

RECOMENDACIÓN UIT-R M.1635

**Metodología general para evaluar la interferencia potencial
entre sistemas IMT-2000 o posteriores
a IMT-2000 y otros servicios**

(2003)

Resumen

El estudio y consideración de la interferencia entre sistemas IMT-2000 o posteriores a IMT-2000 y otros servicios es esencial para la planificación que las administraciones deben hacer de la utilización de las bandas de frecuencias en las que existen atribuciones a título primario compartidas por los servicios móviles y por otros servicios.

Es previsible que las redes IMT-2000 y los sistemas posteriores a IMT-2000 incluyan un número importante de clientes celulares y, por tanto, que las redes requieran una capacidad de transmisión significativa y se desarrollen infraestructuras de alta densidad. Todo ello debe tenerse en cuenta en la evaluación de la compartición entre sistemas IMT-2000 y posteriores a IMT-2000 con otros servicios.

Esta Recomendación proporciona a las administraciones recomendaciones sobre la metodología para la evaluación de la interferencia potencial entre sistemas IMT-2000 y posteriores a IMT-2000 y otros servicios explotados en la misma frecuencia (cofrecuencia) y en la banda adyacente.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que el uso compartido del espectro de frecuencias contribuye al objetivo general de utilización eficiente del espectro radioeléctrico;
- b) que debido a la congestión de las bandas de frecuencias adecuadas para las aplicaciones de banda ancha de los servicios móviles, la utilización compartida del espectro radioeléctrico con otros servicios debe considerarse como una opción válida;
- c) que para la utilización compartida de las bandas de frecuencias por las IMT-2000 y/o los sistemas posteriores a las IMT-2000 y otros servicios, deben considerarse detenidamente las condiciones de coexistencia correspondientes;
- d) que reducir en la mayor medida posible la banda de guarda necesaria para los servicios que funcionan en bandas de frecuencias adyacentes a las utilizadas por las IMT-2000 es una medida adecuada para mejorar la utilización eficaz del espectro,

reconociendo

- a) que los sistemas IMT-2000 y sus mejoras continuarán siendo explotados en las bandas de frecuencias identificadas por la UIT en la CAMR-92 y en la CMR-2000;
- b) que el desarrollo de sistemas posteriores a IMT-2000 puede requerir espectro adicional al hasta ahora identificado para los sistemas IMT-2000;

- c) que las bandas de frecuencias adecuadas para sistemas posteriores a IMT-2000 que permitan servicios de banda ancha de área extensa con plena movilidad pueden no estar en otras alejadas de las bandas de frecuencias identificadas para IMT-2000;
- d) que el espectro adicional es necesario especialmente en zonas densamente pobladas;
- e) que la Recomendación UIT-R M.1461 proporciona una metodología para realizar estudios de compartición entre el servicio de radiodeterminación y otros servicios,

recomienda

1 que se utilicen los procedimientos del Anexo 1 para evaluar la interferencia potencial entre los sistemas IMT-2000 y posteriores a IMT-2000 y los sistemas de otros servicios explotados en la misma frecuencia (cofrecuencia) y en la banda adyacente, teniendo en cuenta las Recomendaciones UIT-R pertinentes relativas a la evaluación de la interferencia sobre los servicios considerados.

Anexo 1

Metodología general para evaluar la interferencia potencial entre sistemas IMT-2000 o posteriores a IMT-2000 y otros servicios

1 Introducción

El estudio y consideración de la interferencia entre sistemas IMT-2000 o posteriores a IMT-2000 y otros servicios es esencial para la planificación que las administraciones deben hacer de la utilización de las bandas de frecuencias en las que existen atribuciones a título primario compartidas por los servicios móviles y por otros servicios, así como de las bandas adyacentes.

En este Anexo se describen los principios de la metodología de evaluación de la compatibilidad a fin de realizar estudios de compartición entre el servicio móvil y otros servicios en la misma frecuencia (cofrecuencia) y en la banda adyacente. Esta metodología incluye consideraciones para tener en cuenta el caso peor, así como un enfoque más representativo para tener una visión completa de los escenarios de interferencia considerados. Parte de los procedimientos de evaluación deben basarse en una metodología estadística bien conocida, la técnica de Monte Carlo. Para calcular la probabilidad de interferencia, los resultados pueden estar basados en las distribuciones acumulativas de I/N o de C/I en los receptores de las aplicaciones consideradas.

Las ecuaciones incluidas en este Anexo describen una metodología de cálculo general. Las unidades de los parámetros de las fórmulas deben ser consistentes cuando se aplican a un estudio específico.

2 Metodología de evaluación de la interferencia

Para realizar estudios de compartición entre servicios móviles y otros servicios en la misma frecuencia (cofrecuencia) y en la banda adyacente, deben aplicarse modelos de simulación que analicen las distintas componentes del trayecto de la interferencia:

- transmisor,
- receptor,
- antenas,
- propagación.

Por otro lado, es necesario trabajar con supuestos relativos a despliegues futuros suficientemente maduros de redes móviles y de aplicaciones de otros servicios en una fase previa al despliegue de dichas redes. Ello permite conseguir, en una fase temprana, resultados lo más realista posibles. Debido a que los escenarios de interferencia entre distintas aplicaciones pueden analizarse utilizando esta metodología, debería aplicarse el cálculo de la densidad espectral de potencia en un sistema interferido. Ello permite tener en cuenta todas las posibles combinaciones de modulación y anchura de banda, así como los requerimientos relativos a los niveles de interferencia admisibles.

Las metodologías necesarias para modelar las diferentes componentes del trayecto de la interferencia deberían basarse en la mayor medida posible, en Recomendaciones UIT-R.

2.1 Nivel de interferencia en un receptor interferido

2.1.1 Evaluación de la densidad espectral de potencia (dep) en un receptor interferido

La dep de una señal interferente en un receptor interferido es un elemento clave en el proceso de cálculo de la interferencia. Debido a la gran variedad de espectros interferentes y de receptores que deben considerarse para evaluar el potencial interferente entre un servicio móvil y otros servicios cofrecuencia y en la banda adyacente, el cálculo de la dep proporciona el enfoque más flexible. Pueden aplicarse todas las combinaciones de espectro de frecuencias y de selectividad del receptor para evaluar el potencial de interferencia entre el servicio móvil y otros servicios. Por lo tanto, el método de cálculo de la dep interferente a la entrada del sistema interferido es la parte esencial de cualquier evaluación de compatibilidad.

El espectro de la densidad de potencia recibida en un receptor interferido puede obtenerse a partir del algoritmo siguiente:

$$P_{Rx}(f, p) = \frac{P_{Tx}(f) \cdot G_{Tx}(\varphi) \cdot G_{Rx}(\theta) \cdot PM_{Rx}(\theta) \cdot S(f)}{R_{Tx} \cdot R_{Rx} \cdot L_b(f, p)} \quad (1)$$

donde:

- $P_{Rx}(f, p)$: espectro de densidad de potencia interferente en el receptor
- $P_{Tx}(f)$: dep a la salida del transmisor
- $G_{Tx}(\varphi)$: ganancia de la antena transmisora en la dirección del receptor
- $G_{Rx}(\theta)$: ganancia de la antena receptora en la dirección del transmisor
- $PM_{Rx}(\theta)$: factor de desadaptación de polarización de la antena receptora
- $S(f)$: selectividad del receptor
- R_{Tx} : pérdidas del alimentador de la antena transmisora
- R_{Rx} : pérdidas del alimentador de la antena receptora
- $L_b(f, p)$: atenuación debida a los efectos de la propagación
- f : frecuencia
- p : porcentaje del tiempo
- φ : ángulo entre la dirección de apuntamiento de la antena transmisora y la antena receptora
- θ : ángulo entre la dirección de apuntamiento de la antena receptora y la antena transmisora

siendo el aislamiento entre transmisor y receptor:

$$I_S(p) = \frac{G_{Tx}(\varphi) \cdot G_{Rx}(\theta) \cdot PM_{Rx}(\theta)}{R_{Tx} \cdot R_{Rx} \cdot L_b(f, p)} \quad (2)$$

donde:

$I_S(p)$: aislamiento entre transmisor y receptor

y el espectro de potencia a la salida del transmisor:

$$P_{Tx}(f) = P_{out} \cdot M_E(f) \quad (3)$$

donde:

$P_{Tx}(f)$: dep a la salida del transmisor

P_{out} : nivel de la potencia de salida del transmisor

$M_E(f)$: envolvente de la modulación a la salida del transmisor.

El espectro de la densidad de potencia interferente viene dado por:

$$P_{Rx}(f, p) = P_{out} \cdot (M_E(f) \cdot I_S(p) \cdot S(f)) \quad (4)$$

Este resultado da una visión completa del nivel de interferencia en función de la frecuencia y del porcentaje del tiempo, permitiendo, por tanto, la evaluación de todos los efectos de la interferencia y los escenarios en cofrecuencia y en banda adyacente.

2.1.2 Agregación de la interferencia producida por varias fuentes

Los escenarios de interferencia en los que varios transmisores funcionan en la misma gama de frecuencias y zona geográfica, requieren metodologías para calcular el efecto combinado de varias señales interferentes sobre el sistema interferido. Para realizar una predicción de la interferencia total en dichos escenarios, las señales interferentes deberían agregar en potencia:

$$P_I(f, p) = \sum_{I=1}^N P_{Rx}(f, p) \quad (5)$$

donde:

$P_I(f, p)$: espectro de la densidad de potencia interferente agregada en el receptor

N : número de señales interferentes.

2.1.3 Potencia de la interferencia efectiva

Algunas de las consideraciones sobre la interferencia requieren calcular la potencia de interferencia efectiva en una parte determinada del espectro de frecuencias. Este nivel de potencia efectiva se calcula integrando la dep sobre la anchura de banda considerada:

$$P_{In}(p) = \int_{f_1}^{f_2} P_I(f, p) \quad df \quad (6)$$

donde:

- $P_{In}(p)$: potencia interferente efectiva en el receptor
- f_1 : límite inferior de la anchura de banda considerada
- f_2 : límite superior de la anchura de banda considerada

lo cual permite calcular, si es necesario, el nivel de densidad de potencia interferente medio en la banda de frecuencias considerada:

$$P_{ds}(p) = \frac{P_{In}(p)}{f_2 - f_1} \quad (7)$$

donde:

- $P_{ds}(p)$: densidad media de potencia interferente.

2.1.4 Cálculo del nivel de interferencia de cresta

En los escenarios de interferencia en los que deben considerarse ganancias de antena elevadas y/o antenas rotatorias, interesa conocer el nivel de interferencia de cresta para evaluar determinados aspectos probabilísticos del nivel de interferencia. En tales casos, el procedimiento de cálculo puede simplificarse utilizando la hipótesis de acoplamiento de los haces principales de los transmisores y receptores considerados. El nivel de dep interferente de cresta a la entrada del sistema interferido puede obtenerse mediante el algoritmo siguiente:

$$P_{Rx}(f, p) = \frac{P_{Tx}(f) \cdot G_{Tx} \cdot G_{Rx}}{R_{Tx} \cdot R_{Rx} \cdot L_b(f, p)} \quad (8)$$

donde:

- $P_{Rx}(f, p)$: espectro de densidad de potencia interferente en el receptor
- $P_{Tx}(f)$: dep a la salida del transmisor
- G_{Tx} : ganancia de cresta de la antena transmisora
- G_{Rx} : ganancia de cresta de la antena receptora
- R_{Tx} : pérdidas del alimentador de la antena transmisora
- R_{Rx} : pérdidas del alimentador de la antena receptora
- $L_b(f, p)$: atenuación debida a los efectos de la propagación
- f : frecuencia
- p : porcentaje del tiempo.

La aplicación de las condiciones de propagación en espacio libre conduce al escenario del caso peor.

2.2 Modelo del transmisor

Las emisiones del transmisor pueden clasificarse en las categorías siguientes:

- emisiones fundamentales;
- emisiones relacionadas armónicamente;
- emisiones no relacionadas armónicamente;
- ruido de banda ancha.

La máscara espectral de un transmisor describe la dep emitida por el mismo. Debido a la compleja estructura espectral del transmisor, en el proceso de evaluación de la interferencia debería aplicarse un modelo más generalizado. La emisión fundamental debería definirse sobre la base de un modelo de envolvente de la modulación respecto a la anchura de banda de transmisión que abarque el 250% de la anchura de banda necesaria. Fuera de dicha frecuencia, se aplicarían las Recomendaciones UIT-R relativas a los niveles de emisiones no esenciales. La atenuación relativa a la densidad espectral de la emisión deseada debe definirse en función de la separación de frecuencia.

2.3 Modelo del receptor

2.3.1 Susceptibilidad del receptor

Los receptores están diseñados para responder a ciertos tipos de señales electromagnéticas en una banda de frecuencias predeterminada. Sin embargo, los receptores también responden a señales no deseadas con diversas características de modulación y de frecuencia. Se considera que las señales potencialmente interferentes pertenecen a una de las tres categorías básicas siguientes:

- la interferencia cocanal, que hace referencia a la existencia de frecuencias dentro de la banda de paso más estrecha del receptor;
- la interferencia de canal adyacente, que hace referencia a las emisiones con componentes de frecuencia dentro o cerca de la banda de paso más amplia del receptor;
- la interferencia fuera de banda, que hace referencia a las señales con componentes de frecuencia que quedan fuera de la anchura de banda más amplia del receptor.

Desde el punto de vista de la interferencia de la banda adyacente, la selectividad en RF es el parámetro más importante. Esta característica define la región espectral en la que, en general, puede aparecer la interferencia. Por otro lado, la selectividad en FI describe la capacidad de un receptor para discriminar la interferencia de canal adyacente. Conjuntamente con la máscara espectral del transmisor, la selectividad en RF y en IF son esenciales para las consideraciones de separación de frecuencia.

Si las características técnicas no están disponibles ni existen datos de mediciones, una relación de anchura de banda de 60 dB a 3 dB constituye un buen indicador de las características de selectividad de un receptor. Los receptores con una elevada sensibilidad pueden tener un factor de forma de 2, mientras que los receptores con una selectividad baja pueden tener factores de forma superiores a 8.

Dado que la selectividad en FI del receptor describe la capacidad de éste para discriminar señales en la banda de paso más amplia del receptor, representa la interferencia cocanal y de canal adyacente. Esta selectividad se definiría mediante una máscara aplicable en la anchura de banda de recepción. A tal fin deben definirse varias combinaciones de anchura de banda y de umbrales de susceptibilidad en dB por encima de la sensibilidad. La máxima atenuación de las señales se obtiene a partir de la selectividad fuera de banda fundamental que rechaza las emisiones no esenciales.

2.3.2 Rechazo de la respuesta a emisiones no esenciales

En general, los receptores son susceptibles a las señales fuera de banda que puedan generar una emisión no esencial en el receptor. Las emisiones no esenciales pueden generarse si una señal interferente es tal que uno de sus armónicos puede mezclarse en un oscilador local con uno de los armónicos locales para producir una señal en la banda de paso de FI del receptor. La frecuencia más crítica en este sentido es la frecuencia imagen del receptor. Para estimar el rechazo a las emisiones no esenciales, debería utilizarse como referencia el umbral de susceptibilidad a la frecuencia imagen. Si se detectan problemas debidos a la frecuencia imagen, deben realizarse investigaciones adicionales centradas en las características reales de la respuesta frente a emisiones no esenciales de los receptores estudiados. Sin embargo, ello requiere disponer de información detallada sobre dichas características.

2.3.3 Desensibilización de la etapa de entrada del receptor

Las señales de gran intensidad dentro de la anchura de banda de RF del receptor pueden causar interferencia, aunque se trate de emisiones fuera de la banda de paso de FI. Las señales de elevada intensidad dentro de la banda de paso de RF pueden producir una reducción de la ganancia de la señal deseada debido a no linealidades a la entrada del receptor. Ello produce una reducción en la relación S/N del receptor afectado cuando se supera un determinado nivel de potencia de referencia de saturación (bloqueo o desensibilización). El nivel de potencia interferente a la entrada del receptor se calcularía mediante la ecuación (6) e integrando sobre la anchura de banda de RF.

2.3.4 Intermodulación en el receptor

Debido a las no linealidades del receptor, dos o más señales pueden mezclarse, en un proceso de intermodulación, y generar señales a otras frecuencias. Si dichas frecuencias generadas están suficientemente cerca de la banda de frecuencias del receptor, pueden causar interferencia puesto que son amplificadas y detectadas por el mismo mecanismo que procesa la señal deseada. El objetivo de realizar una predicción de la intermodulación es identificar en el entorno electromagnético pares de transmisores que puedan degradar la calidad de funcionamiento de un receptor debido a los efectos de la intermodulación.

2.4 Antenas

Los modelos de antena utilizados en el cálculo de la interferencia se seleccionarían de las fuentes siguientes:

- Recomendaciones UIT-R;
- normas técnicas (por ejemplo, ETSI);
- información de fabricantes (si está disponible).

Se deben considerar los efectos de la polarización, si procede.

2.5 Modelos de propagación

La pérdida de propagación entre una estación transmisora y la estación interferida es un elemento clave en la evaluación de la interferencia. A fin de obtener una imagen realista de los escenarios de interferencia, deben utilizarse modelos de propagación que hagan uso, en la mayor medida posible, de una base de datos topográfica (base de datos del terreno y de los elementos que lo cubren). Ello permite aplicar con detalle modelos de propagación. En relación con el modelado de propagación,

se deben de tener en cuenta las condiciones particulares de las aplicaciones consideradas. A este respecto, deben distinguirse varios escenarios:

- punto a punto;
- punto a zona;
- penetración en el interior de edificios.

Si se trata de servicios espaciales, deben tenerse en cuenta las especiales condiciones de los trayectos de propagación espacio-Tierra.

2.5.1 Punto a punto

En el caso de estaciones transmisoras fijas y estaciones receptoras fijas interferidas, la pérdida de propagación se calcularía conforme a la Recomendación UIT-R P.452. Dicha Recomendación incluye un enfoque analítico de las condiciones de propagación del trayecto de interferencia. La Recomendación tiene en cuenta los efectos de propagación siguientes en función del porcentaje de tiempo y de la banda de frecuencias de que se trate:

- atenuación debida a gases atmosféricos;
- difracción;
- dispersión troposférica;
- superrefracción en la superficie y propagación por conductos;
- reflexión y refracción en las capas elevadas;
- apantallamiento del emplazamiento contra ecos parásitos producidos por el terreno;
- dispersión debida a las precipitaciones.

Este modelo de propagación permite el cálculo de la atenuación para una gran variedad de porcentajes de tiempo, de forma que puede aplicarse para condiciones de propagación a corto y largo plazo.

2.5.2 Punto a zona

Cuando se deban considerar escenarios de interferencia de punto a zona, deberían aplicarse modelos de propagación adecuados que tengan en cuenta condiciones específicas. En las bandas de frecuencias por debajo de 3 GHz, puede ser adecuado aplicar la Recomendación UIT-R P.1546.

No obstante, la Recomendación UIT-R P.452 también ofrece un enfoque estadístico de la atenuación debida a las pérdidas de difracción adicionales que existen cuando las antenas se sitúan en entornos que producen ecos parásitos, tales como edificios o vegetación. Este modelo de corrección emplea un enfoque conservador para tener en cuenta las incertidumbres sobre la situación de un transmisor o receptor determinado. En función de dicha situación (altura de la antena, distancia, etc.), los efectos de apantallamiento del emplazamiento pueden producir una atenuación de hasta 20 dB. Por lo tanto, también puede aplicarse la Recomendación UIT-R P.452 cuando se realicen estudios sobre los escenarios de interferencia de estaciones móviles, especialmente para determinar escenarios en bandas de frecuencias por encima de 3 GHz.

Para distancias inferiores a 1 km, puede aplicarse la Recomendación UIT-R P.1411 – Datos de propagación y métodos de predicción para la planificación de los sistemas de radiocomunicaciones de exteriores de corto alcance y redes de radiocomunicaciones de área local en la gama de frecuencias de 300 MHz a 100 GHz. Esta Recomendación proporciona modelos generales (es decir, independientes del emplazamiento) y modelos específicos del emplazamiento.

2.5.3 Penetración y propagación en el interior de edificios

Cuando una estación base (EB) o una estación móvil (EM) del servicio móvil o bien una estación de cualquier otro servicio se encuentra en un edificio, debe preverse el efecto de las pérdidas adicionales de penetración debidas a las paredes exteriores (pérdidas de entrada al edificio) así como las debidas a las paredes y suelos interiores (pérdidas de penetración). Sin embargo, el valor de dichas pérdidas de penetración depende en gran medida de las características del edificio considerado. Puesto que las estructuras reales de los edificios no están normalmente disponibles, no es posible tener en cuenta todos los factores que caracterizan un entorno concreto a fin de calcular exactamente las condiciones de propagación dentro del edificio. Por lo tanto, es necesario aplicar modelos generales del emplazamiento que requieran poca información del trayecto o del emplazamiento. Por otro lado, la gran variedad de emplazamientos posibles de estaciones dentro de un edificio hace que existan grandes variaciones en los niveles de interferencia. En consecuencia, cabe esperar resultados muy distintos en los diversos entornos que pueden encontrarse. En algunos casos se producirán niveles muy altos de atenuación, por ejemplo, en los sótanos de grandes edificios. Asimismo, si se supone funcionamiento en exteriores (por ejemplo, en azoteas y balcones), no se producirán pérdidas adicionales. Ello da lugar a variaciones de hasta 60 ó 70 dB para distintas situaciones en un mismo entorno.

El entorno, la altura y el tamaño de los edificios tendrán un notable efecto en los resultados. La gran variedad de posibles emplazamientos de estaciones dentro de un edificio hace que existan grandes variaciones en los niveles de interferencia. En consecuencia, cabe esperar resultados muy distintos en los diversos entornos que pueden encontrarse. La Recomendación UIT-R P.1238 – Datos de propagación y métodos de predicción para la planificación de sistemas de radiocomunicaciones de interiores y redes de radiocomunicaciones de área local en la gama de frecuencias de 900 MHz a 100 GHz, proporciona un modelo general de emplazamientos que distingue entre entornos residenciales, de oficinas y comerciales. En la Recomendación UIT-R P.679 – Datos de propagación necesarios para el diseño de sistemas de radiodifusión por satélite, pueden encontrarse valores de la pérdida de entrada a los edificios.

2.5.4 Espacio-Tierra

Si se debe evaluar la interferencia entre estaciones terrenales y espaciales, las pérdidas de propagación deberían calcularse de conformidad con la Recomendación UIT-R P.619. En dicha Recomendación se analizan los tres mecanismos de propagación más importantes:

- propagación en el espacio libre;
- dispersión debida a las precipitaciones, y
- atenuación diferencial en trayectos Tierra- espacio adyacentes,

para calcular las pérdidas de propagación en los trayectos espacio-Tierra que permitan evaluar la interferencia.

2.6 Escenarios de despliegue

Para realizar estudios de compartición entre servicios móviles y otros servicios radioeléctricos en las mismas bandas (cofrecuencia) y en bandas adyacentes, es absolutamente necesario considerar una red móvil completamente desplegada, puesto que la existencia de un gran número de EB y de EM funcionando en la misma banda de frecuencias puede influir muy significativamente en los resultados que se obtengan. Cuando se trate de sistemas futuros, se deben realizar simulaciones de despliegues masivos (tan realistas como sea posible) para la evaluación de los problemas de

interferencia con los servicios existentes. La base de dicha metodología de simulación de redes móviles futuras y maduras es el cálculo de la demanda esperada de comunicaciones, de la que se derivan las estructuras de red necesarias para dar respuesta a dicha demanda. La demanda de comunicaciones y las estructuras de redes móviles resultantes pueden ser determinadas aplicando:

- estadísticas demográficas;
- estructuras económicas;
- distribución de la población;
- índices de penetración debidos a las clases de emisiones parásitas del terreno, etc.,

así como modelos de previsiones de mercado adecuadas para identificar los requisitos de capacidad de las aplicaciones del servicio móvil.

Para los restantes servicios, el cálculo de la interferencia debería tener en cuenta, en la mayor medida posible, el despliegue actual y previsto de transmisores y receptores.

3 Evaluación de escenarios de interferencia

En los procedimientos de cálculo de la interferencia entre redes móviles y otros servicios es necesario distinguir diferentes situaciones en relación con las EB y las EM. En los procesos de simulación deben tenerse en cuenta la movilidad de las EM y los tiempos relativamente cortos durante los cuales dichas estaciones acceden al sistema. Por otro lado, debe tenerse también en cuenta la ubicación fija de las EB así como que es previsible que su funcionamiento sea continuo. Ello da lugar a distintos procedimientos de cálculo de la interferencia de las EB y las EM.

Además, cualquier proceso de evaluación de la interferencia debe tener en cuenta las condiciones especiales de los servicios de radiocomunicaciones implicados:

- sistemas que funcionan con antenas omnidireccionales verticales de alta ganancia situadas bastante por encima de las zonas de emisiones parásitas locales (por ejemplo, estaciones centrales de sistemas de acceso fijo radioeléctrico, etc.);
- sistemas que funcionan con antenas de alta ganancia cuyo efecto interferente puede aparecer a grandes distancias en la dirección de máxima radiación de la antena (por ejemplo, servicio fijo, SFS, servicio de radioastronomía, servicio de radionavegación aeronáutica, etc.);
- equipos de cliente situados cerca de los terminales IMT-2000;
- sistemas que reciben información desde, o que causan interferencia sobre zonas de gran extensión (por ejemplo, estaciones espaciales de satélites OSG y no OSG, o sistemas a bordo de aeronaves).

Cada caso requiere un análisis cuidadoso que se centre en los efectos físicos dominantes en el mismo.

3.1 Cálculo de la dep interferente

3.1.1 Escenarios de interferencia de EB

El cálculo de la interferencia entre EB del servicio móvil y otros servicios debería apoyarse en los sistemas existentes o planificados del servicio que se esté considerando. Para obtener una primera impresión de las diferentes situaciones de interferencia que pueden darse en las distintas regiones y con los posibles escenarios de despliegue de servicios, deben analizarse situaciones típicas.

En función de las estructuras de red consideradas, deben analizarse todas las EB que previsiblemente se encuentren en funcionamiento en la banda de frecuencias de interés a una cierta distancia máxima del receptor interferido:

- cálculo del aislamiento entre las estaciones consideradas;
- aplicación de procesos que varían con el tiempo a fin de calcular la correspondiente variación de los niveles de interferencia (por ejemplo, apuntamiento de las antenas, condiciones de propagación);
- cálculo del nivel de densidad espectral de interferencia agregada en el receptor interferido.

En el caso de movilidad del sistema interferido o de antenas rotatorias o móviles, los niveles de interferencia serán variables con el tiempo. Por lo tanto, la evaluación de la interferencia potencial exige analizar las variaciones con el tiempo de los niveles de interferencia. Para obtener distribuciones acumulativas estables de los niveles de interferencia, puede ser necesario calcular varios escenarios en función de las características del sistema interferido. Despreciar la variabilidad con el tiempo de los procesos implicados y las condiciones reales de propagación (es decir, aplicar condiciones de propagación de espacio libre), conduce al caso peor. Dichos valores deben compararse en todo caso con la interferencia potencial correspondiente al caso peor basado en el acoplamiento entre haces principales de las respectivas antenas y condiciones de pérdidas en espacio libre.

3.1.2 Escenarios de interferencia de EM

En comparación con los escenarios de interferencia de las EB, el análisis de la interferencia entre EM y las estaciones de otros servicios es generalmente más complejo. El principal problema reside en el hecho de que la EM no estará en funcionamiento las 24 h del día y además se utilizará en movimiento.

Para calcular los escenarios de interferencia entre las EM y las estaciones de otros servicios, deben aplicarse las metodologías adecuadas. Los usuarios móviles se distribuirán de forma aleatoria en la región de interés, en función de los diferentes índices de penetración del servicio en cada una de las zonas consideradas. Para cada instante de tiempo considerado se analiza la interferencia potencial, para lo cual se debe:

- seleccionar las EM activas de forma aleatoria de entre la población estimada de usuarios, teniendo en cuenta los supuestos de duración y probabilidad de las llamadas, y los mecanismos de control de las EM, así como los requisitos de capacidad variables con el tiempo de la célula considerada;
- calcular el aislamiento entre todas las combinaciones de estaciones de los servicios considerados (usuarios activos de EM y estaciones de otros servicios que se considera que estarán en funcionamiento);
- calcular los niveles de densidad espectral de interferencia agregada en el receptor interferido.

En función de los escenarios de interferencia considerados, especialmente si deben aplicarse condiciones variables con el tiempo para ambos servicios, han de realizarse un gran número de cálculos de interferencia a fin de obtener una distribución acumulativa estable del escenario de interferencia. Dichos valores deben compararse siempre con la interferencia potencial correspondiente al caso peor basado en el acoplamiento entre haces principales de las respectivas antenas y condiciones de pérdidas en espacio libre.

Si los aspectos relacionados con la duración de la interferencia son importantes para evaluar la interferencia potencial, debe tenerse en cuenta la movilidad de las EM así como el acceso (número de) y duración de las llamadas.

3.2 Probabilidad de interferencia

La distribución acumulativa de la dep interferente a la entrada del receptor interferido permite la evaluación de la probabilidad de interferencia respecto a los niveles de interferencia admisibles del servicio considerado. En función de los requisitos del servicio, pueden aplicarse las filosofías de análisis de interferencia siguientes a la estación receptora de un determinado servicio:

- el nivel de interferencia admisible se refiere al nivel de ruido inherente del receptor mediante la definición de una cierta degradación de la relación C/N (concepto de I/N);
- el nivel de interferencia admisible se refiere al nivel de señal deseada requerido (concepto de C/I).

En los sistemas de algunos servicios, las señales interferentes a corto plazo pueden tener también efectos importantes. En tales casos, debe evaluarse no sólo la probabilidad de un evento interferente, sino también su duración e impacto sobre la calidad de funcionamiento del receptor interferido.

3.3 Consideración sobre la coexistencia

La principal cuestión a la que debe responderse en cualquier evaluación de interferencia en escenarios cofrecuencia y en banda adyacente, es la separación necesaria tanto en frecuencia como geográfica para evitar la interferencia perjudicial en los receptores considerados.

En escenarios cofrecuencia es necesaria una cierta separación geográfica para reducir la señal interferente a un nivel admisible para un determinado servicio. Por otro lado, puede ser conveniente que exista una separación de frecuencias que reduzca la señal interferente en la anchura de banda del receptor a un nivel de emisiones no esenciales que evite la interferencia perjudicial. Dicha banda de guarda depende de la densidad espectral de las emisiones así como de la capacidad de filtrado del receptor afectado. Cuando se deban tener en cuenta aplicaciones de alta potencia y/o receptores sensibles, puede ocurrir que la definición de una única banda de guarda no sea suficiente en todos los casos. Por lo tanto, en tales casos debe definirse una separación geográfica adicional.

3.3.1 Banda de guarda

La separación de frecuencia requerida entre la banda de emisión y la de recepción es esencial para valorar la banda de guarda que debe existir entre dos servicios. Para que la atenuación de una señal interferente sea máxima en la banda de paso de un receptor, debe cumplirse la condición siguiente:

$$\Delta f = (2,5 \cdot B_{Tx}) / 2 + B_{Rx60} / 2 \quad (9)$$

donde:

- Δf : separación de frecuencia
- B_{Tx} : anchura de banda de emisión
- B_{Rx60} : anchura de banda en FI del receptor a 60 dB.

En muchos casos, no es necesaria toda la separación de frecuencia para reducir las señales interferentes al nivel admisible del receptor. En función de la densidad espectral de la emisión no deseada y de la capacidad de filtrado del receptor afectado, puede ser adecuado utilizar una separación de frecuencia menor de acuerdo con la condición siguiente:

$$\int_{f_1}^{f_2} P_I(f + \Delta f, p) \, d f \leq P_{tol} \quad (10)$$

donde:

$P_I(f + \Delta f, p)$: densidad espectral de interferencia agregada en el receptor

f_1 : límite inferior de la anchura de banda en FI del receptor a 60 dB

f_2 : límite superior de la anchura de banda en FI del receptor a 60 dB

Δf : separación de frecuencia

P_{tol} : potencia interferente agregada admisible (tolerable) en el receptor.

3.3.2 Separación geográfica

En función del requisito de aislamiento debido a condiciones de propagación, puede calcularse la separación geográfica necesaria para reducir la señal interferente al nivel admisible de un receptor.

El caso peor de separación viene determinado por las condiciones de propagación en espacio libre. Sin embargo, ello puede dar lugar a distancias grandes que en muchos casos resultan muy poco realistas. Por otro lado, la probabilidad de interferencia se reduce así a su mínimo teórico.

El diseño de los sistemas de algunos servicios de radiocomunicaciones se hace manteniendo una disponibilidad del servicio que es función de la misión del mismo. Por lo tanto, la interferencia admisible en un receptor debe definirse en relación con sus objetivos de disponibilidad. La consideración realista de escenarios de interferencia debe tener en cuenta los requisitos de los servicios afectados y la utilización eficiente de los recursos espectrales. La aplicación de la distribución acumulativa de la interferencia agregada para definir la separación geográfica necesaria puede ser la solución más adecuada ya que conduce a separaciones menores y más realistas. Por otro lado, el riesgo de interferencia concuerda con el criterio de protección, pudiendo plantearse una utilización más eficiente del espectro. La aplicabilidad de otros enfoques enumerados más arriba debe evaluarse en relación con los requisitos técnicos y operacionales de los sistemas de los servicios de radiocomunicaciones implicados.
