad de transmisión de datos (kbit/s)	Potencia de transmisión ⁽¹⁾ (W)
9,6	7
4,8	3,5
2,4	1,75

⁽¹⁾ Potencia de transmisión que proporciona la potencia de recepción necesaria del satélite en el canal Tierra-espacio.

c) Distribución de las ETM (uniforme o agrupada)

La distribución uniforme supone que las ETM se encuentran uniformemente distribuidas en la superficie de terreno que abarca el haz del enlace ascendente del satélite del SMS. La distribución agrupada sitúa a las ETM dentro del haz del satélite con una densidad de probabilidad aproximadamente proporcional a la densidad de población.

d) Selección del canal de la ETM (aleatoria o intersticial)

Para el algoritmo de selección aleatoria, los canales del enlace ascendente del SMS se seleccionan aleatoriamente entre unos canales separados 2,5 kHz y situados a lo largo de toda la banda de frecuencias que va a compartirse (1 MHz, por ejemplo). Para el algoritmo de selección intersticial, los canales del enlace ascendente del SMS se limitan a los emplazamientos de frecuencias intersticiales situados entre los canales del servicio móvil.

Para un conjunto determinado de parámetros de entrada, se lleva a cabo un número suficiente de pruebas de medio segundo a fin de asegurar que la probabilidad de interferencia calculada es fiable. (El número de pruebas se considera suficiente cuando duplicando su número no varía de manera significativa la probabilidad de interferencia.) Para cada prueba de medio segundo deben llevarse a cabo los pasos siguientes:

Paso 1: Se selecciona aleatoriamente un emplazamiento de transmisor del servicio móvil como el centro de una de las 20 ciudades más populosas dentro del haz del enlace ascendente del satélite del SMS. (El número de ciudades más populosas puede ajustarse para que sea representativo de la distribución de población que se encuentra dentro del haz del enlace ascendente del satélite del SMS. La zona de cobertura típica de un haz de satélite es de unos 12 millones de km².)

Paso 2: Se selecciona aleatoriamente el emplazamiento del receptor del servicio móvil utilizando una distribución de masa circular desde 0 km hasta el borde de la cobertura (R_C) del emplazamiento del transmisor. (La distribución de masa circular define al receptor del servicio móvil que puede estar situado en cualquier sitio dentro de la zona de cobertura circular con la misma probabilidad.)

Paso 3: Se elige aleatoriamente una frecuencia central del enlace del servicio móvil, FC_{SM} , en una anchura de banda de 1 MHz basándose en el plan de canalización inicial del servicio móvil.

Paso 4: Se determina la anchura de banda en FI del receptor del servicio móvil, B_{FI} , a partir del plan de canalización inicial.

Paso 5: Se calcula la distancia entre el transmisor del servicio móvil y el receptor del servicio móvil, d_{SM} .

Paso 6: Se eligen aleatoriamente cada medio segundo 128 ETM activas situadas dentro del haz del satélite, utilizando la distribución de entrada, uniforme o agrupada. Ello corresponde a más de 22 millones de transmisiones de ETM diarias a partir de la zona de cobertura del haz, lo que supone que el sistema del SMS no OSG está funcionando al 100% de su capacidad teórica. Se trata de otra hipótesis de caso más desfavorable. (El número de ETM activas se elige de forma que satisfaga el número de transmisiones de enlace ascendente relativas a la capacidad de diseño del sistema del SMS no OSG. Este número varía según los distintos diseños de redes del SMS.)

Paso 7: Se calculan las distancias d_{ETM-SM} , desde cada una de las ETM al receptor del servicio móvil.

Paso 8: Se seleccionan aleatoriamente las frecuencias centrales, FC_{ETM} , en una banda de 1 MHz para cada una de las ETM utilizando el método seleccionado, uniforme o intersticial.

Paso 9: Se determina el espectro de potencia isotrópica radiada equivalente, $p.i.r.e._0(f)$, basándose en la velocidad de transmisión de datos de entrada.

$p.i.r.e._0(f)$: densidad espectral de potencia normalizada para las transmisiones de las ETM; una representación matemática de la curva adecuada en la Fig. 12.

Paso 10: Se calcula de la forma siguiente la relación portadora/ruido más interferencia:

$$C/(N+I) = \frac{10^{RP/10} \times k T B_{FI} \times (R_C)^4}{d_{SM}^4} + \frac{k T B_{FI} + \int_{FC_{SM} - \frac{B_{FI}}{2}}^{FC_{SM} + \frac{B_{FI}}{2}} \sum_{ETM} \frac{\beta p.i.r.e._0 (FC_{ETM} - f)}{d_{ETM-SM}^4} df}{d_{SM}^4} \quad (39)$$

donde:

- RP : relación de protección para el receptor del servicio móvil (dB)
- k : constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)
- T : temperatura de ruido del receptor del servicio móvil (K)
- B_{FI} : anchura de banda en FI del receptor del servicio móvil (Hz)
- R_C : distancia de la estación de base del servicio móvil al borde de la zona de cobertura (m)
- d_{SM} : distancia (m) entre el transmisor del servicio móvil y el receptor del servicio móvil
- FC_{SM} : frecuencia central del canal del servicio móvil (Hz)
- ETM : número de transmisores de ETM activos
- β : $(h_{ETM})^2 \times h_{SM}^2 \times g_{SM} \times p_{ETM} \times D_{SM}$
- h_{ETM} : altura de la antena de la ETM (m)
- h_{SM} : altura de la antena de recepción del servicio móvil (m)
- g_{SM} : ganancia numérica de la antena de recepción del servicio móvil
- p_{ETM} : potencia del transmisor de la ETM (W)
- D_{SM} : factor de discriminación por polarización de la antena del receptor del servicio móvil contra las señales de la ETM (factor numérico menor o igual a 1)
- $p.i.r.e._0(f)$: densidad espectral de p.i.r.e. de la ETM definida en el Paso 9 (W/Hz)
- FC_{ETM} : frecuencia central de cada uno de los transmisores de la ETM (Hz)
- f : frecuencia (Hz)
- d_{ETM-SM} : distancia desde el transmisor de la ETM hasta el receptor del servicio móvil (m).

La ecuación de $C/(N+I)$ utiliza el modelo de propagación de la ecuación (31) con niveles de intensidad de campo medianos, es decir con $p = 50\%$.

Paso 11: Si $C/(N+I)$ es inferior al umbral de diseño del receptor del servicio móvil, se considera que la prueba ha dado lugar a interferencia.

La probabilidad de interferencia se calcula como la relación entre el número de pruebas que han provocado interferencia y el número total de pruebas. Este resultado es la probabilidad de que aparezca interferencia en el receptor del servicio móvil si éste recibiese transmisiones de manera continua.

Para casos con carga de tráfico del servicio móvil baja, la probabilidad de interferencia del receptor del servicio móvil se reduce por el factor de Erlang de canal.

El establecimiento de modelos de $C/(N+I)$ con valores de p distintos del 50% exige modificar la ecuación (39) para tener en cuenta las variaciones de las pérdidas en el trayecto con p y con la distancia como se indica en el modelo de propagación de la ecuación (31).

3 Modelo de interferencia causada por las estaciones del servicio móvil a los satélites del SMS no OSG

Las redes del SMS no OSG de banda estrecha utilizarán técnicas de asignación dinámica de canales para impedir una utilización activa de los canales por las estaciones del servicio móvil. Por consiguiente, mientras el sistema de asignación dinámica de canales identifique correctamente todos los canales activos del servicio móvil, los enlaces ascendentes del SMS no OSG iniciarán las transmisiones únicamente en los canales en que no puedan provocar interferencia a las transmisiones de las estaciones del servicio móvil. Este modelo examina si hay un número suficiente de canales disponibles sin utilizar para soportar las operaciones del SMS no OSG.

La simulación determina el número de estaciones del servicio móvil en el haz del satélite que pueden funcionar en el espectro compartido y admiten una media de al menos 6 canales por satélite para los enlaces del SMS no OSG. Esta hipótesis de caso más desfavorable proporciona un límite inferior al número de estaciones del servicio móvil que pueden funcionar en el espectro compartido permitiendo a la vez explotar la red del SMS no OSG a un 36% de su capacidad teórica. (El número de canales de enlace ascendente por satélite se elige de manera que el satélite pueda funcionar a su capacidad de diseño.)

Los parámetros de entrada son los siguientes:

- a) Plan de canalización del servicio móvil (25, 12,5 ó 6,25 kHz)

Utilizado para determinar la rejilla de la frecuencia central de la estación del servicio móvil y el espectro de transmisión del servicio móvil, como muestra la Fig. 13.

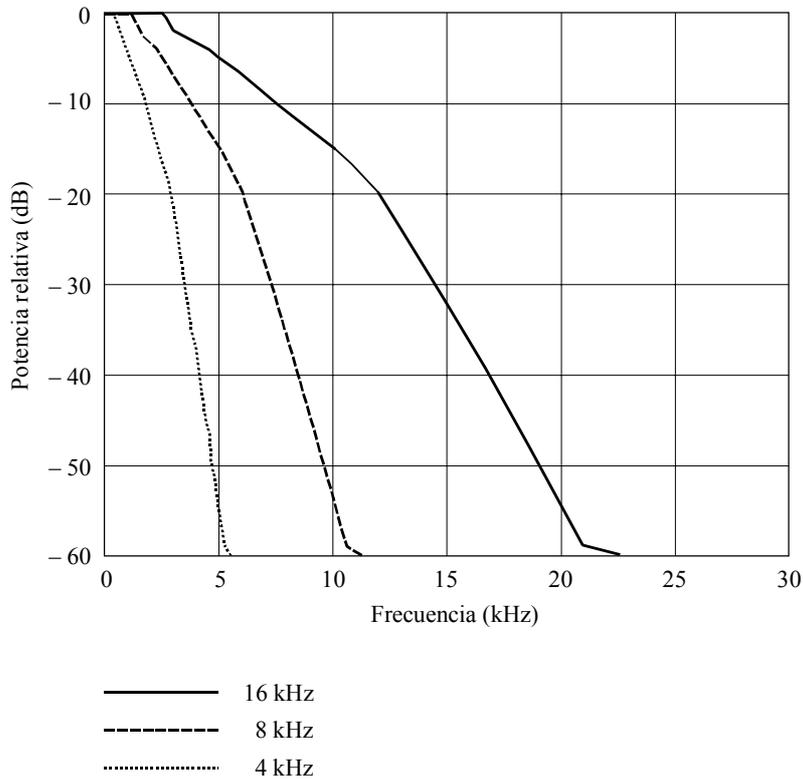
- b) Velocidad de transmisión de datos en el enlace ascendente de la ETM (9,6 kbit/s, 4,8 kbit/s o 2,4 kbit/s)

Utilizado para determinar las frecuencias centrales del enlace ascendente del SMS no OSG, como se muestra en el Cuadro 4.

- c) Volumen de espectro compartido (1 MHz o 5 MHz)
- d) Factor de actividad medio de la estación del servicio móvil (0,01; 0,003; 0,001 ó 0,0003 E).

FIGURA 13

Espectro de la señal de transmisión por la estación del servicio móvil



1039-13

CUADRO 4

Anchuras de banda típicas del canal de enlace ascendente de la ETM

Velocidad de transmisión de datos (kbit/s)	Anchura de banda de canal (kHz)
9,6	15
4,8	10
2,4	5

Para cada conjunto de parámetros de entrada se llevan a cabo los siguientes pasos:

Paso 1: Se fija el número inicial de estaciones del servicio móvil a 1 000.

Paso 2: Se distribuyen las estaciones del servicio móvil de forma aleatoria a través de la zona cubierta por el haz del enlace ascendente del satélite.

Paso 3: Se determina el espectro de potencia isotropa radiada equivalente del transmisor del servicio móvil $[p.i.r.e._0(f)]_{SM}$ basándose en el plan de canalización inicial del servicio móvil,

siendo:

$$[p.i.r.e._0(f)]_{SM} = p.i.r.e._{SM} \times DEP_0(f) \quad (40)$$

$p.i.r.e._{SM}$: potencia isotropa radiada equivalente de la estación del servicio móvil

$DEP_0(f)$: densidad espectral de potencia normalizada para las transmisiones del servicio móvil, una representación matemática de la curva adecuada de la Fig. 13.

Paso 4: La anchura de banda de canal de enlace ascendente del sistema de satélites del SMS no OSG, BW , se determina basándose en la velocidad de transmisión de datos de entrada del enlace ascendente de la ETM.

Paso 5: Para cada prueba, se gira aleatoriamente en el tiempo la constelación de satélites del SMS no OSG y se realiza un número suficiente de pruebas para asegurar que el número calculado de estaciones del servicio móvil es fiable. Se llevan a cabo los siguientes subpasos:

Subpaso 1: Para cada estación del servicio móvil, se selecciona aleatoriamente una frecuencia central de transmisión FC_{SM} , situada en la cantidad inicial de espectro compartido, 1 MHz o 5 MHz, basándose en el plan de canalización inicial del servicio móvil.

Subpaso 2: Para cada estación del servicio móvil y cada satélite del SMS no OSG, se determina la deriva de frecuencia Doppler, $\Delta f_{Doppler}$, teniendo en cuenta las velocidades relativas de los equipos de transmisión y recepción. La deriva Doppler observada en el receptor viene dada por la expresión (41):

$$\Delta f_{Doppler} = (v/c) F_0 \quad (41)$$

siendo:

$\Delta f_{Doppler}$: deriva Doppler (Hz)

v : velocidad relativa entre el transmisor y el receptor (m/s)

c : velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

F_0 : frecuencia de transmisión (Hz).

Subpaso 3: Para cada satélite del SMS no OSG y cada frecuencia central de canal del enlace ascendente del SMS no OSG, FC_{CH} , en la cantidad inicial de espectro compartido, se calcula la relación interferencia/ ruido de la forma siguiente:

$$(I/N)_{CH} = \frac{\epsilon}{BW} \cdot \int_{FC_{CH} - \frac{BW}{2}}^{FC_{CH} + \frac{BW}{2}} \sum_{SM} \left(p.i.r.e._0(FC_{SM} + \Delta f_{Doppler} - f) \right)_{SM} df \quad (42)$$

siendo:

$$\epsilon = (G/T)_{SAT} / [(Alt_{SAT} \times F \times (4\pi/c)^2 \times k BW] D_{SAT} \quad (43)$$

donde:

$(G/T)_{SAT}$: ganancia en el eje de la antena del satélite del SMS (valor numérico) dividida por la temperatura de ruido del sistema de recepción (K^{-1})

Alt_{SAT} : altitud del satélite (m)

F : frecuencia central del canal (Hz)

c : velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

k : constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)

BW : anchura de banda del receptor del satélite del SMS (Hz)

D_{SAT} : factor discriminación por polarización de la antena del receptor del satélite del SMS contra las señales del servicio móvil (factor numérico menor o igual a uno).

La ecuación de I/N utiliza el modelo de propagación espacial.

Subpaso 4: Para cada satélite del SMS no OSG, se calcula el número de canales libres como la suma de aquellos con una relación $I/N < 10$ dB.

Paso 6: Si el mínimo número calculado de canales libres es mayor que 6, el número de estaciones del servicio móvil aumenta en 1 000 unidades y se repite el procedimiento anterior empezando por el Paso 2.

Paso 7: El proceso se completa cuando queda determinado el número máximo de estaciones del servicio móvil que aún permiten seis canales libres.

APÉNDICE 1

AL ANEXO 3

Ejemplo de aplicación de los modelos estadísticos

1 Introducción

Este Apéndice muestra ejemplos de aplicación de los dos modelos estadísticos contenidos en el Anexo 3 de la presente Recomendación.

El ejemplo de red del SMS no OSG utilizada tiene las siguientes características: 48 satélites en 8 planos orbitales inclinados 50° con respecto al Ecuador; cada plano contiene seis satélites equiespaciados en órbitas circulares de 950 km de altitud; para las transmisiones Tierra-espacio se utiliza multiplexión por división en frecuencia de banda estrecha; funcionamiento en modo almacenamiento y retransmisión; transmisiones en tramas de 500 ms que contienen paquetes digitales; el satélite utiliza un receptor de exploración de bandas para implementar un sistema SAADC que asigna canales sin utilizar a estaciones terrenas para transmisiones de enlace ascendente; funcionamiento a 149 MHz; antena de la ETM de 1,5 m de altura con polarización vertical y ganancia de 0 dBi y velocidades de transmisión de datos en el enlace ascendente de 2,4 kbit/s, 4,8 kbit/s y 9,6 kbit/s. Se supone que un sistema del SMS funciona a su capacidad máxima en una zona geográfica específica (para este ejemplo, 22 millones de transmisiones de paquetes en sentido Tierra-espacio por día en la zona continental y contigua de Estados Unidos de América).

Las EMT se modelan con las siguientes características: sistema con modulación de frecuencia analógica (o con modulación digital, sistema MDF binario); antena con polarización vertical y una ganancia de 0 dBi dirigida hacia el satélite; la mínima potencia de señal recibida se supone que es -140 dBW y las anchuras de banda de canal son de 6,25 kHz, 12,5 kHz y 25 kHz con una carga de tráfico baja en Erlang en los canales individuales. Las características técnicas utilizadas en el modelo se refieren a algunos sistemas de las EMT que funcionan en las bandas por debajo de 1 GHz. Para los análisis de compartición de frecuencias, los sistemas de dicho servicio se han modelado con arreglo al funcionamiento en las 20 ciudades más populosas de Estados Unidos de América.

2 Posible interferencia causada por las estaciones terrenas del SMS no OSG a las EMT

La distancia entre la EMT y su estación de base se modela mediante una distribución de masa circular de 0 a 20 km, correspondiendo la distancia de 20 km al valor umbral de la potencia recibida. La relación de protección para el receptor de la EMT se fija a 10,7 dB y su temperatura de ruido es 3 890 K. La altura de la antena del receptor de la EMT es de 3,22 m. Dicha antena y la antena de transmisión de la ETM tienen la misma polarización, de manera que el factor de discriminación por polarización, se fija a un valor de 1,0. Se consideran las dos distribuciones de estaciones terrenas del SMS, es decir uniforme y agrupada. Se utilizan 128 ETM activas en la simulación. Se supone una banda de frecuencias compartida de 1 MHz considerándose algoritmos de selección de canal de enlace ascendente tanto aleatorios como intersticiales.

Con los valores de los parámetros seleccionados, la ecuación de $C/(N + I)$ pasa a ser:

$$C/(N + I) = \frac{10^{3,204}}{d_{SM}^4} \left(10^{-15,07} + \int_{FC_{SM} - \frac{B_{FI}}{2}}^{FC_{SM} + \frac{B_{FI}}{2}} \sum_{ETM} \frac{10^{2,815} \times p.i.r.e_0 (FC_{ETM} - f)}{d_{ETM-SM}^4} df \right) \quad (44)$$

En el Cuadro 5 aparece el límite superior de la probabilidad de la interferencia calculado mediante el programa de simulación para la gama de parámetros examinados. (Las probabilidades calculadas utilizando el modelo son las probabilidades de interferencia sin utilizar el SAADC. Por consiguiente, son los valores de límite superior en cuanto a la probabilidad de interferencia. Las probabilidades reales de interferencia utilizando el SAADC serían las probabilidades que aparecen en el Cuadro 5 multiplicadas por la probabilidad de que el SAADC no detecte un canal activo, 10^{-3} , 10^{-4} , o menos, por ejemplo.) El significado de las probabilidades en bruto puede ser difícil de interpretar y, por consiguiente, deben convertirse a tiempo medio entre sucesos de interferencia como se indica en el Cuadro 6. Los tiempos medios entre sucesos de interferencia del Cuadro 6 se obtienen multiplicando la inversa de los valores que aparecen en el Cuadro 5 por 0,5 s (que es el periodo de las transmisiones de la ETM utilizado en el modelo). Los resultados de los Cuadros 5 y 6 corresponden a un modo de funcionamiento continuo de la EMT. En el Cuadro 7 aparece el tiempo medio entre sucesos de interferencia para un usuario móvil terrestre típico con 0,01 E de tráfico.

CUADRO 5

Probabilidad de interferencia

Canalización móvil terrestre (kHz)	Velocidad de transmisión de datos en el enlace ascendente de la ETM (kbit/s)	Distribución uniforme		Distribución agrupada	
		Selección aleatoria	Selección intersticial	Selección aleatoria	Selección intersticial
25	9,6	0,00038	0,000055	0,0013	0,00020
	4,8	0,00025	0,0000058	0,00088	0,000022
	2,4	0,00016	0,00000093	0,00052	0,0000034
12,5	9,6	0,00023	0,00019	0,00075	0,00064
	4,8	0,00012	0,000020	0,00039	0,000069
	2,4	0,000067	0,0000024	0,00023	0,0000084
6,25	9,6	0,00014	0,00015	0,00049	0,00051
	4,8	0,000094	0,00011	0,00032	0,00037
	2,4	0,000066	0,000074	0,00023	0,00026

CUADRO 6

Tiempo medio (más reducido) en caso más desfavorable entre sucesos de interferencia

Canalización móvil terrestre (kHz)	Velocidad de transmisión de datos en el enlace ascendente de la ETM (kbit/s)	Distribución uniforme		Distribución agrupada	
		Selección aleatoria (min)	Selección intersticial	Selección aleatoria (min)	Selección intersticial
25	9,6	22	3 h	7	42 min
	4,8	34	24 h	10	7 h
	2,4	50	150 h	16	41 h
12,5	9,6	36	44 min	11	13 min
	4,8	70	7 h	22	120 min
	2,4	130	60 h	36	17 h
6,25	9,6	60	55 min	17	17 min
	4,8	90	75 min	26	23 min
	2,4	130	120 min	36	32 min

CUADRO 7

Tiempo medio entre sucesos de interferencia para un usuario de un dispositivo de "Pulse para hablar" típico (0,01 E)

Canalización móvil terrestre (kHz)	Velocidad de transmisión de datos en el enlace ascendente de la ETM (kbit/s)	Distribución uniforme		Distribución agrupada	
		Selección aleatoria (h)	Selección intersticial	Selección aleatoria (h)	Selección intersticial
25	9,6	37	10 días	11	69 h
	4,8	56	100 días	16	26 días
	2,4	83	21 meses	27	68 días
12,5	9,6	60	73 h	18	22 h
	4,8	120	29 días	36	200 h
	2,4	210	8 meses	60	71 días
6,25	9,6	100	92 h	28	28 h
	4,8	150	130 h	43	38 h
	2,4	210	190 h	60	53 h

Para canalizaciones móviles terrestres, velocidades de transmisión de datos del enlace ascendente de la ETM y otros parámetros distintos de los utilizados en este ejemplo, puede emplearse interpolación para determinar los valores aproximados de las probabilidades de interferencia y los tiempos medios entre sucesos de interferencia.

3 Posible interferencia causada por las EMT a los satélites del SMS no OSG

El modelo del § 3 del Anexo 3 de la presente Recomendación lleva a cabo una simulación para determinar el número de EMT situadas en el interior del haz del enlace ascendente del satélite del SMS que pueden funcionar con espectro compartido y proporcionar al mismo tiempo un número medio de al menos 6 canales por satélite para los enlaces ascendentes del SMS. La hipótesis del valor medio por satélite es el caso más desfavorable puesto que el valor medio para todos los satélites visibles será superior al valor medio por satélite y, por consiguiente, proporciona un límite inferior del número de estaciones móviles terrestres que pueden funcionar con espectro compartido. La huella del satélite tiene aproximadamente el tamaño de la zona continental contigua de Estados Unidos de América, es decir 12 millones de km². Los valores de los parámetros técnicos adicionales necesarios para este ejemplo son los siguientes:

$$G/T \text{ del satélite SMS} = -30,1 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$$

Ganancia de la antena de la EMT = 6 dBi en dirección horizontal y 0 dBi hacia el satélite.

Se supone que la antena del receptor del satélite del SMS no presenta discriminación por polarización contra las señales de la EMT, de manera que el factor de discriminación por polarización se fija a un valor de 1,0.

Con los parámetros elegidos anteriormente, la ecuación de I/N pasa a ser:

$$(I/N)_{CH} = \frac{10^{6,25}}{BW} \cdot \int_{FC_{CH} - \frac{BW}{2}}^{FC_{CH} + \frac{BW}{2}} \sum_{SM} \left(p.i.r.e._0(FC_{SM} + \Delta f_{Doppler} - f) \right)_{SM} df \quad (45)$$

Se consideraron cuatro factores de actividad media para la EMT: 0,01, 0,003, 0,001, y 0,0003 E (el Erlang es una medida de la intensidad de tráfico. En este contexto, se trata de una medida de la utilización de la EMT). Ello corresponde a unos valores medios de 432, 130, 43 y 13 min/mes de transmisiones de la EMT, respectivamente. Suponiendo un factor de actividad vocal de 0,4, los tiempos de conversación equivalentes son 1 080, 325, 108 y 33 min/mes. Obsérvese que los valores medios se han tomado para todo el conjunto de EMT y para todo el mes.

El Cuadro 8 muestra los límites inferiores del número de EMT en la zona continental contigua de Estados Unidos de América que funcionan en 1 MHz de espectro compartido, calculados mediante el programa de simulación para la gama de parámetros examinados.

CUADRO 8
Límite inferior del número de EMT en 1 MHz de espectro compartido

Canalización móvil terrestre (kHz)	Velocidad de transmisión de datos en el enlace ascendente de la ETM (kbit/s)	Factor de actividad media de la EMT			
		0,01 E	0,003 E	0,001 E	0,0003 E
25	9,6	12 000	38 000	120 000	380 000
	4,8	17 000	55 000	170 000	550 000
	2,4	23 000	77 000	230 000	770 000
12,5	9,6	16 000	52 000	160 000	520 000
	4,8	24 000	80 000	240 000	800 000
	2,4	35 000	120 000	350 000	1,2 millones
6,25	9,6	18 000	60 000	180 000	600 000
	4,8	35 000	120 000	350 000	1,2 millones
	2,4	58 000	190 000	580 000	1,9 millones

En el Cuadro 9 aparecen los límites superiores suponiendo 5 MHz de espectro compartido. Los límites inferiores son notablemente superiores a cinco veces el valor de los límites relativos a 1 MHz de espectro compartido.

CUADRO 9

Límite inferior del número de EMT en 5 MHz de espectro compartido

Canalización móvil terrestre (kHz)	Velocidad de transmisión en el enlace ascendente de la ETM (kbit/s)	Factor de actividad media de la EMT			
		0,01 E	0,003 E	0,001 E	0,0003 E
25	9,6	110 000	370 000	1,1 millones	3,7 millones
	4,8	125 000	420 000	1,3 millones	4,2 millones
	2,4	170 000	570 000	1,7 millones	5,7 millones
12,5	9,6	115 000	380 000	1,2 millones	3,8 millones
	4,8	190 000	630 000	1,9 millones	6,3 millones
	2,4	255 000	850 000	2,6 millones	8,5 millones
6,25	9,6	120 000	400 000	1,2 millones	4,0 millones
	4,8	230 000	770 000	2,3 millones	7,7 millones
	2,4	450 000	1,5 millones	4,5 millones	15 millones

Para valores de los parámetros no indicados en los Cuadros puede utilizarse interpolación a fin de determinar los valores aproximados del límite inferior del número de estaciones.

ANEXO 4

Utilización de la asignación dinámica de canales técnica para evitar la interferencia de frecuencias

1 Introducción

Este Anexo describe una técnica utilizada por las redes del SMS no OSG para detectar canales abiertos en los sistemas de los servicios terrenales que funcionan en la misma banda de frecuencias y que pueden identificarlos para su utilización en las transmisiones de enlace ascendente por las ETM de los sistemas del SMS. Si bien los detalles sobre el sistema SAADC que aquí figuran son los utilizados en la red LEOTELCOM-1, está previsto que otras redes del SMS utilicen sistemas de exploración de bandas similares, que funcionan generalmente de acuerdo con los mismos principios pero pueden diferir en sus realizaciones específicas.

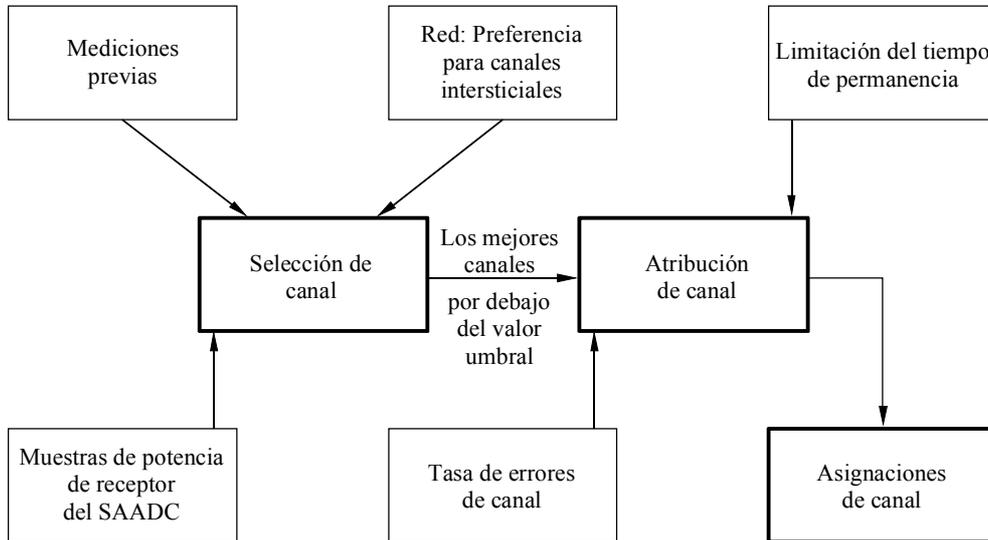
Esta técnica ha demostrado su eficacia para evitar la interferencia con otros servicios terrenales de categoría primaria que funcionan en la misma banda de frecuencias. El nombre utilizado para describir esta técnica es SAADC y ha sido aplicada con éxito en la red de satélites del SMS LEOTELCOM-1. También se incluye información sobre pruebas.

2 Funcionamiento del SAADC

El SAADC consta de un receptor y una unidad de procesamiento en todos los satélites (véase la Fig. 14) de la constelación. El SAADC explora la banda de enlace ascendente de la ETM para detectar transmisiones terrenales en intervalos de 2,5 kHz, identifica los canales que no están siendo utilizados y los asigna para su utilización en el enlace ascendente por las ETM. El objetivo de este proceso es evitar que las transmisiones de las ETM interfieran con los servicios terrenales; es decir, impedir las transmisiones de las ETM en canales móviles activos.

La Fig. 14 es una representación gráfica de los diversos factores que afectan la selección de canal y del proceso de realización llevado a cabo por el funcionamiento del SAADC.

FIGURA 14
Funcionamiento del SAADC



1039-14

2.1 Selección de canal

El algoritmo para identificar los canales preferidos disponibles en cada exploración tiene tres entradas:

- *Muestreo de potencia* – El primer criterio de selección supone realizar un muestreo de la potencia. Un receptor del satélite funciona en modo SAADC y explora todos los canales en la gama de funcionamiento seleccionada. Los canales en los cuales las muestras de potencia tienen un valor inferior a un umbral específico se declaran potencialmente disponibles. La determinación del valor umbral de la muestra de potencia es una decisión importante y, por consiguiente, tiene la máxima influencia en el criterio de selección de canal.
- *Preferencia de red* – El segundo criterio de selección de canal se refiere a la preferencia de red. En todo el mundo existen diversos sistemas inalámbricos (incluidos los sistemas celulares y de radiobúsqueda) que tienen canales asignados en un plan o red de canalización con separaciones de 20 kHz, 25 kHz u otras. El sistema de satélites está diseñado para dar preferencia a canales con una separación a medio camino entre estas canalizaciones terrenales normalizadas. Esta preferencia tiene más influencia en el algoritmo de selección de canal que en el factor de calidad pero menos que la decisión sobre el valor umbral de la muestra de potencia. Si bien todos los posibles canales del enlace ascendente son investigados por el SAADC, los canales que se encuentran en redes terrenales conocidas se consideran en último lugar.
- *Factor de calidad* – El tercer criterio de selección de canal considera las mediciones de muestras de potencia realizadas en las diversas exploraciones de banda precedentes y recibe el nombre de factor de calidad, que es una medida de los niveles de potencia actuales y anteriores del canal, determinados por un algoritmo.

Una vez tenidos en cuenta todos los factores, se seleccionan los canales preferidos entre los disponibles y se pasa a la parte de realización de canal del sistema SAADC.

Es importante observar que:

- El SMS puede transmitir únicamente si recibe una señal de enlace descendente del satélite que le indique los canales de enlace ascendente que pueden utilizarse.
- Si el SAADC no puede encontrar un canal inactivo en un instante de tiempo concreto, dicho sistema no permitirá a las ETM que transmitan.

Además de explorar canales inactivos, el procesador del SAADC predice cuál de los canales disponibles continuará estando disponible a corto plazo.

2.2 Atribución de canal

Una vez que el proceso de selección de canal determina las frecuencias de canal preferidas, el proceso de atribución de canal asigna estos canales para acceso aleatorio (transmisiones de adquisición/comunicación) y utilización de canal de reserva (transmisiones de mensajes). Los restantes canales pasan a un grupo de reserva que se utiliza si un temporizador de limitación de disponibilidad de canal expira para los receptores de acceso aleatorio o si se rebasan los umbrales de medición de la calidad de funcionamiento (proporciones de error).

Cuatro condiciones regulan la conmutación de canal para los receptores de satélite, a saber:

- superación del umbral de la tasa de error de un receptor de acceso aleatorio;
- superación del umbral de la tasa de error de un receptor de reserva;
- el proceso de selección de canal que utiliza nuevos datos de exploración del SAADC muestra un nivel de potencia superior al umbral del factor de calidad en el canal asignado en curso;
- expiración del temporizador de limitación de disponibilidad del canal, si está activado.

Si hay unas pocas ETM transmitiendo hacia un satélite, el instante en que el satélite cambie el canal del enlace ascendente utilizado a una frecuencia distinta dependerá de la correlación entre el inicio de un suceso de interferencia detectado en el satélite y el proceso de exploración del SAADC. Dicho proceso, realizado por un operador del sistema, tiene un tiempo de repetición de aproximadamente 5 s.

Si hay muchas ETM transmitiendo hacia un satélite, el instante en que el satélite cambie el canal del enlace ascendente a una frecuencia distinta debe ser rápido si se rebasa el umbral de la proporción de error en dicho canal.

Como puede observarse, el SAADC utiliza datos de la exploración vigente para identificar canales que parecen inactivos y, a continuación, combinar la información de la exploración vigente con la información de previas exploraciones realizando una proyección sobre cuáles de estos canales disponibles probablemente permanecerán inactivos.

2.3 Longitudes de mensaje

En las constelaciones de sistemas versátiles en frecuencia, un abonado puede realizar únicamente dos tipos de transmisión: 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 se controla de forma específica en cuanto a la frecuencia y duración de la transmisión. Bajo el control del SAADC, la frecuencia del canal de acceso aleatorio cambiará a intervalos frecuentes permaneciendo siempre en el canal menos ocupado por un usuario terrenal.

Una vez reconocido dentro del sistema, el abonado puede transmitir un solo paquete de comunicaciones de 15 bytes o una petición para transmitir un mensaje más largo.

Si se solicita la transmisión de un mensaje más largo, el abonado transmite una petición de acceso a un canal de mensaje y proporciona 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 máxima longitud del mensaje, es decir el número de bytes, que va a transmitir el usuario en una sola ráfaga se retransmite al abonado junto con una frecuencia de transmisión específica obtenida del proceso del SAADC. Este valor máximo admisible de la longitud del mensaje se utilizará para controlar la máxima longitud de transmisión del mensaje de abonado a menos de 450 a 500 ms en una sola frecuencia de transmisión. Como la toma de contacto inicial abonado-satélite tiene lugar en un canal utilizado como circuito de servicio de acceso aleatorio, el mensaje de abonado se transmitirá en una frecuencia distinta.

Si la máxima longitud de mensaje admisible es más corta que el mensaje total del abonado, el mensaje se transmitirá en varias ráfagas. La frecuencia de transmisión de cada ráfaga de abonado se controla mediante el proceso del SAADC en el satélite y estará en una frecuencia distinta. De esta forma se controlará el tiempo máximo durante el cual un abonado puede transmitir en una sola frecuencia.

3 Consideraciones sobre probabilidades en el SAADC

3.1 Probabilidad de asignación de un canal activo

En algunos casos, el receptor del SAADC del satélite puede que no pueda ver los transmisores móviles terrenales debido a una obstrucción (por ejemplo, un edificio) que aparezca a lo largo del trayecto Tierra-espacio entre el transmisor móvil y los satélites. En este caso, el receptor del SAADC puede que no detecte el transmisor móvil y, por consiguiente, asigne dicho canal activo a un transmisor de la ETM. La probabilidad de que esto ocurra variará según el emplazamiento y la topografía local.

Entre otros factores que afectan la probabilidad de que el SAADC asigne un canal activo, pero que son difíciles de cuantificar, pueden citarse los siguientes:

- Si la banda de frecuencias está siendo intensamente utilizada por los servicios móviles terrenales que emplean reutilización de frecuencias, hay una elevada probabilidad de que un segundo transmisor móvil visible al satélite esté también haciendo uso de ese mismo canal y, por consiguiente, impida que el SAADC asigne dicho canal.
- Si el trayecto Tierra-espacio desde un transmisor móvil a un satélite está bloqueado, existe una cierta probabilidad de que el trayecto terrenal entre la ETM y el receptor móvil también esté bloqueado. Cabe esperar que en zonas donde la probabilidad de bloqueo en el trayecto Tierra-espacio es elevada, la probabilidad de bloqueo en el trayecto terrenal sea también alta.
- El algoritmo de predicción en el procesador del SAADC evaluará la probabilidad de que sus canales disponibles permanezcan libres de interferencia hasta que se complete la siguiente exploración. En ello se tienen en cuenta los datos procedentes de exploraciones recientes de manera que un canal utilizado por un transmisor móvil terrenal que desaparece repentinamente tras una obstrucción probablemente no será asignado para su utilización si existen otros canales disponibles.

Teniendo en cuenta todos estos factores, obtener un valor de la probabilidad de que el SAADC asigne un canal activo sería una tarea extremadamente difícil y dicha probabilidad cambiaría de una zona geográfica a otra. Sin embargo, los cálculos de interferencia en los que se utilizaría esta probabilidad exigen únicamente una estimación de un orden de magnitud. Por estas razones, se considera que la probabilidad de fallo del SAADC es muy baja.

3.2 Probabilidad de que una ETM transmita cerca de un receptor móvil

Si el SAADC no ve un transmisor terrenal móvil y asigna dicho canal a las transmisiones de la ETM, ello puede dar lugar a interferencia en el receptor móvil dependiendo de un cierto número de factores tales como la distancia entre la ETM y el receptor móvil, el número de ETM y la probabilidad de que una ETM esté transmitiendo al mismo tiempo que el móvil está recibiendo. Este tema se considera en los Anexos 1, 2 y 3.

4 Resumen sobre prevención de la interferencia debido a la técnica del SAADC

La CAMR-92 atribuyó las bandas 137-138 MHz (enlace descendente) y 148-149,9 MHz (enlace ascendente) al SMS. Estas bandas están compartidas con los servicios terrenales. Las técnicas del SAADC tienen por objeto permitir transmisiones de las ETM del SMS de forma tal que no se cause interferencia a otros usuarios de la banda 148-149,9 MHz. Sin embargo, se logra utilizando también las transmisiones de enlace descendente.

Específicamente, la banda 148-149,9 MHz es ampliamente utilizada por los sistemas terrenales. Para lograr una explotación eficaz, el sistema del SMS debe explorar e identificar los canales dentro de esta banda que no están siendo utilizados de manera activa durante los pocos segundos que dura la exploración. Es imposible que un sistema de satélites del SMS con AMDF funcione en la banda 148-149,9 MHz sin tener ningún esquema, tal como el SAADC. Toda tentativa de recibir sobre un canal que está siendo utilizado de forma activa por un transmisor terrenal daría lugar a una interferencia en el satélite y a una pérdida total de los datos del SMS.

4.1 Aspectos del método de compartición

El SAADC identifica los canales que están siendo utilizados activamente por los servicios terrenales y los evita. El método de compartición utilizado que explota esta técnica tiene cinco aspectos fundamentales, a saber:

- El sistema realizado por un operador explora la banda de frecuencias para buscar canales inactivos cada 5 s. El SAADC no permitirá que las ETM transmitan si no hay canales inactivos disponibles. El SAADC evita asignar canales móviles activos (p.i.r.e. hacia el satélite $> 0,1$ W en 7,5 kHz) a las ETM para las transmisiones de enlace ascendente.
- Si el SAADC asigna por error un canal activo, hay una probabilidad muy baja que una ETM transmisora esté lo suficientemente cerca como para detectar una unidad móvil receptora.
- Si un canal seleccionado por el SAADC sufre interferencia, el sistema seleccionará rápidamente otro canal.
- La breve duración de la ráfaga de las transmisiones de la ETM minimiza aún más cualquier efecto de interferencia.
- La estructura de la transmisión de los mensajes de la ETM es tal que aún si aparece interferencia, no continuará o volverá a ocurrir.

Este Anexo ha descrito la técnica del SAADC. Los principios básicos de dicha técnica pueden realizarse de diversas formas. Por ejemplo, el diseño de los sistemas del SMS LEO-L utiliza una técnica digital de asignación dinámica de canales que lleva a cabo en el satélite un procesamiento en transformada rápida de Fourier (TRF) a fin de observar simultáneamente toda la banda del enlace ascendente e identificar canales del enlace ascendente libres para realizar

asignaciones a los terminales de abonado del SMS. El receptor de exploración de banda TRF permite la reasignación de los canales del enlace ascendente del SMS (cada 0,5 s aproximadamente) en respuesta a la disponibilidad de canal medida. La respuesta esperada varía en función de la frecuencia y la anchura de banda. Por ejemplo, el receptor de exploración de banda en el diseño LEO-L puede detectar una señal con una duración de 0,5 s, una frecuencia de 460 MHz, una anchura de banda de 2,5 kHz y una potencia de transmisión de 3,5 mW en cualquier parte de la huella del satélite con una probabilidad del 99,9%. Para una señal de 16 kHz, la sensibilidad es de 22 mW. A 149 MHz las sensibilidades de la potencia del transmisor son 0,4 mW y 2,3 mW para señales de 2,5 kHz y 16 kHz, respectivamente. Estas sensibilidades permiten a los enlaces ascendentes del SMS no OSG evitar canales que están siendo utilizados por sistemas de EMT y es posible la compartición de la banda entre el SMS no OSG por debajo de 1 GHz y las EMT en la medida que lo permita la congestión en la utilización.

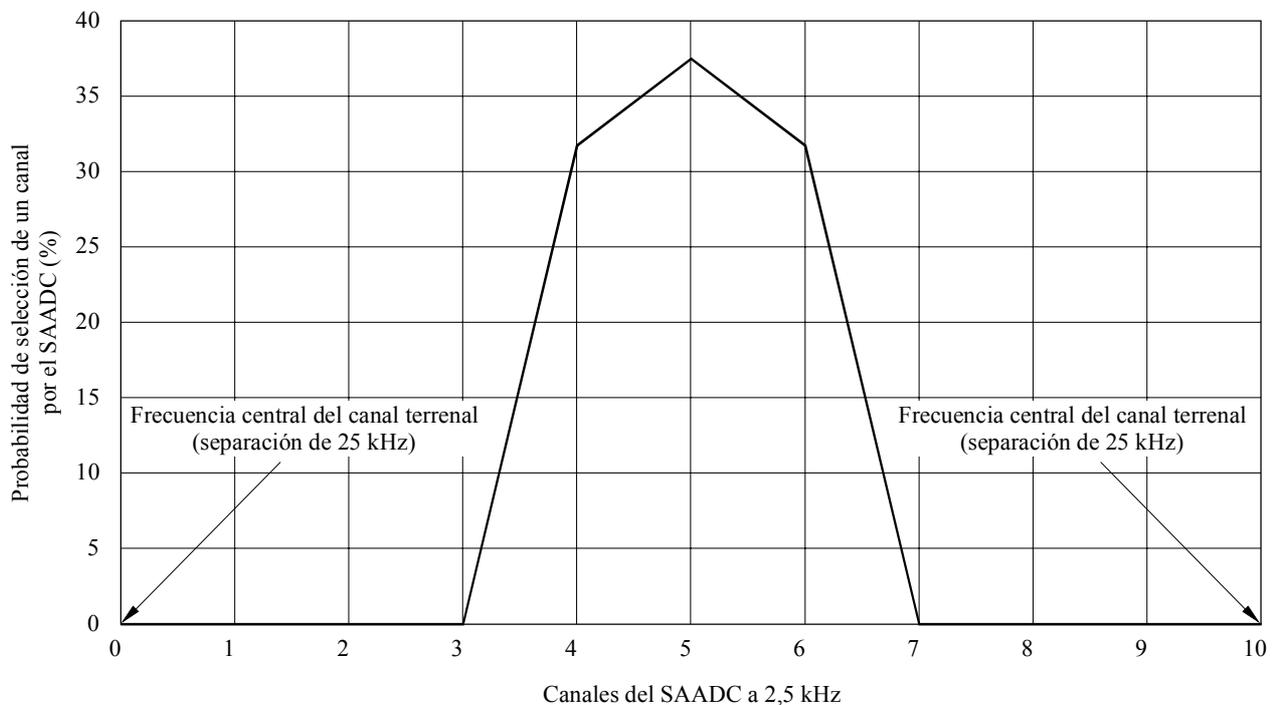
5 Demostración de prevención de la interferencia

5.1 Simulación de las pruebas iniciales

En muchos países, los ocupantes principales de la banda de frecuencias del enlace ascendente son los sistemas móviles terrenales. El SAADC está diseñado específicamente para evitar los canales ocupados dentro de la banda. Determinando qué canales no están ocupados y asignando estos canales libres a los terminales terrenos móviles de abonado, el sistema cumplirá este criterio. La Fig. 15 muestra la probabilidad de selección de canal del algoritmo del SAADC. El algoritmo se aplicó en una simulación basada en los datos sobre ocupación de frecuencias obtenidos a lo largo de todo un año y recopilados por el sistema de satélites de demostración de comunicaciones (CDS, *communications demonstration satellite*). El CDS obtuvo los datos de exploración en la banda 148-149,9 MHz desde una altitud de 750 km. Los satélites del CDS son satélites experimentales en órbita baja diseñados para recopilar información sobre la utilización terrenal de la banda del enlace ascendente 148-149,9 MHz. Los satélites reunieron datos durante aproximadamente 2 años desde altitudes de 750 km.

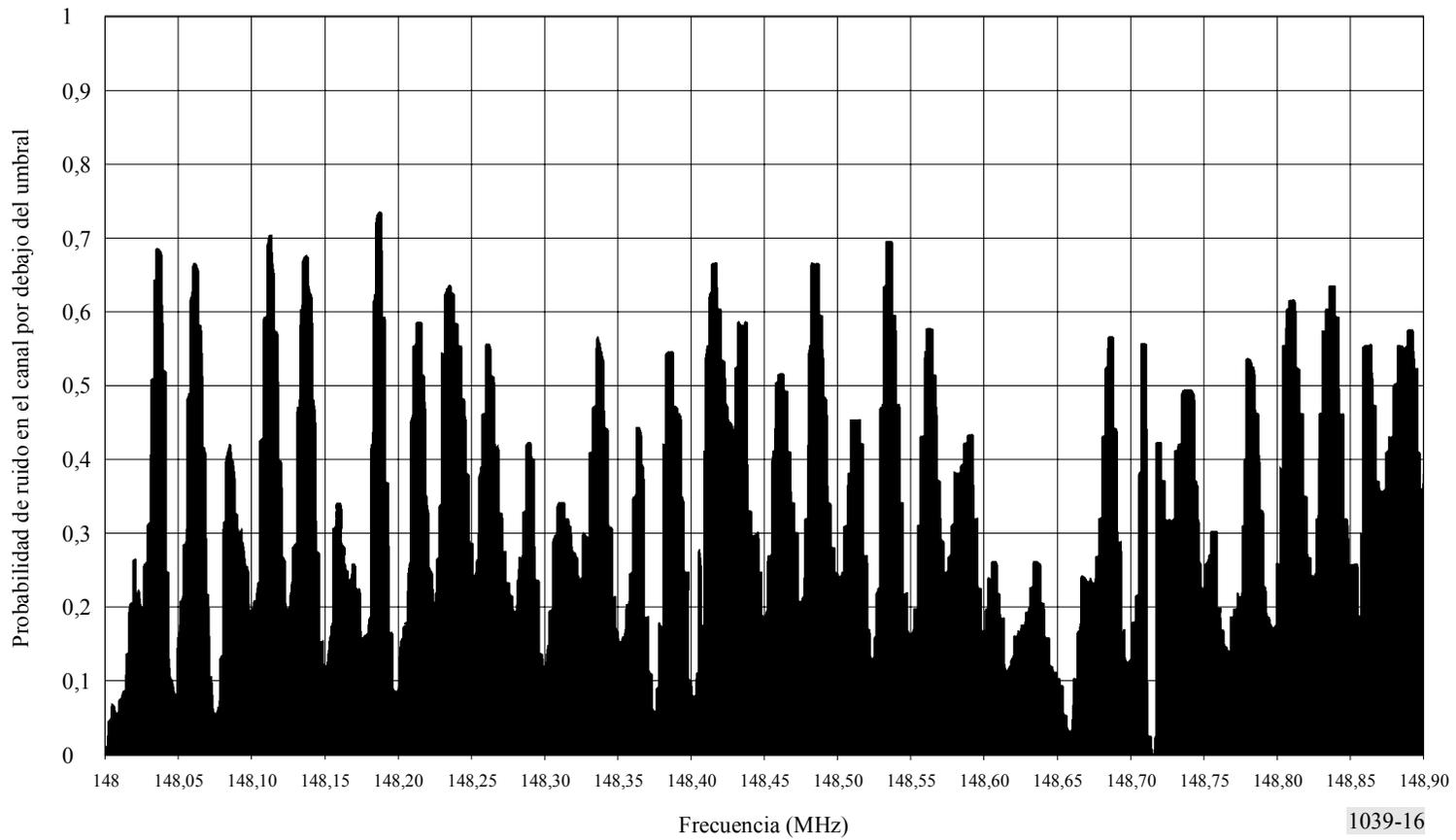
FIGURA 15

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

FIGURA 16
Probabilidad de encontrar canales libres de interferencia



1039-16

5.2 Pruebas de demostración

Recientemente una administración llevó a cabo un programa de pruebas a fin de evaluar la sensibilidad de los receptores de los satélites del SMS no OSG y las capacidades del sistema SAADC para detectar la potencia de ruido o la ocupación de los canales causadas, respectivamente, por un elevado nivel de ruido o por una portadora analógica vocal del servicio móvil terrestre en la banda 148-149,9 MHz. Un equipo de prueba de demostración (EPD) llevó a cabo varias pruebas a lo largo de un periodo de dos días. Estas pruebas tuvieron lugar durante un cierto número de buenas pasadas del satélite (gran elevación) que ocurrieron durante dicho periodo, en el que por término se produjeron de 6 a 8 buenas pasadas cada día.

Se llevaron a cabo tres tipos de pruebas:

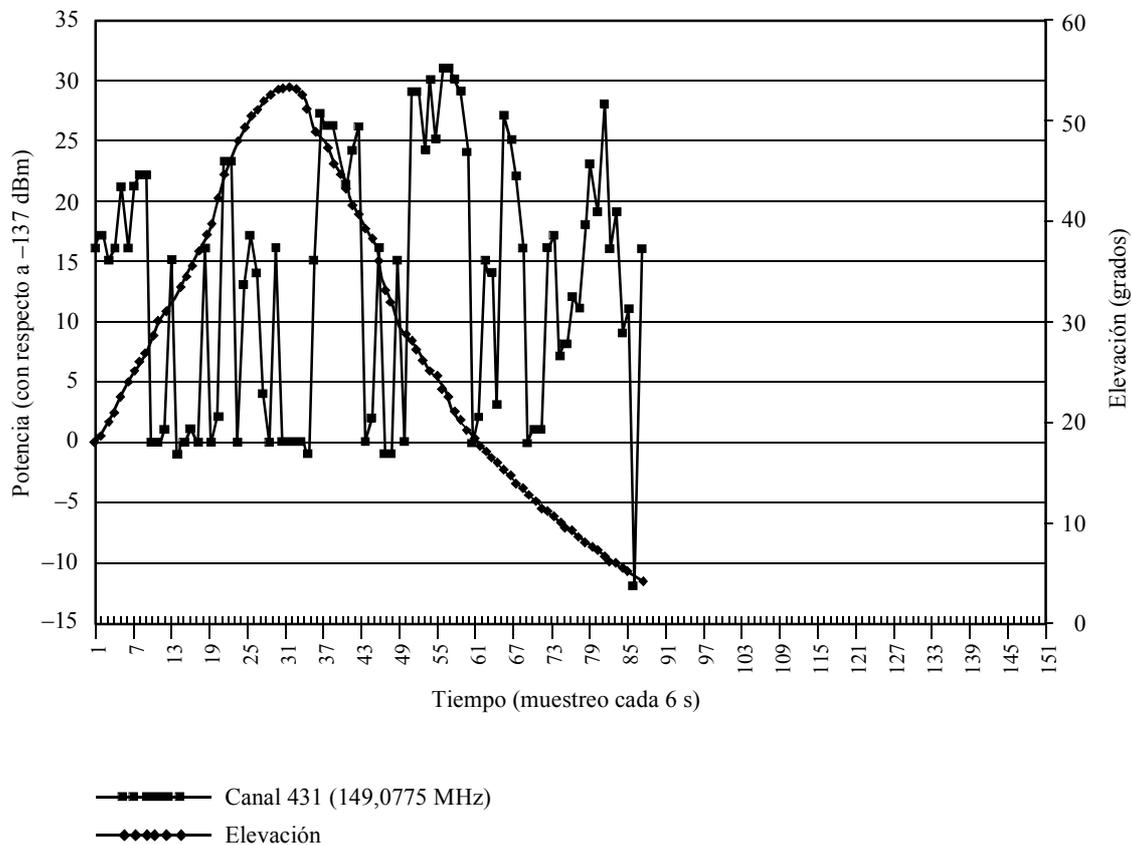
- pruebas sobre la sensibilidad del receptor del satélite;
- conmutación SAADC en condiciones normales y conmutación cuando el EPD simula una transmisión móvil terrestre en el canal asignado, y
- simulación por el EPD de una señal interferente procedente de una ETM que transmite en el mismo canal que una señal vocal procedente de un sistema móvil terrestre analógico.

5.2.1 Pruebas de sensibilidad del receptor del satélite

El EPD se configuró para recibir los datos explorados del enlace descendente desde el satélite. Estos datos indicaron el nivel de potencia de ruido del espectro en la banda 148-149,9 MHz que podría observar el satélite en su zona de cobertura de 3 000 millas de diámetro. Las exploraciones verificaron la sensibilidad de los receptores del satélite detectando los transmisores de radiomensajería de alta potencia utilizados por las redes de radiomensajería de las administraciones y las transmisiones de la estación de base móvil utilizadas por las administraciones para transmitir la portadora de 5 W con distintos ángulos de elevación durante los periodos de visibilidad del satélite. La portadora de la estación de base móvil fue detectada por el satélite, como muestra la Fig. 17, con la portadora conectada para ángulos de elevación del satélite de 50° y 30° y desconectada para ángulos de elevación de 45° y 20°. Se confirmó que el nivel de ruido del receptor del satélite era aproximadamente de -137 dBm en la anchura de banda de canal del receptor de 2,5 kHz. Este nivel de ruido fue suficiente para detectar fácilmente una señal procedente del transmisor de la EMT de 500 mW.

FIGURA 17

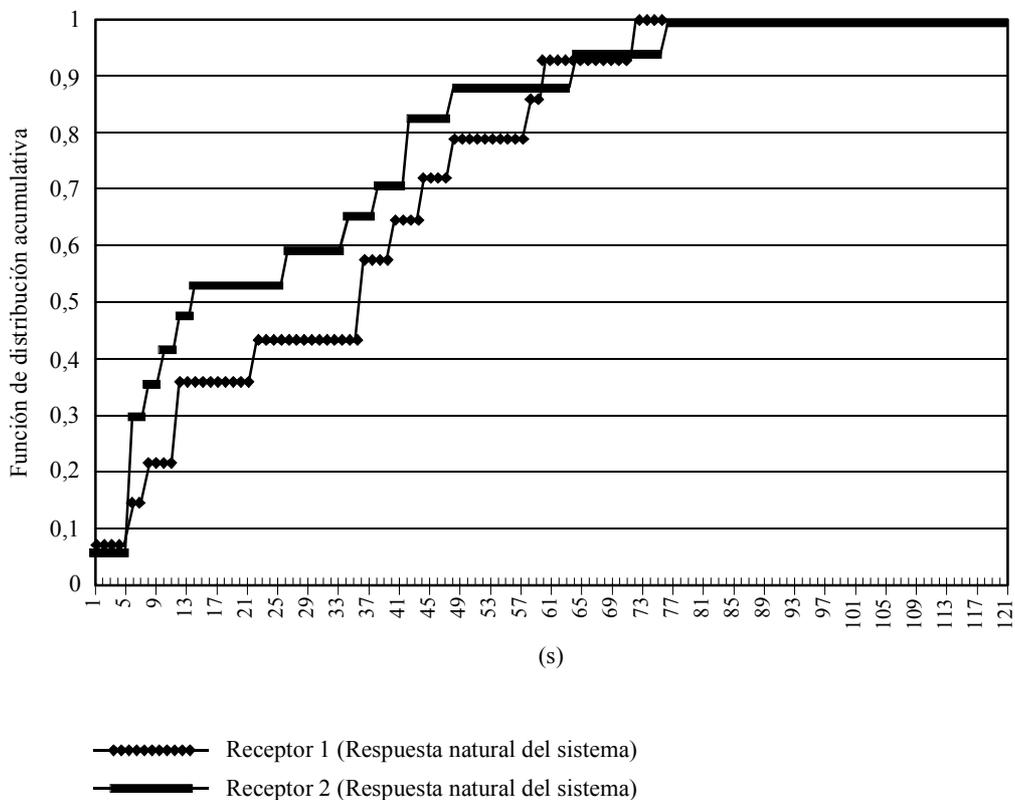
Potencia recibida en el vehículo espacial



5.2.2 Prueba del SAADC

Durante la prueba del SAADC se configuró el EPD en primer lugar para que supervisase la conmutación de los canales de enlace ascendente asignados, donde la ocupación real del espectro controlaba la conmutación del SAADC. Esto se representa en la Fig. 18 donde la distribución acumulativa para la conmutación de los canales 1 y 2 de recepción muestra que el 60% del tiempo la conmutación del canal se produjo después de 30 s. En la siguiente prueba se simuló un transmisor interferente del servicio móvil terrestre o una señal interferente con una elevada potencia de ruido en el canal del receptor asignado del satélite. Esta prueba denominada de fatiga del SAADC se realiza ajustando el EPD para que reciba la información del canal del enlace ascendente asignado del SAADC, como si se tratase de una ETM. Sin embargo, en vez de enviar las transmisiones de adquisición, el EPD generó una señal de ruido aleatorio en dicho canal.

FIGURA 18
Distribución de las duraciones de los canales seleccionados

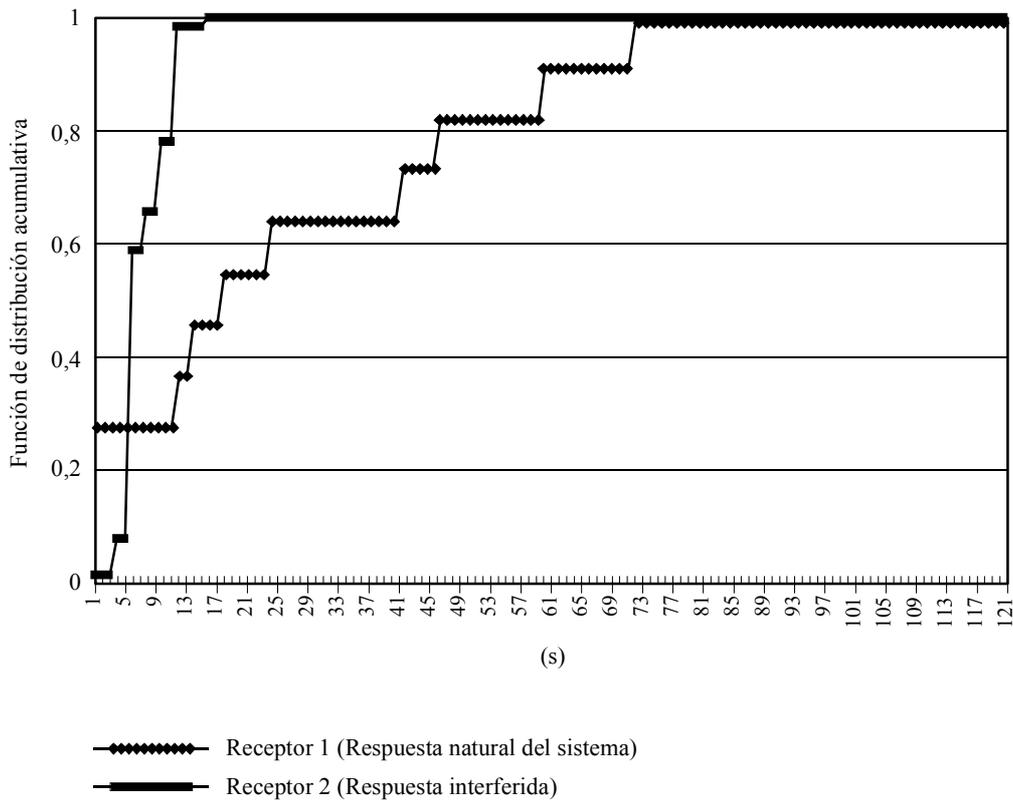


1039-18

Las pruebas verificaron que el SAADC conmutaría al canal de recepción asignado tras una sola exploración (aproximadamente 6 s) el 60% del tiempo y tras dos exploraciones (aproximadamente 12 s) más del 90% del tiempo (véase la Fig. 19).

FIGURA 19

Distribución de las duraciones de los canales seleccionados



1039-19

5.2.3 Interferencia causada a los sistemas móviles terrestres

Las pruebas de interferencia con los sistemas móviles terrestres se realizaron configurando el EPD para simular unas transmisiones de ráfagas de datos de la ETM de 3 ms, 50 ms, 100 ms y 450 ms de duración. La potencia de estas transmisiones varió de 10 a 30 dBm y se obtuvieron los siguientes resultados:

- las ráfagas de las transmisiones cocanales de la ETM no abren el silenciador de tono en los receptores móviles terrestres;
- las transmisiones cocanales de la ETM consistentes en ráfagas de datos de 3,3 ms de duración son demasiado breves como para abrir el silenciador de la portadora del receptor móvil o interferir con las señales de conversación en curso;
- los receptores móviles con silenciador de portadora experimentarán interrupciones de silenciador si una ETM transmite ráfagas de datos cocanal más largas (50 ms) en un radio de aproximadamente 25 km, dependiendo del bloqueo por el terreno y de la sensibilidad del receptor móvil. Ello es coherente con las distancias de coordinación esperadas indicadas en otros puntos de esta Recomendación;
- se observó que la repercusión real de las transmisiones del EPD en las llamadas móviles terrestres se producía cuando dichas llamadas estaban en curso. En esas pruebas, las ráfagas del EPD fueron perceptibles en el caso de ráfagas de datos de la ETM cocanal de 50 y 100 ms y las interrupciones en el mensaje recibido se produjeron para ráfagas de datos de 450-500 ms. Se observó que el grado de efecto subjetivo de la ráfaga EPD es función de la relación portadora deseada/interferencia, C/I , que está directamente relacionada con la distancia desde el receptor móvil de la ETM al transmisor móvil terrestre. La distribución de probabilidad se describe en otros puntos de esta Recomendación.