

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R F.1766-0
(04/2006)

Metodología para determinar la probabilidad de que un observatorio de radioastronomía reciba interferencia basándose en las zonas de exclusión calculadas para protegerse contra la interferencia de las aplicaciones de alta densidad punto a multipunto en el servicio fijo que funcionan en bandas en torno a 43 GHz

Serie F
Servicio fijo



Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión (sonora)
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radioastronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro
SNG	Periodismo electrónico por satélite
TF	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
V	Vocabulario y cuestiones afines

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2017

© UIT 2017

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R F. 1766*, **

Metodología para determinar la probabilidad de que un observatorio de radioastronomía reciba interferencia basándose en las zonas de exclusión calculadas para protegerse contra la interferencia de las aplicaciones de alta densidad punto a multipunto en el servicio fijo que funcionan en bandas en torno a 43 GHz

(2006)

Cometido

Esta Recomendación proporciona una metodología para obtener las zonas de exclusión en torno a los emplazamientos de radioastronomía para transmisiones de aplicaciones de alta densidad punto a multipunto (P-MP) del servicio fijo (HDFS), que pueden utilizar las administraciones en las discusiones nacionales y bilaterales como método para proteger los emplazamientos de radioastronomía contra la posible interferencia procedente de las estaciones P-MP HDFS.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la banda de frecuencias 42,5-43,5 GHz se utiliza o está prevista su utilización para observaciones del continuum;
- b) que las bandas de frecuencias 42,77-42,87 GHz; 43,07-43,17 GHz y 43,37-43,47 GHz son utilizadas por los radioastrónomos para observar las rayas espectrales del monóxido de silicio;
- c) que estas observaciones pueden realizarse utilizando una sola antena o mediante una red de antenas que utilizan técnicas de interferometría con línea de base muy larga (VLBI);
- d) que estas observaciones utilizan antenas de muy alta ganancia y amplificadores de muy bajo nivel de ruido para recibir emisiones radioeléctricas cósmicas extremadamente débiles sobre las que los astrónomos no tienen control;
- e) que las aplicaciones de alta densidad punto a multipunto (P-MP) del servicio fijo (HDFS) podrían exigir la instalación de un gran número de terminales para los cuales sería imposible efectuar la coordinación individual;
- f) que las administraciones que desean proteger los emplazamientos del servicio de radioastronomía (SRA) contra la interferencia procedente de las estaciones P-MP HDFS pueden considerar la utilización de una zona de exclusión en torno a dichos emplazamientos en sus discusiones nacionales y bilaterales;
- g) que la determinación del tamaño de la zona de exclusión podría mejorarse considerando la topología y los datos demográficos en torno a los emplazamientos del SRA,

reconociendo

- a) que la banda de frecuencias 42,5-43,5 GHz está atribuida al servicio de radioastronomía (SRA) a título primario en todo el mundo;

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 7 de Radiocomunicaciones.

** La Comisión de Estudio 5 de Radiocomunicaciones introdujo en 2017 modificaciones de redacción en esta Recomendación, de conformidad con la Resolución UIT-R 1.

b) que el número 5.149 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) indica que «se insta a las administraciones a que, al hacer asignaciones a estaciones de otros servicios a los que están atribuidas las bandas 42,5-43,5 GHz; 42,77-42,87 GHz; 43,07-43,17 GHz y 43,37-43,47 GHz, tomen todas las medidas prácticamente posibles para proteger el servicio de radioastronomía contra las interferencias perjudiciales»;

c) que la banda 42,5-43,5 GHz está también atribuida al servicio fijo a título primario;

d) que el número 5.547 del RR indica que la banda 42,5-43,5 GHz está disponible para aplicaciones de alta densidad en el servicio fijo y que las administraciones deben tener en cuenta esta circunstancia cuando consideren las disposiciones reglamentarias relativas a esta banda,

observando

a) que la Resolución 79 (CMR-2000) invita al UIT-R a «realizar estudios sobre la distancia de coordinación entre estaciones de radioastronomía que funcionan en la banda 42,5-43,5 GHz y estaciones HDFS asociadas, con objeto de elaborar Recomendaciones UIT-R»;

b) que la Recomendación UIT-R F.1760 describe una metodología de cálculo de la distribución de la potencia isotrópica radiada equivalente combinada (p.i.r.e.c.) de aplicaciones punto a multipunto de alta densidad del servicio fijo en bandas por encima de 30 GHz,

recomienda

1 que se utilice el Anexo 1 para determinar la probabilidad de que una observación del SRA reciba interferencia procedente de una instalación de P-MP HDFS fuera de una zona de exclusión (ZE) especificada basándose en las distribuciones de p.i.r.e.c.;

2 que se utilice el Anexo 2 para determinar la ZE en torno al emplazamiento del SRA, definida por unas pérdidas de propagación a partir de dicho emplazamiento fuera de la cual las estaciones P-MP HDFS pueden instalarse sin peligro de que causen interferencia inaceptable al SRA, utilizando la metodología del Anexo 1 para calcular la probabilidad de interferencia.

Anexo 1

Metodología para determinar la probabilidad de que una observación del SRA reciba interferencia procedente de una instalación de P-MP HDFS fuera de una ZE especificada basándose en las distribuciones de p.i.r.e.c.

1 Introducción

Para garantizar al SRA el nivel requerido de protección, es preciso poder predecir los niveles de interferencia que puede aparecer en un emplazamiento del SRA causada por instalaciones de estaciones P-MP HDFS. Este nivel de interferencia dependerá de las características supuestas para cada servicio y del terreno y los ecos parásitos en torno al emplazamiento del SRA.

Un cierto número de parámetros de entrada no están disponibles como constante numérica pero varían de acuerdo a una distribución. Por ejemplo, las pérdidas de propagación entre dos puntos dependen de varios parámetros incluido el porcentaje de tiempo. La metodología descrita en el presente Anexo se basa en las técnicas de Monte Carlo donde se aplica una convolución a estas distribuciones de entrada mediante una ecuación de interferencia para elaborar una distribución de la interferencia en función de la probabilidad de que se rebasen estos niveles de interferencia.

Este método permite la comparación con los umbrales del SRA definidos en la Recomendación UIT-R RA.769, que se definen en términos de umbral de interferencia (potencia media durante la observación) y probabilidad de que resulte interferida una observación.

El cálculo requiere tres etapas:

- 1 definición del modelo del SRA;
- 2 definición del modelo P-MP HDFS;
- 3 cálculo de la interferencia.

En los siguientes puntos se describe cada una de estas etapas.

2 Modelo del SRA

2.1 Umbral de interferencia

La base del modelo del SRA es el criterio de protección de las mediciones de radioastronomía descrito en la Recomendación UIT-R RA.769. Para proteger el servicio de radioastronomía es necesario que una observación esté libre de interferencias con una probabilidad del $(100 - x)\%$.

Una observación no sufre interferencia si la potencia interferente media a lo largo del periodo de integración T es inferior a los niveles especificados en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R RA.769. En esta Recomendación y en otros análisis de compartición con el SRA se utiliza normalmente un valor de $T = 2\,000$ s.

Este periodo de integración también determina la sensibilidad del receptor y, por consiguiente, el umbral o nivel medio de la interferencia. Estos valores varían dependiendo del tipo de observación; por ejemplo, observaciones del continuum u observaciones de rayas espectrales. Las observaciones del continuum son más sensibles que las de las rayas espectrales y, por tanto, requieren un umbral inferior. El funcionamiento de un telescopio como parte de un sistema VLBI da lugar a unos valores umbral más elevados a causa de la baja correlación de las fuentes de interferencia.

Los valores que aparecen en el Cuadro 1 de la Recomendación UIT-R RA.769-2 se refieren a valores medios de los niveles umbrales de interferencia en términos de densidad espectral del flujo de potencia basándose en una ganancia supuesta del receptor de 0 dBi. Ello corresponde a una antena con los lóbulos laterales que figuran en la Recomendación UIT-R SA.509 para un ángulo con respecto al eje de 19° . A fin de poder establecer modelos de telescopios del SRA para ángulos de elevación menores e incluir otros diagramas de ganancia para el telescopio, es necesario definir el umbral en términos de interferencia en el receptor; es decir, utilizando el valor ΔP_H definido en la ecuación (4) de la citada Recomendación.

Como se ha indicado anteriormente, una observación debe estar libre de interferencia con una probabilidad del $(100 - x)\%$; es decir, no debe rebasarse este valor umbral. La Recomendación UIT-R RA.1513 indica que para una red sencilla, en este caso para una instalación P-MP HDFS, debe utilizarse un valor de $x = 2\%$.

2.2 Emplazamiento

El emplazamiento de la antena del SRA viene definido por su latitud, su longitud y su altura sobre el terreno local.

2.3 Diagrama de ganancia

La antena del SRA debe modelarse mediante un diagrama de ganancia adecuado tal como el que se especifica en las Recomendaciones UIT-R S.1328 o UIT-R RA.1680 o, si se dispone de ellos, basándose en los datos medidos. Como se ha indicado anteriormente, el nivel umbral de interferencia se basa en la interferencia media a lo largo de un periodo de observación, normalmente de 2 000 s. Suponiendo que el entorno de propagación y la instalación de P-MP HDFS es constante a lo largo de dicho periodo, la interferencia media se calculará utilizando la ganancia media a lo largo del periodo de observación.

La ganancia media de un telescopio del SRA puede determinarse:

- ubicando un cierto número de puntos de prueba (por ejemplo, cada 3°) sobre el horizonte en torno al emplazamiento de prueba del SRA;
- fijando la antena del SRA al diagrama de ganancia seleccionado como se describe anteriormente;
- seleccionando la elevación de la antena al valor mínimo para las observaciones en este emplazamiento (por ejemplo 5°) y con un acimut = 0;
- aumentando la elevación de la antena a una velocidad igual a la de la rotación de la Tierra durante 2 000 s;
- determinando la ganancia media en cada punto de prueba a lo largo de este periodo. El valor medio debe expresarse en unidades lineales y no en dBi, aunque el cuadro resultante puede presentarse en dBi.

El cuadro de {(ganancia media a lo largo de 2 000 s), (ángulo a partir del acimut del SRA)} puede utilizarse para representar el diagrama de ganancia media de la antena del SRA hacia el horizonte a lo largo de un periodo de observación.

2.4 Resumen

Los parámetros de entrada necesarios para definir el modelo del SRA se resumen en el Cuadro 1.

CUADRO 1

Parámetros del modelo SRA

Parámetro de entrada	Origen
Umbral de interferencia	Interferencia media a lo largo de los 2 000 s del periodo de observación calculado a partir de la Recomendación UIT-R RA.769 para el tipo de observación pertinente
Probabilidad aceptable de que una observación reciba interferencia	De una red P-MP HDFS, el 2% según la Recomendación UIT-R RA.1513
Latitud del SRA	A partir del emplazamiento del SRA
Longitud del SRA	A partir del emplazamiento del SRA
Altura de la antena del SRA sobre el suelo	A partir del emplazamiento del SRA
Ganancia media a lo largo de la observación	Cuadro de {(ganancia media a lo largo de 2 000 s), (ángulo a partir del acimut del SRA)}, calculado utilizando el algoritmo descrito anteriormente

3 Modelo P-MP HDFS

3.1 Distribuciones de p.i.r.e.c.

Los sistemas de P-MP HDFS podrían emplear una gama de servicios, arquitecturas y características. Para soportar la regulación de esta banda, pueden definirse modelos de referencia con características tales como máximo tamaño de célula, p.i.r.e., alturas de antena, etc. A partir de estos modelos de referencia es posible obtener distribuciones de la p.i.r.e. combinada (p.i.r.e.c.) que definen la probabilidad de que la p.i.r.e.c. dentro de una zona o bloque de edificios no supere un cierto valor. El algoritmo para determinar estas distribuciones de p.i.r.e.c. se describe en la Recomendación UIT-R F.1760 – Metodología de cálculo de la distribución de la potencia isotropa radiada equivalente combinada de aplicaciones punto a multipunto de alta densidad del servicio fijo en bandas por encima de 30 GHz que se han identificado para dicha utilización.

La p.i.r.e.c. engloba las características de todos los transmisores en el interior del bloque de edificios, incluidos aspectos tales como control de potencia, diagramas de ganancia, combinación y ecos parásitos. La instalación de terminales P-MP HDFS variará según los bloques de edificios; sin embargo, es probable que un número elevado de bloques de edificios produzca una gama de p.i.r.e.c. como la definida por la distribución.

Una hipótesis podría basarse en una amplia instalación de un solo modelo de referencia P-MP HDFS, en cuyo caso la entrada sería una sola distribución de p.i.r.e.c. Sin embargo, instalaciones más complejas podrían implicar distintos tipos de modelos de referencia P-MP HDFS y en este caso habría múltiples distribuciones de p.i.r.e.c.

3.2 Altura del transmisor

La altura del transmisor será la máxima que puede utilizarse para cada modelo de referencia y, por consiguiente, viene asociada con la distribución de p.i.r.e.c.

3.3 Zona de instalación

La zona de instalación (ZI) representa los emplazamientos donde podría haber transmisores P-MP HDFS y está típicamente entre:

- la zona de exclusión (ZE) en torno al emplazamiento del SRA en el que la instalación P-MP HDFS no está permitida. Podría expresarse en forma de una distancia a partir del emplazamiento del SRA, D , o emplazamientos para los cuales las pérdidas de propagación, determinadas utilizando un modelo tal como el que describe la Recomendación UIT-R P.452, sean mayores que un valor especificado; es decir, $L_{452} > X$ dB;
- la máxima distancia $D_{m\acute{a}x}$ a partir de la cual una instalación adicional aportaría un aumento despreciable en el nivel de interferencia calculado y, por consiguiente, no es necesario considerarla.

Las ZE basadas en la distancia consisten en círculos centrados alrededor del emplazamiento del SRA. Las ZE basadas en las pérdidas de propagación pueden ser polígonos.

La máxima distancia a considerar variará dependiendo del emplazamiento de la ZE. Por ejemplo, con una ZE definida por $D = 50$ km, no es necesario considerar la instalación de estaciones P-MP HDFS más allá de $D_{m\acute{a}x} = 110$ km. El valor de $D_{m\acute{a}x}$ puede determinarse añadiendo más estaciones interferentes hasta que el incremento en el nivel de interferencia sea despreciable. Si la ZI es un estrecho anillo alrededor del emplazamiento del SRA es probable que deba aumentarse el valor de $D_{m\acute{a}x}$.

En el interior de la ZI debe localizarse un conjunto de puntos de prueba a intervalos regulares, cada uno de ellos representando un bloque de edificios. La zona utilizada para obtener la p.i.r.e.c. determina la distancia de separación entre los puntos de prueba.

La ZI podría contener una distribución uniforme de bloques de edificios, todo ello representando el mismo modelo de referencia P-MP HDFS, o podrían ser emplazamientos con distintos tipos de servicio, arquitectura, etc., representados por distintas distribuciones de p.i.r.e.c. La ZI podría incluir también zonas sin instalaciones P-MP HDFS.

La distribución de p.i.r.e.c. podría representar emisiones en banda o fuera de banda (OoB) procedentes de transmisores P-MP HDFS. En el caso del análisis OoB podría producirse una alteración de la señal con respecto a la transmisión en banda, A_{OoB} .

En el Anexo 2 a la presente Recomendación se especifican varios métodos y algoritmos para definir una zona de instalación (ZI).

3.4 Resumen

Los parámetros de entrada necesarios para definir el sistema P-MP HDFS en el modelo se resumen en el Cuadro 2.

CUADRO 2

Parámetros del modelo P-MP HDFS

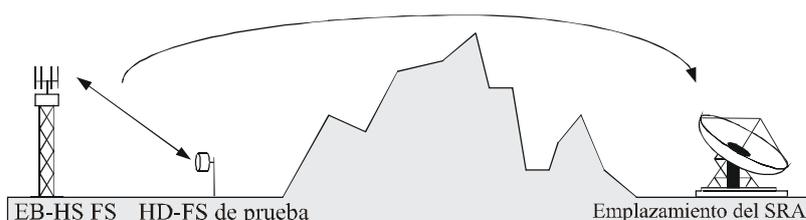
Parámetro	Origen
Distribuciones de p.i.r.e.c.	Calculadas utilizando el algoritmo que aparece en el proyecto de nueva Recomendación UIT-R F.1760
Altura del transmisor	Definida para cada modelo de referencia; es decir, puede variar según la distribución de la p.i.r.e.c.
Zona de instalación	Un conjunto de puntos de prueba entre la ZE y la máxima distancia a considerar, $D_{m\acute{a}x}$. Cada punto de prueba está asociado a una altura del transmisor y a una distribución de p.i.r.e.c.
Si es necesario, A_{OoB}	Si es necesario, una atenuación entre el funcionamiento en banda y OoB. Para el análisis en banda este campo puede fijarse al valor cero

4 Cálculo de la interferencia

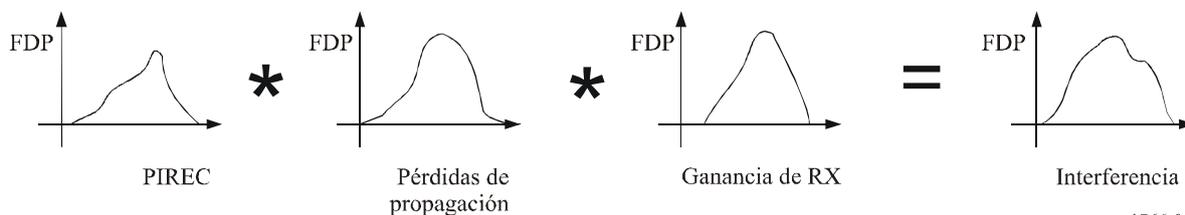
La metodología de Monte Carlo consiste en calcular la interferencia media combinada para una serie de muestras. Se trata de realizar la convolución de tres variables de entrada, la instalación del sistema P-MP HDFS, el entorno de propagación y el acimut de la observación del SRA. Esta convolución se representa en la Fig. 1.

FIGURA 1

Método de Monte Carlo para calcular la interferencia combinada



Interferencia = TX (ganancia, orientación, potencia, ...) + propagación (Terreno, %, ...) + RX (ganancia, orientación, ...)



1766-01

Para cada muestra la interferencia media combinada I se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$I = \sum_j PIREC(p_{i,j}) - L_{452}(p_i, j) + G_{SRA}(j, az_i) - A_{OoB} \quad (1)$$

siendo:

- i : i -ésimo número de muestra
- j : j -ésimo bloque de edificios
- $PIREC(p_{i,j})$: p.i.r.e. combinada para una probabilidad $p_{i,j}$
- $p_{i,j}$: probabilidad para la i -ésima muestra del j -ésimo bloque de edificios
- $L_{452}(p_i, j)$: pérdidas indicadas en la Recomendación UIT-R P.452 para una probabilidad p_i desde el j -ésimo bloque de edificios
- p_i : probabilidad que debe utilizarse en la Recomendación UIT-R P.452 para la i -ésima muestra
- $G_{SRA}(j, az_i)$: ganancia media de recepción del SRA a lo largo del periodo de observación en dirección del j -ésimo bloque de edificios para un ángulo de puntería del SRA az_i
- A_{OoB} : atenuación entre las emisiones en banda y fuera de banda. En el caso de análisis en banda este campo puede ignorarse o fijarse a un valor cero.

Obsérvese que L_{452} se supone que es un número positivo que representa una pérdida.

Las alturas de antena del transmisor P-MP HDFS y del receptor del SRA se utilizan con el modelo de propagación de la Recomendación UIT-R P.452 para determinar las pérdidas.

Basándose en la ecuación (1), la probabilidad de que una observación reciba interferencia puede calcularse realizando los siguientes pasos:

- Paso 1: Se fija el cómputo de muestras $N = 0$.
- Paso 2: Se fijan los observaciones interferidas $M = 0$.
- Paso 3: Mientras el cómputo de muestras sea $N < N_{máx}$ se repiten los Pasos 4 a 17.
- Paso 4: Se calcula el acimut de la antena del SRA $Az = \text{aleatorio} (-180, +180)$.

- Paso 5: Se calcula el porcentaje de tiempo p_i de la Recomendación UIT-R P.452 = valor aleatorio entre (0, 100).
- Paso 6: Se fija la interferencia media combinada $I = 0$.
- Paso 7: Para cada punto de prueba dentro de la ZI, j , se repiten los Pasos 8 a 14.
- Paso 8: Se calcula la probabilidad de instalación del bloque de edificios para el j -ésimo punto de prueba $p_{i,j}$ = valor aleatorio entre (0, 1).
- Subpaso 9a: En el caso de sistemas AMDF, utilizando la distribución de p.i.r.e.c. para el j -ésimo punto de prueba, se determina el valor de p.i.r.e.c ($p_{i,j}$).
- Subpaso 9b: En el caso de sistemas AMDT, utilizando la distribución p.i.r.e.c. para el j -ésimo punto de prueba, puede terminarse el valor de p.i.r.e.c. ($p_{i,j}$), eligiendo aleatoriamente x muestras, donde x representa el número de subdivisiones de intervalos de tiempo de los sistemas AMDT; a continuación puede calcularse la p.i.r.e.c. promediando las x muestras.
- Paso 10: Se calculan las pérdidas de la Recomendación UIT-R P.452 entre el j -ésimo punto de prueba y el emplazamiento del SRA para el $p_i\%$ del tiempo, $L_{452}(p_{i,j})$.
- Paso 11: Se calcula la diferencia en acimut ∇A_{zj} entre el acimut de observación del SRA y el acimut en el emplazamiento del SRA hacia el j -ésimo punto de prueba.
- Paso 12: Se calcula la ganancia media $G_{SRA, j}$ en el emplazamiento del SRA hacia el j -ésimo punto de prueba determinando la ganancia media asociada con la diferencia en acimut ∇A_{zj} , utilizando interpolación lineal cuando sea necesario.
- Paso 13: Se calcula la interferencia desde este punto de prueba en el emplazamiento del SRA mediante la expresión (teniendo en cuenta que para el análisis en banda $A_{OoB} = 0$):

$$I_j = PIREC(p_{i,j}) - L_{452}(p_{i,j}) + G_{SRA,j} - A_{OoB}$$

- Paso 14: Se incrementa la interferencia media combinada I en el valor I_j :

$$I \Rightarrow I + 10^{(I_j/10)}$$

- Paso 15: Cuando se han incluido todos los puntos de prueba, se convierte la interferencia media combinada I en dB:

$$I \Rightarrow 10 \log_{10}(I)$$

- Paso 16: Si la interferencia media combinada I supera el valor umbral del SRA se incrementa el cómputo de observaciones interferidas, M .

- Paso 17: Se incrementa el cómputo de muestras, N .

- Paso 18: Se calcula la probabilidad de que una observación reciba interferencia, $P_{ob} = 100 M/N$.

NOTA 1 – Número de muestras necesario para que la prueba tenga significación estadística.

Un método para determinar la significación de los resultados es la prueba de distribución t de Student. Se basa en calcular el cociente entre la diferencia con respecto a la media de la población y el error típico estimado, es decir:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s_{n-1} / \sqrt{n}}$$

donde:

- \bar{x} : media calculada a partir de las muestras
- μ : media de población total
- s_{n-1} : desviación típica de la muestra
- n : tamaño de la muestra.

A continuación puede compararse este número con la probabilidad de la distribución t de una hipótesis (por ejemplo, que $\mu > 2\%$) hasta el nivel de certidumbre requerido.

Los siguientes pasos muestran cómo puede realizarse el algoritmo:

- Paso 1: Se fija la simulación para determinar la probabilidad I rebasada cada 1 000 pasos de tiempo.
- Paso 2: Se ejecuta para 5 conjuntos de 1 000 pasos de tiempo.
- Paso 3: Se fijan los datos de prueba para obtener una significación t hasta el nivel de certidumbre requerido.
- Paso 4: Si no es significativo, se ejecutan otros 1 000 pasos y se vuelve al Paso 3.
- Paso 5: Cuando sea significativo se informa de los resultados.

NOTA 2 – Debe utilizarse la Recomendación UIT-R P.452.

El porcentaje de tiempo P de la Recomendación UIT-R P.452 es un número aleatorio perteneciente a una distribución uniforme entre el 0 y el 100%. Para que sea compatible con las gamas de probabilidad aceptadas por la metodología en esta Recomendación deben aplicarse los siguientes límites:

- si P es mayor que el 50%, se fija $P = 50\%$;
- si P es menor que el 0,001%, se fija $P = 0,001\%$.

Cuando se dispone de bases de datos del terreno y de los ecos parásitos, deben utilizarse para calcular las pérdidas de la Recomendación UIT-R P.452.

5 Resultado de la metodología

El resultado de la metodología es la obtención de la probabilidad de que una observación reciba interferencia, P_{ob} .

Este valor puede compararse con la probabilidad aceptable de que la observación reciba interferencia, a saber, el 2% para una red P-MP HDFS.

Por consiguiente, para proteger el emplazamiento del SRA debe cumplirse la siguiente condición:

$$P_{ob} \leq 2\% \quad (2)$$

Adjunto 1 al Anexo 1

Ejemplo de cálculo

En este Adjunto aparece un ejemplo de utilización de la metodología del Anexo 1 para determinar la probabilidad de que una observación realizada en Jodrell Bank esté expuesta a la interferencia procedente de una instalación a gran escala de redes P-MP HDFS.

Modelo del SRA

Los parámetros del Cuadro 3 fueron los datos de partida del modelo de Jodrell Bank.

CUADRO 3

Parámetros de partida del SRA

Banda de frecuencias	43 GHz
Tipo de observación	Análisis del continuum
Mínima elevación	5°
Latitud del emplazamiento	+53° 14' 1,2"
Longitud del emplazamiento	-02° 18' 8,9"
Altura de la antena	30 m sobre el suelo
Modelo de diagrama de ganancia	Rec. UIT-R S.1428

A partir del tipo de observación y de la frecuencia se obtuvieron de las Recomendaciones UIT-R RA.769 y UIT-R RA.1513 los umbrales de interferencia del Cuadro 4.

CUADRO 4

Umbrales del SRA

Umbral de la interferencia media durante 2 000 s de observación	-220,6 dB(W/MHz)
Probabilidad aceptable de que la observación reciba interferencia, P_{ob}	2%

Para el mínimo ángulo de elevación y un periodo de observación de 2 000 s, se obtuvieron las gamas de acimut y ángulo de elevación de la antena que figuran en el Cuadro 5.

CUADRO 5

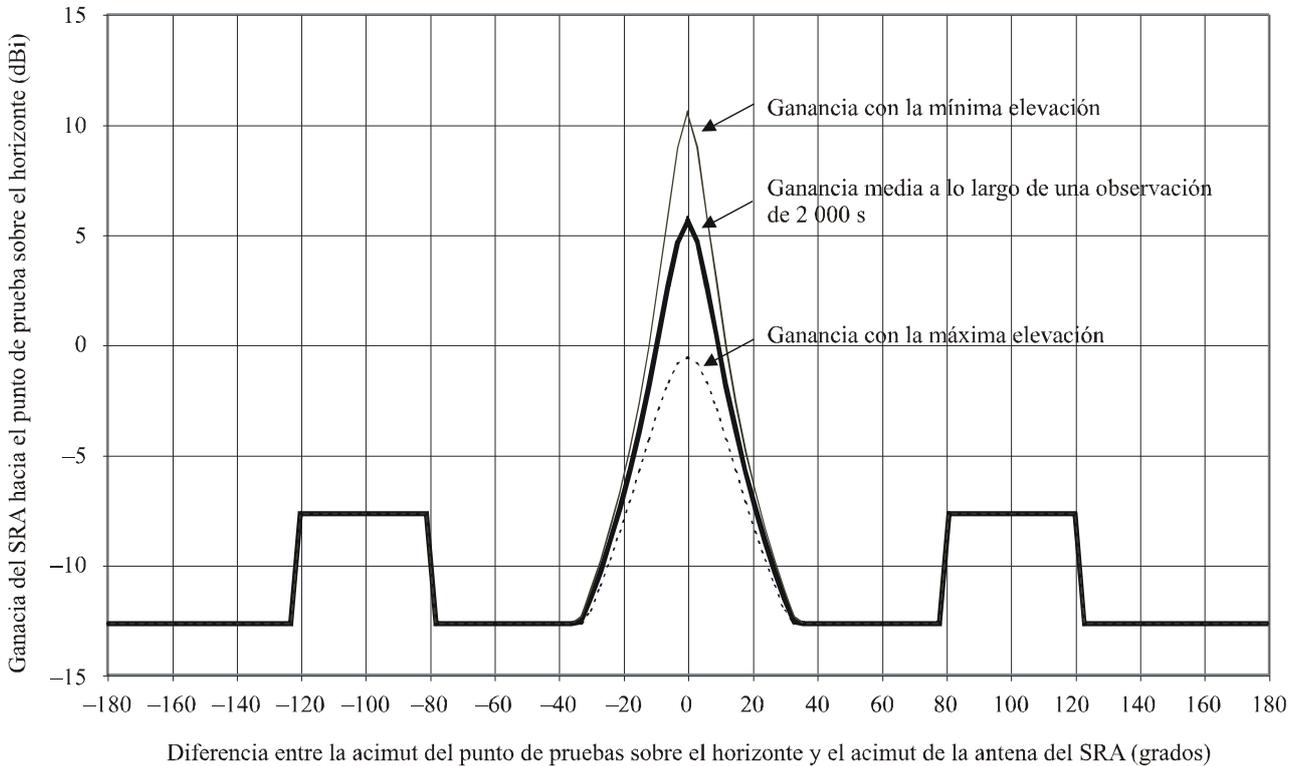
Gama de acimut y ángulos de elevación del SRA

	Inicio	Fin
Acimut	0°	0°
Elevación	5°	13,33° ⁽¹⁾

⁽¹⁾ En 2 000 s la Tierra gira 8,33°, y, por consiguiente, 13,33°= 5° + 8,33°.

Utilizando un conjunto de puntos de prueba sobre el horizonte cada 3°, se calculó la ganancia media del diagrama de ganancia definido en la Recomendación UIT-R S.1428, como muestra la Fig. 2.

FIGURA 2
Ganancia media de la antena del SRA basada en la Recomendación UIT-R S.1428



1766-02

Modelo P-MP HDFS

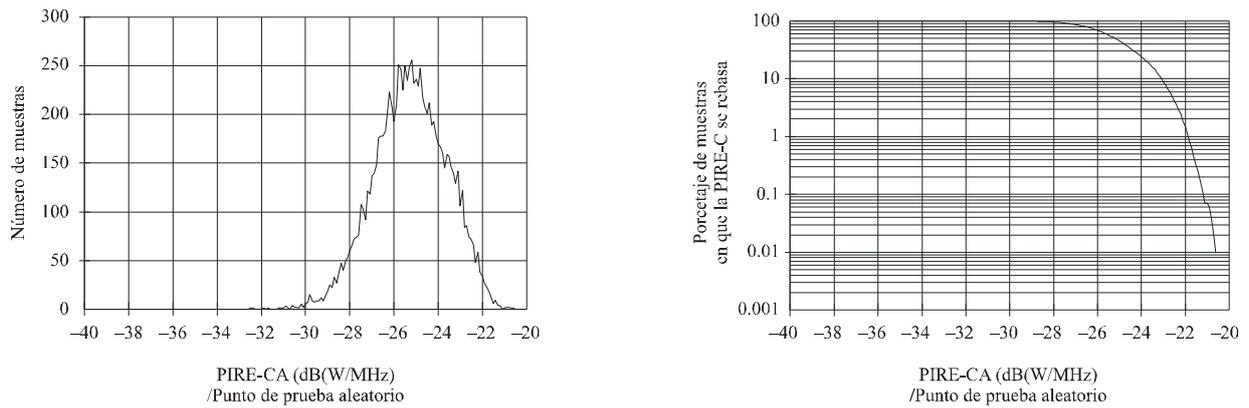
El modelo de referencia utilizado para calcular la distribución de p.i.r.e.c. define las características del P-MP HDFS. En este caso, se trataba de una red de acceso inalámbrico fijo de banda ancha (BFWA) con antenas de estación de base (EB) de 20 m, dando servicio a clientes comerciales con antenas de 5 m y considerando la dirección del enlace ascendente desde el cliente a la estación de base.

El objetivo del análisis era determinar si una ZE basada en un valor de $L_{452}(10\%) \geq 161$ dB sería suficiente para proteger al SRA contra las emisiones OoB de instalaciones a gran escala de este tipo de redes P-MP HDFS.

Para obtener la distribución de p.i.r.e.c. de la Fig. 3 como un histograma y una función de distribución acumulativa (FDA) se utilizó el algoritmo que figura en el anteproyecto de nueva Recomendación UIT-R F.1760.

FIGURA 3

Histograma y FDA de la p.i.r.e.c. para el modelo de referencia P-MP HDF5



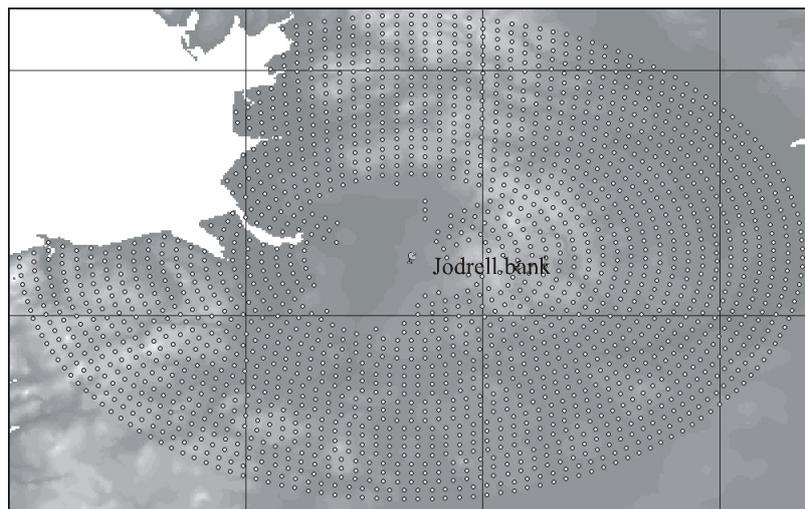
1766-03

Cada bloque de edificios representa todas las transmisiones en una zona de 4×4 km.

Se consideró que el equipo del cliente se encontraba 5 m sobre el suelo y se estimó una atenuación de la señal OoB de 46,79 dB con respecto a las emisiones en banda.

La ZE de $L_{452}(10\%) \geq 161$ dB corresponde a una zona de instalación (ZI) de puntos de prueba como la que se representa en la Fig. 4.

FIGURA 4

ZI para la ZE definida por el valor $L_{452}(10\%) \geq 161$ dB

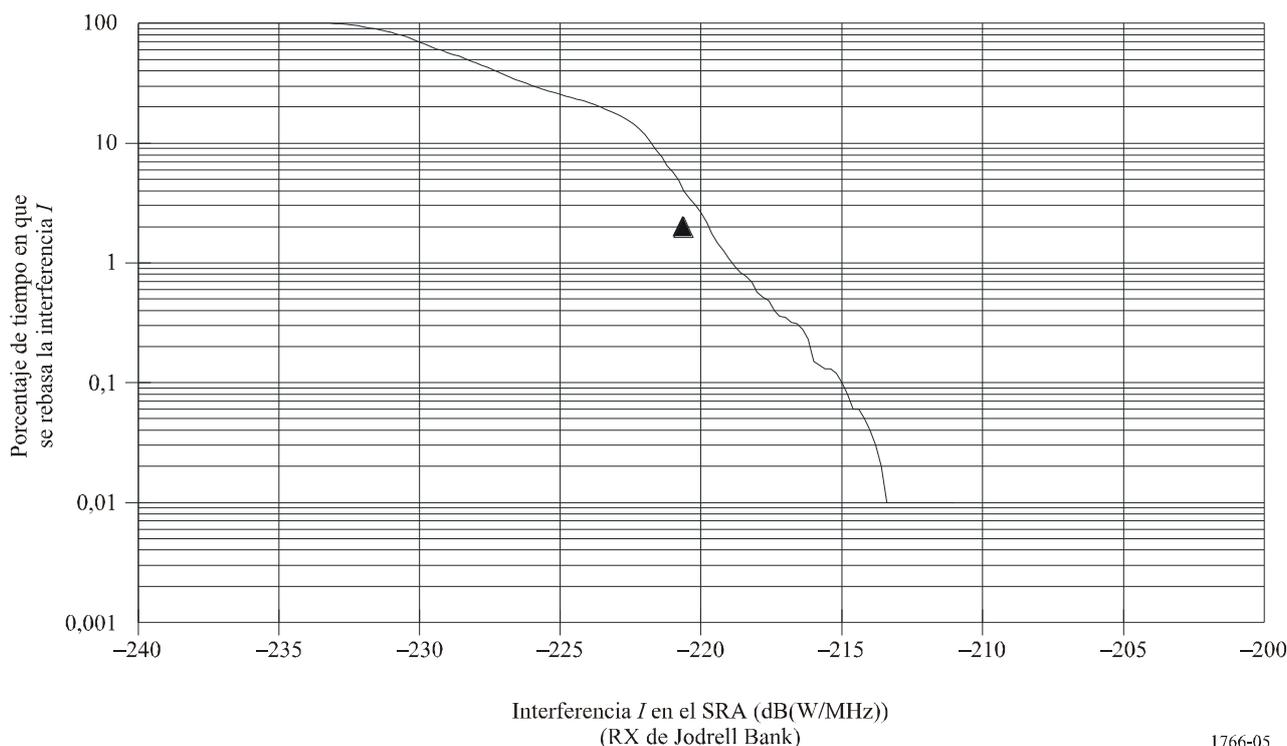
1766-04

Interferencia calculada

Utilizando los parámetros definidos anteriormente se calculó para 10 000 muestras una distribución de interferencia en función de la probabilidad de rebasar la interferencia. Este gráfico se representa en la Fig. 5. El umbral del SRA aparece en el gráfico como un pequeño triángulo negro.

FIGURA 5

Ejemplo de la FDA de la interferencia causada por un sistema P-MP HDFS en el SRA



1766-05

Resultado de la metodología

El valor calculado $P_{ob} = 4\%$ fue superior al nivel requerido del 2%. Por consiguiente, la ZE debería aumentarse para proteger el observatorio del SRA.

Anexo 2

Metodología para determinar la zona de exclusión (ZE) en torno a un emplazamiento del SRA definida por las pérdidas de propagación a partir del emplazamiento del SRA fuera de la cual las estaciones del sistema P-MP HDFS pueden instalarse sin peligro de que causen interferencia al SRA

Este Anexo proporciona una metodología que puede utilizarse para obtener una ZE en torno a un emplazamiento del SRA para las estaciones transmisoras de sistemas P-MP HDFS que pueden utilizar las administraciones en las discusiones nacionales y bilaterales como método para proteger los emplazamiento del SRA contra la interferencia potencial procedente de estaciones P-MP HDFS.

1 Zona de exclusión con arreglo a las pérdidas de propagación

Un método para proteger a servicios tales como el SRA contra la interferencia consiste en definir una zona de exclusión (ZE) en torno al emplazamiento dentro de la cual no se permite las transmisiones. Un método para definir una ZE se basa en la distancia, pero ello puede dar lugar a unas ZE de gran tamaño pues a menudo aparecen acimuts de caso más desfavorable para los que se necesitan grandes distancias de separación.

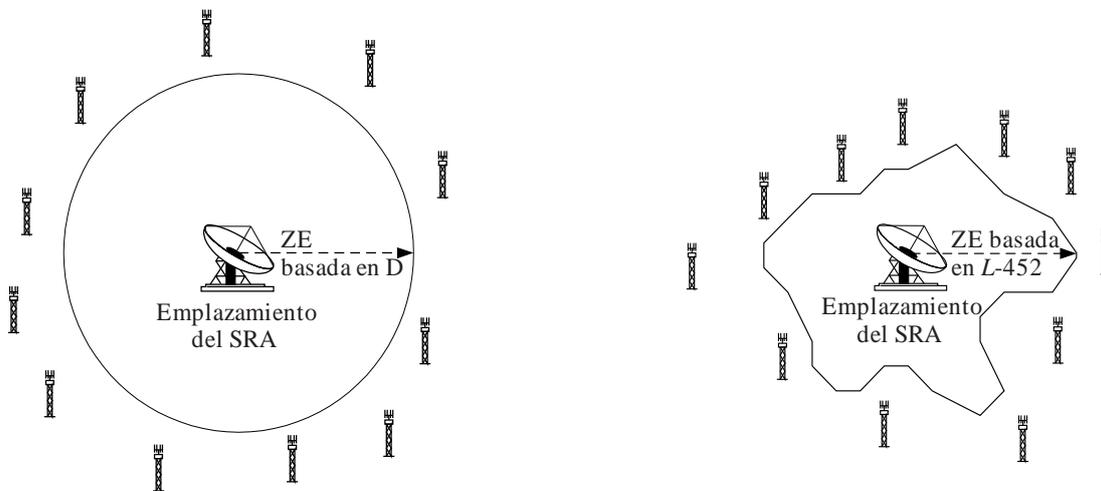
Un método más eficaz para determinar las ZE es definir las basándose en las pérdidas de propagación, de manera que la distancia de separación requerida varía según el acimut. Los contornos de coordinación incluyen un grado de pérdidas de propagación teniendo en cuenta las diferentes características de la propagación de las ondas radioeléctricas sobre la tierra y el mar. Este método puede ampliarse para utilizar las características del terreno local y un detallado modelo de propagación como el que se describe en la Recomendación UIT-R P.452.

La ZE se define permitiendo las transmisiones en emplazamientos en los cuales las pérdidas de propagación hacia el emplazamiento del SRA calculadas con arreglo a la Recomendación UIT-R P.452, o L_{452} , para un porcentaje de tiempo especificado tal como el 10%, son mayores que un valor definido; es decir:

$$L_{452}(10\%) \geq X \text{ dB} \quad (3)$$

La Fig. 6 muestra ejemplos de instalaciones de sistemas P-MP HDFS fuera de las ZE definidas por la distancia y por el valor L_{452} .

FIGURA 6
ZE basadas en la distancia y en L_{452}

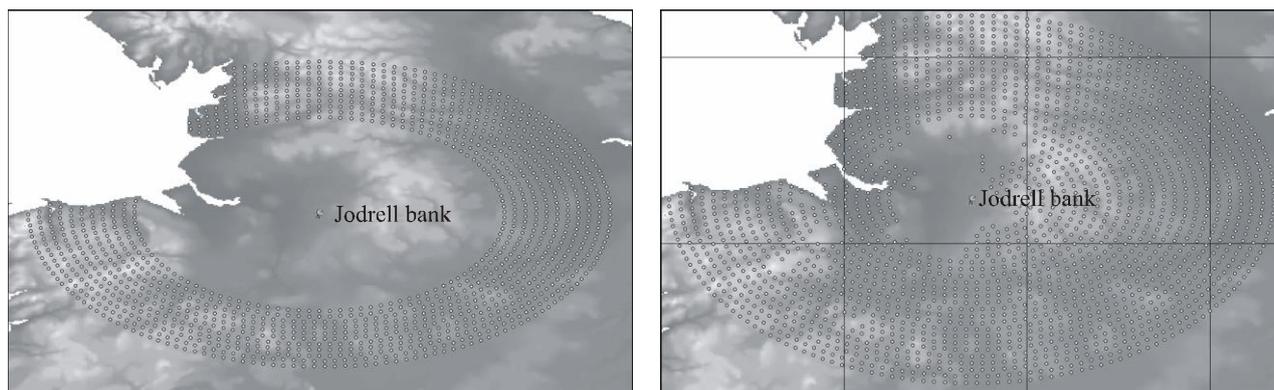


1766-06

Normalmente, las ZE basadas en el valor L_{452} tienen una superficie más pequeña que las basadas en la distancia. Por ejemplo, las dos instalaciones representadas en la Fig. 7 protegen el emplazamiento del SRA contra la interferencia producida por el mismo modelo de referencia P-MP HDFS.

FIGURA 7

Ejemplos de ZE basadas en la distancia y en el valor de L_{452}



1766-07

En ambos casos se suprimieron los puntos de prueba ubicados en el mar. Para estos dos casos los ejemplos de ZE se definieron como indica el Cuadro 6.

CUADRO 6

Comparación de métodos de cálculo de la ZE utilizando los resultados del ejemplo

Tipo de ZE	Basada en la distancia	Basada en el valor de $L_{452}(10\%)$
Parámetro de la ZE	$D \geq 66$ km	$L_{452}(10\%) \geq 176$ dB
Tamaño de la ZE	14 186 km ²	5 162 km ²

Las ZE basadas en el valor de $L_{452}(10\%)$ son, por consiguiente, un método más eficaz y flexible para proteger a servicios tales como el SRA contra la interferencia.

2 Obtención del tamaño de la zona de exclusión (ZE)

La determinación del valor adecuado de X para determinar el tamaño de la ZE de manera que la condición $L_{452}(10\%) \geq X$ protegería al SRA requiere aplicar un procedimiento iterativo, como se indica en los pasos señalados a continuación. El algoritmo utiliza la metodología del Anexo 1 a esta Recomendación para calcular la P_{ob} , probabilidad de que una observación del SRA reciba interferencia para un valor particular de X .

- Paso 1: Se realiza una estimación inicial de X_1 (por ejemplo $X_1 = 200$ dB).
- Paso 2: Se calcula la probabilidad de que una observación reciba interferencia procedente de una instalación de P-MP HDFS $P_{ob-1} = P_{ob}(X_1)$, utilizando la ZI definida por los emplazamientos para los cuales el valor de $L_{452}(10\%) \geq X_1$.
- Paso 3: Si $P_{ob-1} > 2\%$ (valor umbral del SRA) se toma la siguiente estimación $X_2 = X_1 + 16$ dB.
- Paso 4: Si $P_{ob-1} < 2\%$ (valor umbral del SRA) se toma la siguiente estimación $X_2 = X_1 - 16$ dB.
- Paso 5: Se repiten los Pasos 2 a 5 hasta que X_n y X_{n+1} den lugar a unos valores P_{ob-n} y P_{ob-n+1} que acoten el umbral requerido del 2%.
- Paso 6: Se recortan los valores de X_n y X_{n+1} hasta que la diferencia entre ambos sea 1 dB; es decir $|X_n - X_{n+1}| = 1$ dB.
- Paso 7: El resultado es el mayor valor entre X_n y X_{n+1} ; es decir, aquél para el cual se obtiene una $P_{ob} < 2\%$.

NOTAS:

- a) Pueden utilizarse incrementos inferiores o mayores a 16 dB para buscar un par acotado de X_n , si ha lugar.
- b) Si bien es posible continuar realizando la iteración hasta que la diferencia entre X_n y X_{n+1} sea menor de 1 dB, cabe señalar que hay límites en la precisión del modelo de propagación descrito en la Recomendación UIT-R P.452.

3 Tipos de ZE

3.1 Modelos de referencia P-MP HDFS

El tamaño de la ZE dependerá del modelo de referencia P-MP HDFS especificado mediante la distribución de p.i.r.e.c. y la altura de antena. El valor de $L_{452}(10\%)$ utiliza esta altura y la ZE es válida para antenas cuya altura es inferior o igual a este valor.

Dentro de la banda puede considerarse un cierto número de distintos modelos de referencia P-MP HDFS, por ejemplo considerando:

- arquitectura: punto a multipunto (P-MP) o multipunto a multipunto (MP-MP);
- sentido: enlace ascendente (UL) o enlace descendente (DL);
- entorno: urbano de alta densidad o rural de baja densidad.

Cada modelo de referencia daría lugar a distintos tamaños de ZE, por consiguiente podría establecerse un conjunto como el descrito en el Cuadro 7.

CUADRO 7

Conjunto de ZE para una serie de modelos de referencia P-MP HDFS

Sistema P-MP HDFS	ZE	Máxima altura
Modelo de referencia-1	ZE: $L_{452}(10\%) \geq X_1$	Altura $\leq H_1$
⋮	⋮	⋮
Modelo de referencia- n	ZE: $L_{452}(10\%) \geq X_n$	Altura $\leq H_n$

El emplazamiento del SRA podría protegerse utilizando el mayor tamaño de ZE y la altura asociada o determinando para cada modelo de referencia su propia ZE (por ejemplo, mediante segmentación de banda). Para que sea eficaz, cada ZE debe ir asociada con las hipótesis de los modelos de referencia utilizadas para obtener las p.i.r.e.c.

3.2 ZE basadas en datos demográficos

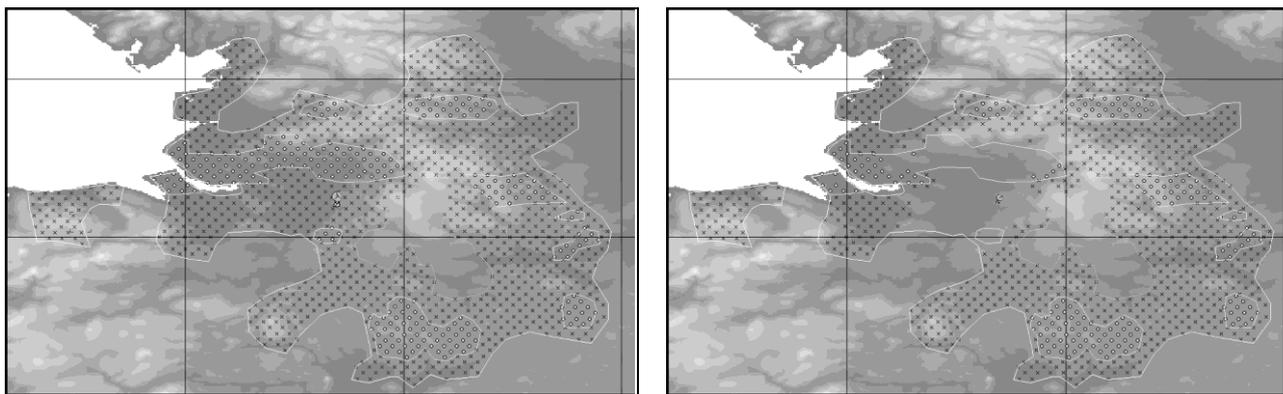
La zona de instalación (ZI) discutida anteriormente supone una distribución uniforme de un solo modelo de referencia en torno al emplazamiento del SRA. Ello puede desembocar en situaciones conservadoras; por ejemplo, podría dar lugar a instalación de estaciones P-MP HDFS en zonas montañosas. Estos emplazamientos, que no es probable que supongan un mercado para los operadores de sistemas P-MP HDFS, podrían causar elevados niveles de interferencia si hubiese visibilidad directa con el emplazamiento del SRA.

Por consiguiente, puede ser más realista excluir emplazamientos donde no estén planificadas estaciones de P-MP HDFS y utilizar modelos de referencia que varían según el emplazamiento.

En la Fig. 8 se muestra un ejemplo donde se suponen dos modelos de referencia instalados según la densidad de población. Esta ZI se utilizaría como punto de partida para calcular la ZE requerida.

FIGURA 8

**Zona de instalación de sistemas P-MP HDFS basada en la demografía en torno al observatorio de Jodrell Bank:
ZI de línea de base y ZI incluida la repercusión de un ejemplo de ZE**



1766-0

En la Fig. 8 los círculos representan modelos de referencia P-MP HDFS para zonas urbanas y las cruces representan zonas rurales.

3.3 Zonas múltiples

El método descrito anteriormente se basaba en una sola ZE: dentro de la ZE no se permitían transmisiones. Esta zona de exclusión podría combinarse con una zona restringida, con diferente comportamiento en cada una de ellas:

Zona no restringida (ZNR): En la ZNR, los operadores del sistema P-MP HDFS no tendrían más restricciones para explotar sus sistemas que las relativas entre operadores.

Zona restringida (ZR): Dentro de la ZR, los operadores de sistemas P-MP HDFS podrían transmitir de conformidad con las restricciones definidas y acordadas sobre el funcionamiento.

Zona de exclusión (ZE): Dentro de la zona de exclusión no se permitiría ninguna transmisión del sistema P-MP HDFS.

Como ejemplo de restricciones de la ZR podría citarse el de evitar la orientación de las antenas en un ángulo definido del emplazamiento del SRA. Ello requeriría múltiples p.i.r.e.c., una para su utilización en la ZNR y otra para su utilización en la ZR.

3.4 ZE en banda y OoB

Además de proteger al SRA contra el funcionamiento en la misma frecuencia de los sistemas P-MP HDFS, esta metodología también puede utilizarse para determinar las ZE necesarias a fin de proteger al SRA contra las emisiones OoB. El algoritmo para calcular la probabilidad de que una observación reciba interferencia, P_{ob} , incluye un término que tiene en cuenta A_{OoB} para la atenuación entre las emisiones en banda y OoB.

Este método puede emplearse para generar dos ZE, una para el funcionamiento cofrecuencia y otra para el funcionamiento en banda adyacente.

Adjunto 1 al Anexo 2

Ejemplo de cálculo

En este Adjunto aparece un ejemplo de utilización de la metodología del Anexo 2 para determinar la ZE necesaria a fin de proteger el observatorio de Jodrell Bank contra la interferencia inaceptable procedente de instalaciones a gran escala de redes P-MP HDFS.

Modelo del SRA

El modelo del SRA se indica en el Adjunto 1 al Anexo 1.

Modelo HF-FS

El modelo P-MP HDFS se describe en el Adjunto 1 al Anexo 1.

Cálculo de la interferencia

El Cuadro 8 identifica las iteraciones necesarias para calcular el tamaño de la ZE.

CUADRO 8

Iteración para obtener el tamaño de la ZE utilizando las metodologías de los Anexos 1 y 2

Iteración	Tamaño de la ZE $L_{452}(10\%) \geq X$ dB	P_{ob} (%)
1	200	0,0
2	180	0,0
3	160	4,3
4	170	0,1
5	165	0,3
6	162	1,0
7	161	4,0

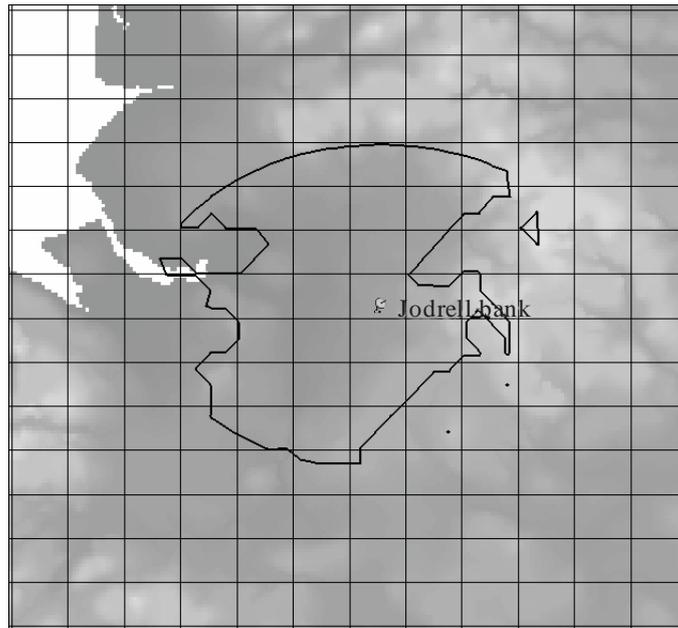
Se llegó a la conclusión de que un tamaño adecuado de ZE para proteger al SRA contra el modelo de referencia P-MP HDFS de este ejemplo era:

$$L_{452}(10\%) \geq 162 \text{ dB}$$

Esta ZE de ejemplo se representa en la Fig. 9.

FIGURA 9

Ejemplo de ZE: Contorno de L_{452} (10%) = 162 dB



1766-09
