

RECOMENDACIÓN UIT-R M.1316*

**PRINCIPIOS Y METODOLOGÍA DE LA COMPARTICIÓN DE FRECUENCIAS
EN LAS BANDAS 1 610,6-1 613,8 MHz Y 1 660-1 660,5 MHz ENTRE
EL SERVICIO MÓVIL POR SATÉLITE (TIERRA-ESPACIO)
Y EL SERVICIO DE RADIOASTRONOMÍA**

(Cuestión UIT-R 201/8)

(1997)

Resumen

La Recomendación presenta los principios y métodos que deben aplicarse para proteger las observaciones de radioastronomía contra las radiaciones producidas por estaciones terrenas móviles terrestres y marítimas en las bandas 1 610,6-1 613,8 MHz y 1 660-1 660,5 MHz. En el Anexo 1 se describen los tres pasos a seguir, mientras que el Anexo 2 presenta el cálculo de la «distancia de separación por defecto» mediante la metodología de Montecarlo, basada en el principio de muestreo de variables aleatorias. En el Anexo 3 se calculan las zonas de restricción. El Paso 3 consiste en calcular zonas de exclusión utilizando las características específicas de los sistemas involucrados.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para examinar la atribución de frecuencias en ciertas partes del espectro (CAMR-92) (Málaga-Torremolinos, 1992) atribuyó a título primario la banda 1 610-1 626,5 MHz al servicio móvil por satélite (SMS) en el sentido Tierra-espacio, así como, a título igualmente primario, la banda 1 610,6-1 613,8 MHz al servicio de radioastronomía (SRA);
- b) que los radioastrónomos utilizan la banda de frecuencias 1 610,6-1 613,8 MHz para observar la raya espectral de la molécula de oxhidrilo cerca de 1 612 MHz;
- c) que el número S5.372 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) establece que «las estaciones del servicio de radiodeterminación por satélite y del servicio móvil por satélite no causarán interferencia perjudicial a las estaciones del servicio de radioastronomía que utilicen la banda 1 610,6-1 613,8 MHz. (Se aplica el número 2904/S29.13.)»;
- d) que probablemente los sistemas del SMS que funcionan en la banda 1 610-1 626,5 MHz utilizarán estaciones terrenas móviles (ETM) dotadas de antenas omnidireccionales;
- e) que la banda de frecuencias 1 660-1 660,5 MHz está atribuida al SRA a título primario en compartición con el servicio móvil terrestre por satélite (SMTS) en el sentido Tierra-espacio;
- f) que la Resolución 6 de la 20 Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional (UAI), celebrada en Baltimore, Estados Unidos de América, en agosto de 1988, confirmó la importancia de la atribución de la banda 1 660-1 660,5 MHz al SRA, posición reiterada en la 21 Asamblea General (Buenos Aires, Argentina, julio de 1991) y en la 22 Asamblea General de dicha organización (La Haya, Países Bajos, 1994);
- g) que la Recomendación UIT-R RA.1031 no tiene en cuenta completamente la naturaleza estadística de la interferencia causada por transmisores móviles,

recomienda

- 1 que para la coordinación entre estaciones de radioastronomía y ETM terrestres y marítimas en las bandas 1 610,6-1 613,8 MHz y 1 660-1 660,5 MHz se pueden aplicar principios y metodologías similares a los descritos en el Anexo 1;
- 2 que el UIT-R efectúe más estudios, incluso sobre las estaciones terrenas de aeronave, a fin de reexaminar la aplicación de la presente Recomendación para la coordinación detallada entre el SMS y el SRA;

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

- 3 que en cualquier aplicación de una metodología, las partes interesadas acuerden durante la coordinación los parámetros de entrada;
- 4 que el UIT-R elabore, conjuntamente con la Oficina de Radiocomunicaciones, un programa informático para la aplicación práctica de la metodología que figura en los Anexos 1 a 4.

ANEXO 1

Evaluación de la interferencia producida por ETM del SMS a las observaciones radioastronómicas

Puede asegurarse la protección de las observaciones radioastronómicas siguiendo tres pasos particulares:

Paso 1: El establecimiento de una **distancia de separación por defecto** entre el emplazamiento de radioastronomía y las ETM, por la que se define una zona alrededor del emplazamiento de radioastronomía fuera de la cual no se imponen restricciones al funcionamiento de las ETM.

Paso 2: El establecimiento de una **zona de restricción** alrededor del emplazamiento de radioastronomía, por la que se define una zona dentro de la cual pueden aplicarse ciertas restricciones al funcionamiento de las ETM. Corresponde al órgano de reglamentación, en acuerdo con la comunidad de radioastrónomos y el organismo de explotación del SMS, definir el alcance de dichas restricciones.

Paso 3: El establecimiento de una **zona de exclusión** alrededor del emplazamiento de radioastronomía, mediante una evaluación pormenorizada de las características de los sistemas involucrados y, de ser necesario, efectuando mediciones. Dentro de esta zona no debe permitirse en ningún caso el funcionamiento de ETM.

Los Anexos 2 y 3 describen los métodos de cálculo que deben utilizarse, respectivamente, para los Pasos 1 y 2. Hasta tanto las partes interesadas deben acordar las condiciones de funcionamiento de las estaciones móviles en la zona de restricción, para llegar a una zona de exclusión, según la definición que aparece en el anterior Paso 3.

El Anexo 4 enumera el conjunto de características necesarias para efectuar una simulación.

El cálculo según el Paso 1 tiene por objeto determinar las distancias de separación por defecto. El Anexo 2 desarrolla una metodología general de cálculo aplicable para tal fin, utilizando la metodología de Montecarlo.

El fundamento de este modelo consiste en calcular las estadísticas de la potencia interferente producida a un emplazamiento de radioastronomía por las ETM en funcionamiento.

Para proteger las observaciones radioastronómicas se indica:

«que toda integración de 2 000 s efectuada a cualquier hora del día debe estar exenta de interferencia al menos durante el $(100 - x)\%$ del tiempo, o sea, que la potencia de interferencia media está por debajo de los niveles definidos en la Recomendación UIT-R RA.769.

El valor del 90% ($x = 10$) se basa en cálculos de propagación (Manual de Radioastronomía del UIT-R, § 4.2.4). En el UIT-R se está considerando una interpretación más amplia de esta cifra.»

Por consiguiente, la metodología del Anexo 2 debe utilizarse si se cumplen las condiciones siguientes:

- tiempo de integración de 2 000 s (constante para todas las pruebas);
- tráfico de cresta;
- criterio del máximo de interferencia durante el $x\%$ del tiempo para la radioastronomía (10% es el valor actual, sujeto a revisión por el UIT-R).

En caso de identificarse diversas fuentes de interferencia que afecten las observaciones radioastronómicas, será necesario proseguir los estudios sobre la posibilidad de subdividir el nivel de potencia de interferencia máxima.

ANEXO 2

Metodología del Paso 1: Cálculo de las distancias de separación por defecto entre emplazamientos del SRA y ETM

1 Introducción

Este Anexo presenta una metodología general que puede aplicarse para calcular las distancias de separación por defecto entre emplazamientos del SRA y zonas donde las transmisiones de ETM están autorizadas.

Dichas distancias de separación, basadas en cálculos según una metodología de Montecarlo, garantizan la protección de las observaciones radioastronómicas.

2 Principios generales aplicados en la metodología

2.1 Método de Montecarlo

Para calcular las distancias de separación por defecto entre emplazamientos del SRA y ETM, es necesario evaluar la función de probabilidad de la potencia interferente producida por las estaciones móviles y registrada en los receptores del SRA.

Para ello pueden utilizarse modelos estadísticos de la interferencia, como una metodología de Montecarlo.

El método de Montecarlo se basa en el principio de muestreo de variables aleatorias a partir de sus distribuciones de probabilidad definidas.

Las variables para este muestreo suelen ser diversas y numerosas, ya que la precisión del modelo generalmente aumenta en proporción a la cantidad utilizada.

En el caso particular de la determinación de distancias de separación por defecto, esas variables pueden ser el número de estaciones móviles, su ubicación, las condiciones de propagación y otros factores.

Seguidamente, se establecen las estadísticas de la potencia interferente que el emplazamiento del SRA recibe de las ETM en funcionamiento, a partir del cálculo de las potencias interferentes registradas para cada muestra.

2.2 Protección de las observaciones radioastronómicas

Las observaciones de radioastronomía se realizan efectuando promediaciones de tiempo, a fin de reducir considerablemente las fluctuaciones de ruido.

Contemplando esta práctica, las estadísticas de potencia interferente recibida se basan en las muestras del tiempo de integración presentes en las observaciones.

La potencia de interferencia procedente del conjunto de ETM es admisible a condición de que no más del $x\%$ de los periodos de integración de 2 000 s tengan una potencia de interferencia media que sobrepase un nivel de interferencia que cause detrimento al SRA.

En esta definición se basa lo que sigue.

3 Presentación del método de cálculo

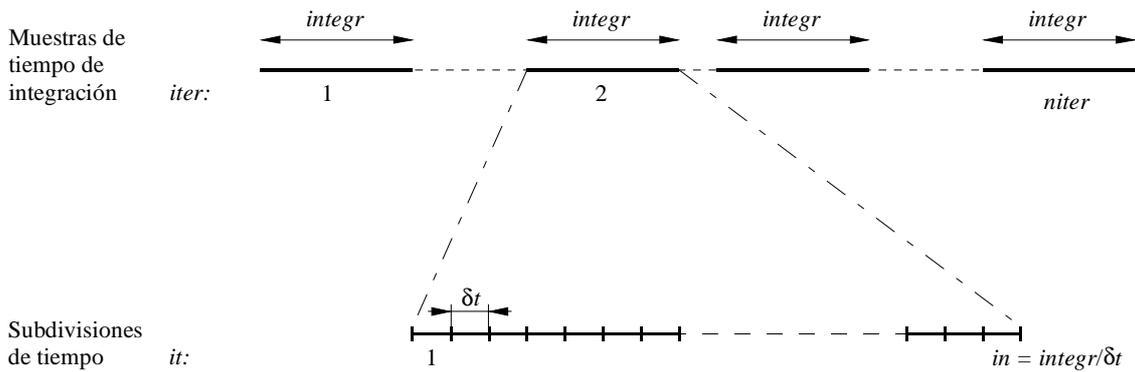
Tal como se indica en el § 2, las estadísticas de potencia interferente se basan en muestras de tiempo de integración:

niter: número de muestras de tiempo de integración necesario para la estadística;

integr: duración de la muestra de tiempo de integración. Para el procedimiento descrito a continuación, se supone un valor constante de *integr*.

En el curso de cada *integr* de muestra de tiempo de integración, la potencia de interferencia media que producen las ETM se calcula como el promedio de las potencias interferentes “instantáneas” producidas en subdivisiones de tiempo de δt segundos de duración.

FIGURA 1
División de muestras de tiempo de integración

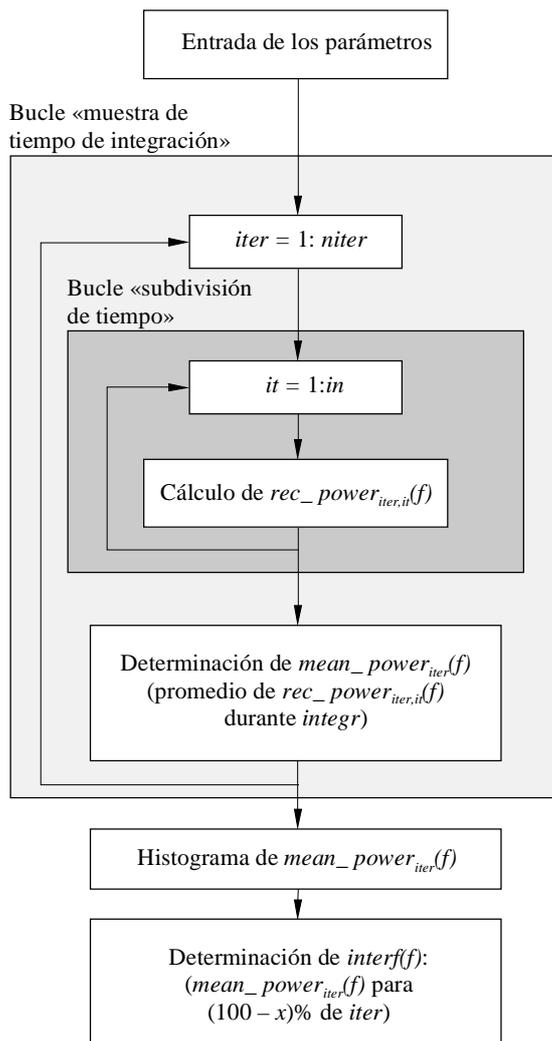


1316-01

En cada subdivisión de tiempo, las potencias interferentes se determinan mediante pruebas aleatorias de la carga de tráfico del sistema del SMS considerado y la ubicación de cada ETM en funcionamiento.

En la Fig. 2 se muestra el tipo de organigrama de cálculo:

FIGURA 2
Organigrama general del cálculo



Cálculo de la potencia de interferencia producida por las ETM que funcionan en la frecuencia f para la muestra de tiempo de integración $iter$ y la subdivisión de tiempo it (véase el § 4)

Cálculo de la potencia de interferencia media producida por las ETM en funcionamiento para la muestra de tiempo de integración $iter$ (promedio de todas las potencias interferentes de las subdivisiones de tiempo durante toda la duración de la muestra de tiempo de integración) (véase el § 5)

Comparación entre la potencia interferente media registrada para el $(100 - x)\%$ del número de muestras de tiempo de integración y el nivel de interferencia perjudicial para el SRA

1316-02

4 Cálculo de la potencia interferente registrada en simulaciones de tráfico mediante subdivisiones de tiempo

La potencia interferente registrada en cada subdivisión de tiempo para la frecuencia, f , equivale a la suma de las potencias producidas por cada estación móvil en funcionamiento durante dicha subdivisión de tiempo.

Por consiguiente, para cada subdivisión de tiempo, it , es necesario determinar:

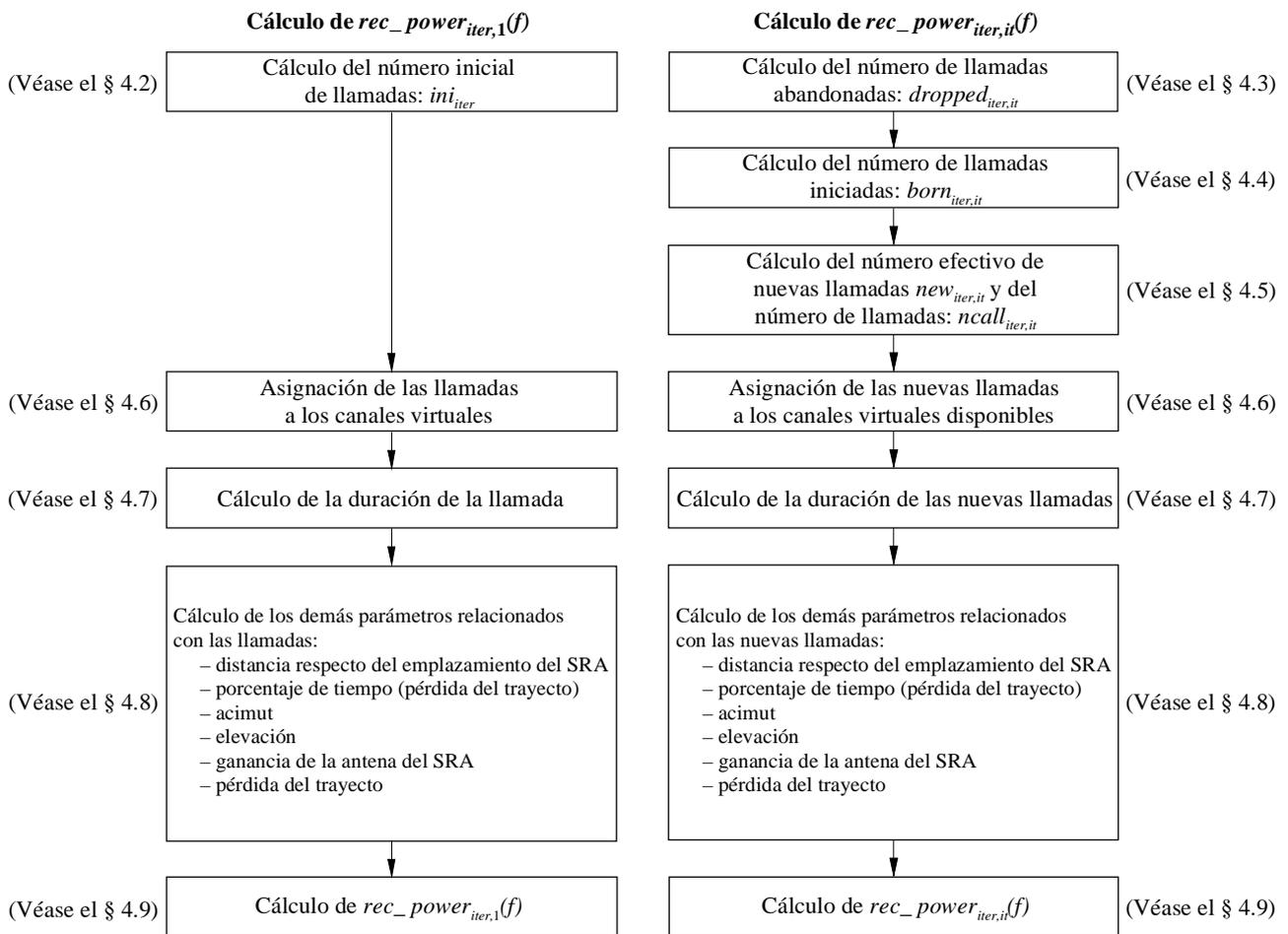
- el número de estaciones móviles en funcionamiento durante it (deducido del régimen de tráfico dado);
- los canales utilizados por la ETM activa;
- la ubicación de las estaciones móviles alrededor del emplazamiento del SRA (distancia, acimut, etc.).

Para respetar la relación que guardan entre sí las distintas subdivisiones de tiempo, el número de estaciones móviles en funcionamiento durante la subdivisión de tiempo, it , se deduce del número de estaciones móviles en funcionamiento en $it - 1$, contabilizando las llamadas abandonadas o iniciadas en ese lapso.

Para la primera subdivisión de tiempo se determina el número inicial de llamadas mediante una prueba aleatoria.

La Fig. 3 representa el tipo de organigrama de cálculo de $rec_power_{iter,it}(f)$ (muestra de tiempo de integración, $iter$, subdivisión de tiempo, it).

FIGURA 3
Cálculo de $rec_power_{iter,it}(f)$



4.1 Pruebas aleatorias de Montecarlo

Como se indica en el § 2.1, la metodología de Montecarlo se basa en el principio de muestreo de variables aleatorias a partir de sus funciones de distribución acumulativa definidas.

Considerando, por ejemplo, una variable x , cuya función de distribución acumulativa es $P(X)$, la probabilidad es entonces $p(x \leq X)$.

$P(x)$ se distribuye uniformemente entre 0 y 1.

Luego, una prueba uniforme aleatoria de $P = P(x_i)$ entre 0 y 1 produce un único valor de x_i y permite representar $x = f^{-1}(P)$.

4.2 Cálculo del número inicial de llamadas: ini_{iter}

Al comienzo de cada muestra de tiempo de integración, el número inicial de llamadas se calcula mediante una fórmula que representa la función de distribución acumulativa de ini_{iter} llamadas simultáneas para cada instante t :

$$P = \frac{\sum_{i=0}^{ini_{iter}} \frac{E^i}{i!}}{\sum_{i=0}^{Ncall} \frac{E^i}{i!}} \quad (1)$$

donde:

P : probabilidad acumulada de tener ini_{iter} llamadas simultáneas en el instante t ($ini_{iter} \leq Ncall$)

E : carga máxima ofrecida al sistema (E)

$Ncall$: máximo número de llamadas simultáneas admitidas por el sistema del SMS.

Por consiguiente, puede obtenerse ini_{iter} de una prueba aleatoria uniforme de P invirtiendo la fórmula (1) (véase el § 4.1).

4.3 Cálculo del número de llamadas abandonadas: $dropped_{iter,it}$

El número de llamadas abandonadas para la $iter$ -ésima muestra de tiempo de integración se calcula determinando el número de llamadas para las cuales la duración de la llamada es menor o igual a it .

Sea $ncall_{iter,it-1}$ el número de llamadas en la subdivisión de tiempo $it-1$ ($it \neq 1$). Considérese una llamada específica, c , de dicha subdivisión de tiempo:

- si el instante de terminación de la llamada c es anterior o igual a i la llamada es abandonada y no se retiene para el cálculo de $rec_power_{iter,it}(f)$. La llamada se añade a la llamada abandonada ($dropped_{iter,it}$);
- si el instante de terminación de la llamada c es posterior a i la llamada se retiene para el cálculo efectuado en la subdivisión de tiempo it .

4.4 Cálculo del número posible de tentativas de llamada: $born_{iter,it}$

Para cada salto de tiempo, el número posible de llamadas iniciadas se calcula mediante la fórmula que representa la función de distribución acumulativa de iniciación de llamadas a lo largo de un intervalo determinado de tiempo:

$$P = \sum_{i=0}^{born_{iter,it}} \frac{(\lambda \delta t)^i}{i!} e^{-\lambda \delta t} \quad (2)$$

donde:

P : probabilidad acumulada de tener $born_{iter,it}$ tentativas de llamada entre las subdivisiones de tiempo it e $it+1$

λ : tasa media de llamadas del sistema de satélite

δt : representa la duración de las subdivisiones de tiempo.

Por lo tanto, $born_{iter,it}$ puede obtenerse de una prueba aleatoria uniforme de P utilizando la fórmula (2) (véase el § 4.1).

4.5 Cálculo del número efectivo de nuevas llamadas, $new_{iter,it}$, y del número de llamadas, $ncall_{iter,it}$

Dentro del número de llamadas (tentativas de llamada) no todas se lograrán, debido a las limitaciones materiales del sistema (cantidad máxima de llamadas).

Siendo $ncall_{iter,it-1}$ el número de llamadas en la subdivisión de tiempo $it-1$ ($it \neq 1$) (utilizado en el cálculo de $rec_power_{iter,it}(f)$):

$dropped_{iter,it}$ el número de llamadas abandonadas entre las subdivisiones de tiempo it e $it+1$,

$born_{iter,it}$ el número de tentativas de llamada entre las subdivisiones de tiempo it e $it+1$,

el número efectivo de llamadas que ha de considerarse al calcular $rec_power_{iter,it}(f)$ se determina mediante la fórmula siguiente:

$$ncall_{iter,it} = \text{mín}(Ncall, ncall_{iter,it-1} + born_{iter,it} - dropped_{iter,it}) \quad (3)$$

y el número de nuevas llamadas efectivas es entonces:

$$\begin{aligned} new_{iter,it} &= ncall_{iter,it} - ncall_{iter,it-1} + dropped_{iter,it} \\ (new_{iter,it} &\leq born_{iter,it}) \end{aligned} \quad (4)$$

Si $it = 1$, $ncall_{iter,1} = ini_{iter}$.

4.6 Asignación de las (nuevas) llamadas a los canales de tráfico disponibles

Tanto con el acceso múltiple por división de código (AMDC) como con el acceso múltiple por división en tiempo (AMDT) pueden atribuirse varias llamadas en el mismo canal físico. Se denomina aquí canal de tráfico a cada uno de los posibles intervalos de llamada (identificado en el dominio del tiempo para la AMDT o por el código para el AMDC), de forma que haya un número n máximo de canales de tráfico para cada canal físico.

El tráfico total se distribuye uniformemente entre los canales de tráfico disponibles comprendidos en una zona cuyo radio equivale al de un haz puntual. Esto quiere decir que:

- si $it = 1$, las llamadas ini_{iter} se distribuyen uniformemente entre todos los canales de tráfico de $Ncall$,
- si $it \neq 1$, las llamadas $new_{iter,it}$ se distribuyen uniformemente entre los canales de tráfico disponibles de $ncall_{iter,it-1} - dropped_{iter,it}$.

Si los operadores ofrecen distribuciones diferentes para la asignación del tráfico entre los canales de tráfico disponibles, éstos pueden incorporarse en la metodología.

4.7 Cálculo del instante de terminación de las (nuevas) llamadas

Para cada nueva llamada, c , se determina el instante de terminación mediante la fórmula que representa la función de distribución acumulativa de duración de llamada:

$$P = 1 - e^{-\frac{(T_c - t)}{\mu}} \quad (5)$$

donde:

- P : probabilidad acumulada de que la duración de la llamada sea inferior a $(T_c - t)$
- t : subdivisión de tiempo vigente (inicio de la llamada)
- T_c : instante de terminación de la llamada
- μ : duración media de llamada del sistema de satélite.

Por consiguiente, la fecha de terminación, T_c , de una (nueva) llamada c puede obtenerse de una prueba aleatoria uniforme de P aplicando la siguiente fórmula (véase el § 4.1):

$$T_c = t - \mu \cdot \ln(1 - P) \quad (6)$$

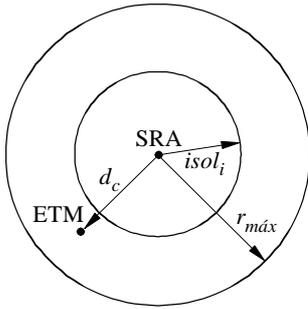
4.8 Cálculo de los demás parámetros relacionados con las (nuevas) llamadas

4.8.1 Cálculo de la distancia entre la estación móvil y una antena del SRA

Se supone una distribución uniforme de ETM alrededor del emplazamiento del SRA.

Cuando se efectúa una nueva llamada c en el canal i , la función de distribución acumulativa de las ETM a una distancia d_c está representada por la fórmula siguiente:

$$P = \frac{d_c^2 - isol_i^2}{r_{m\acute{a}x}^2 - isol_i^2} \quad (7)$$



1316-04

donde:

P : probabilidad acumulada de presencia de una ETM que retiene la llamada c en el canal i a la distancia d_c

$isol_i$: distancia de separación por defecto entre la ETM y el emplazamiento del SRA

$r_{m\acute{a}x}$: radio máximo de búsqueda de las ETM alrededor del emplazamiento del SRA.

Por consiguiente, d_c puede obtenerse de una prueba aleatoria uniforme de P mediante la fórmula siguiente (véase el § 4.1):

$$d_c = \sqrt{P(r_{m\acute{a}x}^2 - isol_i^2) + isol_i^2} \quad (8)$$

4.8.2 Cálculo del porcentaje de tiempo para utilizar en el cálculo de pérdida del trayecto

Cuando se efectúa una nueva llamada, el porcentaje de tiempo, p_c , que se utilizará en el cálculo de pérdida del trayecto entre el emplazamiento del SRA y la ETM que retiene la llamada c se supone uniformemente distribuido entre 0% y 100%. p_c tiene aquí el mismo significado que p en la Recomendación UIT-R P.452, donde se define como «porcentaje de tiempo requerido durante el que no se exceden las pérdidas del trayecto de propagación».

Luego, p_c puede obtenerse de una prueba uniforme (véase el § 4.1). Si el resultado de la prueba sobrepasa el 50%, se fija en 50% (cálculo del caso más desfavorable). Si el resultado de la prueba es inferior al 0,001%, se fija en 0,001%.

Este porcentaje de tiempo se mantiene igual hasta el abandono de la llamada.

4.8.3 Cálculo de los ángulos

Considerando una nueva llamada c efectuada por una ETM y:

az_{RAS} : ángulo acimutal de la antena del SRA (RAS – radio astronomy service) (puede ser el resultado de una prueba aleatoria uniforme al principio de cada Paso de repetición)

$elev_{RAS}$: ángulo de elevación de la antena del SRA (puede ser el resultado de una prueba aleatoria uniforme en un ángulo sólido al principio de cada Paso de repetición).

La fórmula que da la función de distribución acumulada para la prueba aleatoria uniforme en un ángulo sólido es:

$$P = \frac{\text{sen}(\varphi) - \text{sen}(elev_{m\acute{i}n})}{\text{sen}(elev_{m\acute{a}x}) - \text{sen}(elev_{m\acute{i}n})} \quad (9)$$

siendo:

P : probabilidad acumulada de funcionamiento con un ángulo de elevación inferior a φ

$elev_{m\acute{i}n}$: ángulo mínimo de elevación

$elev_{m\acute{a}x}$: ángulo máximo de elevación

- az_c : ángulo acimutal de la antena de la ETM que retiene la llamada c (sólo si es direccional)
- $elev_c$: ángulo de elevación de la antena de la ETM que retiene la llamada c (sólo si es direccional)
- $az_{c,RAS}$: ángulo acimutal entre la antena del SRA y la ETM que retiene la llamada c .
El resultado de una prueba aleatoria uniforme entre 0° y 360° (véase el § 4.1)
- α_c : ángulo con relación al eje que se ha de considerar en el cálculo de la ganancia de la antena del SRA en dirección de la ETM que retiene la llamada c
- β_c : ángulo con relación al eje que se ha de considerar en el cálculo de la ganancia de la antena de la ETM (MES – mobile earth station) que retiene la llamada c en dirección del emplazamiento del SRA (si es direccional)

Luego:

$$\begin{aligned}\alpha_c &= \cos^{-1} \left(\cos(az_{c,RAS} - az_{RAS}) \cos(elev_{RAS}) \right) \\ \beta_c &= \cos^{-1} \left(\cos(az_{MES} - az_{c,RAS} - 180) \cos(elev_{MES}) \right)\end{aligned}\quad (10)$$

Se puede proporcionar una distribución de punterías distinta.

4.8.4 Cálculo de la ganancia de una antena del SRA en dirección de la ETM considerada

Cuando se efectúa una nueva llamada c , la ganancia de la antena del SRA, $G_{c,RAS}$, se calcula mediante la fórmula (11) (véase la Recomendación UIT-R SA.509):

$$\begin{aligned}G_{c,RAS} &= 32 - 25 \log \alpha_c && \text{para } 1^\circ \leq \alpha_c \leq 48^\circ \\ &= -10 && \text{para } \alpha_c \geq 48^\circ\end{aligned}\quad (11)$$

α_c se supone siempre mayor que 1° .

La ganancia se mantiene igual hasta el abandono de la llamada.

En la aplicación de la metodología a emplazamientos específicos, pueden ser necesarios modelos de ganancia de antena alternativos.

4.8.5 Cálculo de la ganancia de la antena ETM en dirección del emplazamiento del SRA

Cuando se efectúa una nueva llamada c , la ganancia de la antena de la ETM, $G_{c,MES}$, se calcula mediante β_c .

Esta ganancia se mantiene igual hasta el abandono de la llamada.

4.8.6 Cálculo de la pérdida del trayecto

La pérdida del trayecto, L_c , se calcula suponiendo la dispersión troposférica (véase la Recomendación UIT-R P.452) para grandes distancias, o la difracción esférica (véase la Recomendación UIT-R P.526) para distancias cortas. Debe prestarse atención a la continuidad existente entre ambos modelos. La continuidad puede lograrse eligiendo para cada llamada el modelo que da las pérdidas del trayecto mínimas, dependiendo de la distancia ensayada y del porcentaje del tiempo, p_c , considerado. Además, la pérdida del trayecto se calcula en condiciones hipotéticas de cielo despejado, es decir, sin tener en cuenta la dispersión producida por hidrometeoros, aviones y satélites. Los valores de d_{tm} y de d_{lm} a utilizar en las ecuaciones (3) y (3a) de la Recomendación UIT-R P.452 son respectivamente d_c y 0, para representar una situación general.

Cuando se use el modelo de difracción esférica, el cálculo de k (radio equivalente de la Tierra) se realizará mediante la fórmula (12) de la Recomendación UIT-R P.452. Los valores de los parámetros d_{lt} y d_{lr} a utilizar en la fórmula (13a) de la Recomendación UIT-R P.452 son las distancias desde las antenas del transmisor y del receptor, respectivamente a sus horizontes (caso más desfavorable). Pueden evaluarse de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}d_{lt} &= \sqrt{(h_{mes} + R)^2 - R^2} \\ d_{lr} &= \sqrt{(h_{ras} + R)^2 - R^2}\end{aligned}$$

siendo:

- h_{mes} : altura de la antena
- h_{ras} : altura de la antena del SRA
- R : radio de la Tierra (6 378,1 km).

Al utilizar la Recomendación UIT-R P.526, el párrafo pertinente que ha de considerarse es el § 3.1.2. El valor de β de las ecuaciones (7) y (8) de la Recomendación UIT-R P.526 se pone en 1 y se aplica la ecuación (11a) de dicha Recomendación.

Cuando se usa el modelo de dispersión troposférica, el cálculo de θ se efectúa según el Apéndice 2 del Anexo 1 a la Recomendación UIT-R P.452 añadiendo (a la distancia angular entre la ETM y el SRA) θ_d , ángulo de elevación del horizonte visto por la ETM (sin apantallamiento del terreno) y un ángulo suplementario θ_r (por ejemplo, 1°). Este ángulo suplementario tiene por objeto tener en cuenta la posible protección (árboles, edificios, colinas, montañas ...) alrededor del observatorio de radioastronomía. El valor de θ_d es negativo, pues la altura de la antena de la ETM es positiva. Es posible evaluarlo como $-d_{lt}/R$, con las definiciones anteriores de estas dos variables, haciendo una aproximación de $-\text{asin}(d_{lt}/R)$. Por último, la ecuación utilizada para el cálculo de la distancia angular es:

$$\theta = d_c / R + \theta_r - d_{lt} / R$$

Los valores por defecto de las alturas de antena son 1,5 m para la ETM y 30 m para la antena del SRA. Toda aplicación de la metodología a emplazamientos específicos puede exigir valores distintos de la altura.

4.9 Cálculo de $rec_power_{iter,it}(f)$

Considerando una llamada c de salto de tiempo it y una muestra de tiempo de integración $iter$ que utiliza el canal i , la potencia interferente $I_c(f)$ producida por dicha ETM en el emplazamiento de la antena del SRA a la frecuencia f equivale a:

$$I_c(f) = P_i(f) + G_{c,MES} - L_c + G_{c,RAS} \quad (12)$$

donde:

- $P_i(f)$: potencia media producida por la ETM que interviene en la llamada c (en el canal i) a la frecuencia f . El valor a una cierta frecuencia f , puede obtenerse utilizando los límites previstos de emisión para la clase particular del móvil y conociendo la separación de frecuencias ($f - f_i$) a partir de la frecuencia central, f_i del canal utilizado para la llamada c
- $G_{c,MES}$: ganancia de la antena de la ETM que retiene la llamada c , en dirección del emplazamiento del SRA
- L_c : pérdida del trayecto entre la ETM que retiene la llamada c y el emplazamiento del SRA
- $G_{c,RAS}$: ganancia de la antena del SRA en dirección de la ETM que retiene la llamada c
- $r_{m\acute{a}x}$: radio máximo de búsqueda de la ETM alrededor del emplazamiento del SRA.

$rec_power_{iter,it}$ es la suma de las potencias interferentes producidas por las ETM de $ncall_{iter,it}$ que funcionan simultáneamente:

$$rec_power_{iter,it}(f) = 10 \log \left(\sum_{c=1}^{ncall_{iter,it}} 10^{\frac{I_c(f)}{10}} \right) \quad (13)$$

5 Determinación de $mean_power_{iter}(f)$

La potencia interferente media registrada durante una muestra de tiempo de integración se calcula efectuando el promedio de las potencias interferentes en todas las subdivisiones de tiempo de la muestra de tiempo de integración. Luego:

$$mean_power_{iter}(f) = 10 \log \left(\frac{1}{in} \sum_{it=1}^{in} 10^{\frac{rec_power_{iter,it}(f)}{10}} \right) \quad (14)$$

donde:

- $mean_power_{iter}(f)$: potencia interferente media registrada en el emplazamiento del SRA durante la $iter$ -ésima muestra de tiempo de integración a la frecuencia f
- $rec_power_{iter,it}(f)$: potencia interferente registrada en el emplazamiento del SRA a la frecuencia f durante la it -ésima subdivisión de tiempo de la $iter$ -ésima muestra de tiempo de integración
- $integr$: duración de la muestra de tiempo de integración
- in : número de subdivisiones de tiempo en que se compone las muestras de tiempo de integración.

APÉNDICE 1

AL ANEXO 2

Lista de variables

α_c :	ángulo con relación al eje que debe tenerse en cuenta para calcular la ganancia de la antena del SRA en dirección de la ETM que retiene la llamada c
β_c :	ángulo con relación al eje que debe tenerse en cuenta en el cálculo de la ganancia de la antena de la ETM que retiene la llamada c en dirección del SRA (si es direccional)
λ :	tasa de llamada media del sistema de satélite (/s). (La tasa de llamada media del sistema de satélite, λ , es la tasa de llamada media por estación móvil, λ_{MES} , multiplicada por el número de estaciones móviles en una zona cuyo radio equivale al de un haz puntual N_{MES} : $\lambda = \lambda_{MES} N_{MES}$)
μ :	duración media de una llamada del satélite (s)
az_c :	ángulo acimutal de la antena de la ETM que retiene la llamada c
$az_{c,RAS}$:	ángulo acimutal entre la antena del SRA y la ETM que retiene la llamada c
az_{RAS} :	ángulo acimutal de la antena del SRA
$born_{iter,it}$:	número de tentativas de llamada entre los saltos de tiempo it e $it + 1$ de la $iter$ -ésima muestra de tiempo de integración y que vale para calcular $ncall_{iter,it}$. El número de llamadas efectivamente iniciadas es inferior o igual a esta cifra
d_c :	distancia entre el emplazamiento del SRA y la ETM que retiene la llamada c
$dropped_{iter,it}$:	número de llamadas abandonadas entre los saltos de tiempo it e $it + 1$ de la $iter$ -ésima muestra de tiempo de integración. Se usa para calcular $ncall_{iter,it}$
δt :	duración de la subdivisión de tiempo
$elev_c$:	ángulo de elevación de la antena de la ETM que retiene la llamada c
$elev_{RAS}$:	ángulo de elevación de la antena del SRA
E :	máximo número de Erlangs del sistema de satélite. E puede ser: <ul style="list-style-type: none"> – un valor suministrado directamente por el operador del SMS o del SMTS – un valor calculado, conocidos λ y μ, mediante la fórmula: $E = \lambda \mu$, en la que λ es la tasa de llamada media del sistema de satélites y μ la duración media de las llamadas
$G_{c,MES}$:	ganancia de la antena de la ETM que retiene la llamada c en la dirección del emplazamiento del SRA
$G_{c,RAS}$:	ganancia de la antena del SRA en dirección de la ETM que retiene la llamada c
h_{mes} :	altura de la antena de la ETM
h_{ras} :	altura de la antena del SRA
ini_{iter} :	número de llamadas de la $iter$ -ésima muestra de tiempo de integración
$integr$:	duración de la muestra de tiempo de integración
$I_c(f)$:	potencia de interferencia producida por la ETM utilizada para la llamada c en el emplazamiento de la antena del SRA, a la frecuencia f
$interf(f)$:	potencia media interferente recibida en el emplazamiento del SRA para el $(100 - x)\%$ de todas las muestras de tiempo de integración a la frecuencia f [(100 - x)% de $niter\ mean_power_{iter}(f)$]
$isol_i$:	distancia de aislamiento entre el emplazamiento del SRA y las ETM que retienen la llamada c en el canal i (las distancias de aislamiento pueden depender de los canales utilizados)

in :	valor máximo de it
it :	subdivisión de tiempo vigente de la muestra de tiempo de integración. Oscila entre 1 e in
$iter$:	muestra de tiempo de integración vigente. Oscila entre 1 y $niter$
k :	radio equivalente de la Tierra
$mean_power_{iter}(f)$:	potencia interferente media recibida en el emplazamiento del SRA en toda la $integr$ -ésima muestra de tiempo de integración. Se calcula efectuando el promedio de $rec_power_{iter,it}(f)$ para el total de $integr$
$Ncall$:	número máximo de llamadas. Limitación material determinada por el número máximo de canales $nchannel$ y el número máximo de llamadas por canal $nmax$
$ncall_{iter,it}$:	número de llamadas efectuadas entre las subdivisiones de tiempo it e $it + 1$, para considerar en el cálculo de la potencia interferente $rec_power_{iter,i}$. Se calcula mediante $ncall_{iter,it-1}$, $dropped_{iter,it}$ y $born_{iter,it}$ o es igual a $Ncall$
$nchannel$:	número máximo de canales del sistema del SMS
$new_{iter,it}$:	cantidad efectiva de nuevas llamadas iniciadas entre las subdivisiones de tiempo it e $it + 1$ de la $iter$ -ésima muestra de tiempo de integración. $new_{iter,it} \leq born_{iter,it}$
$niter$:	número de muestras de tiempo de integración necesarias para la estadística. Representa la cantidad de muestras que requiere el diseño del histograma
$nmax$:	número máximo de llamadas por canal del sistema del SMS (= 1 para un sistema AMDT, > 1 para un sistema AMDC)
$P_i(f)$:	potencia media producida por un número de canales i a la frecuencia f
p_c :	porcentaje de tiempo que debe tenerse en cuenta al calcular la pérdida del trayecto entre el emplazamiento del SRA y la ETM que retiene la llamada c
$rec_power_{iter,it}(f)$:	potencia interferente recibida en el emplazamiento del SRA entre los saltos de tiempo it e $it + 1$ de la $iter$ -ésima muestra de tiempo de integración
$r_{m\acute{a}x}$:	radio máximo para determinar la ubicación de las estaciones móviles (km). $r_{m\acute{a}x}$ se define como el mínimo entre 500 km y el radio de un haz puntual
t :	subdivisión de tiempo vigente de la muestra tiempo de integración. Oscila entre δt e $integr$
T_c :	instante de terminación de la llamada c
L_c :	pérdidas del trayecto de la llamada c
d_{lm} :	como en la Recomendación UIT-R P.452, longitud del trayecto más largo sobre la tierra
d_{lm} :	como en la Recomendación UIT-R P.452, longitud del trayecto más largo sobre el agua
d_{lt}, d_{lr} :	como en la Recomendación UIT-R P.452, distancia entre antenas transmisora y receptora y sus horizontes respectivos
θ :	como en la Recomendación UIT-R P.452, distancia angular del trayecto
θ_t, θ_r :	como en la Recomendación UIT-R P.452, ángulos de elevación sobre el horizonte en el transmisor y en el receptor
β :	como en la Recomendación UIT-R P.526, § 3.1.2, parámetro que tiene en cuenta el carácter del suelo y la polarización.

ANEXO 3

Metodología del Paso 2: Cálculo de zonas de restricción alrededor de emplazamientos del SRA para la compartición con ETM

1 Introducción

Este Anexo suministra una orientación para determinar las zonas de restricción alrededor de emplazamientos del SRA a fin de proteger las observaciones radioastronómicas.

Los fundamentos del método de cálculo de zonas de restricción son idénticos a los utilizados para el cálculo de distancias de separación por defecto, según se describe en el Anexo 2.

Sólo se añaden al modelo algunas características adicionales, para tomar en consideración las informaciones propias del lugar. Por consiguiente, el § 2 que sigue presenta las consideraciones adicionales del Paso 2 respecto de la metodología del Paso 1, para determinar zonas de restricción alrededor de emplazamientos del SRA.

2 Posibles mejoras en la metodología del Paso 1

Por lo general, todas las consideraciones adicionales se ocupan del manejo de datos geográficos específicos de un emplazamiento determinado del SRA. Un programa informático destinado a definir zonas de restricción alrededor de determinados emplazamientos del SRA debe considerar:

– *El modelo de propagación:*

La incorporación de los métodos de cálculo de pérdida del trayecto según se definen en la Recomendación UIT-R P.452 requeriría datos topográficos reales.

Además, como la antena de una ETM tiene poca altura respecto al suelo (puede suponerse que está situada a unos 1,5 m de altura), cualquier obstáculo en el trayecto, afectará la propagación entre la ETM y la antena del SRA.

Como una primera aproximación, podría bastar una aplicación limitada de la Recomendación UIT-R P.452, utilizando la información sobre la elevación del horizonte en todas las direcciones alrededor del observatorio radioastronómico, la elevación del terreno del lugar de la ETM, así como posiblemente los ecos parásitos locales de la ETM.

– *Distribución de las estaciones móviles:*

La hipótesis de una distribución uniforme de las ETM alrededor del emplazamiento del SRA debe revisarse para tener en cuenta las características específicas de la red interferente.

La simulación debe también contemplar las características del movimiento de las ETM, y no suponer que se mantendrán estacionarias mientras dura la llamada.

Cabe señalar que el movimiento de las ETM puede influir en cierta medida tanto en la ganancia de la antena del SRA como en la discriminación de la de la propia ETM.

Otros factores tales como el control de potencia deberían tomarse en consideración en condiciones ideales. Sin embargo, esto requeriría algunos datos de mediciones del funcionamiento y probablemente no estén disponibles para algunas redes del SMS objeto de estudio.

Estas incorporaciones propuestas a la metodología básica no tratan de ser exhaustivas y las partes involucradas en el establecimiento de las zonas de coordinación reales podrían añadir otras características.

ANEXO 4

Información que se requiere de los operadores del SMS como datos para el cálculo de distancias de separación por defecto entre un emplazamiento del SRA y ETM

	Comentarios
Tipo de acceso	AMDT o AMDC
Características de los canales: <ul style="list-style-type: none"> – frecuencias centrales de los canales (MHz) – anchuras de banda nominales (kHz) – factor de reutilización de frecuencias 	
Plantilla de emisión	p.i.r.e. respecto de la frecuencia portadora
Determinación de la potencia media de la ETM (dB(W/4 kHz)): <ul style="list-style-type: none"> – densidad de potencia de cresta en las anchuras de banda nominales (dB) – factor de reducción de potencia para sistemas con AMDT (promedio de los intervalos de tiempo) (dB) – factor de reducción de potencia para el control de potencia (atenuación del control de potencia media) (dB). <p>NOTA 1 – Sírvase indicar si estos factores se aplican únicamente en las anchuras de banda nominales o también a la plantilla de emisión</p>	
Número máximo de llamadas por canal	
Ganancia máxima de la antena de la ETM en dirección del horizonte (dBi)	
Diagrama de la antena de la ETM, si es directiva, en el plano horizontal	
Ángulo de puntería en acimut de la antena de la ETM (grados)	Sólo si la antena de la ETM es directiva
Ángulo de puntería en elevación de la antena de la ETM (grados)	Sólo si la antena de la ETM es directiva
Tasa media de llamadas por ETM (tráfico de cresta) (/s)	
Duración media de llamadas por ETM (tráfico de cresta) (s)	
Probabilidad de bloqueo del acceso al sistema	Necesario para el cálculo del número de Erlangs a partir de las curvas de Erlang B. Representa la probabilidad de que una tentativa de llamada resulte bloqueada
Densidad máxima de usuarios (/km ²)	
Densidad máxima de usuarios activos (/km ²)	