

**UIT-R**

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

**Recomendación UIT-R F.1107-2**  
(05/2011)

**Análisis probabilístico para evaluar la  
interferencia causada al servicio fijo  
por satélites que utilizan la órbita  
de los satélites geoestacionarios**

**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
<b>BO</b>	Distribución por satélite
<b>BR</b>	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
<b>BS</b>	Servicio de radiodifusión sonora
<b>BT</b>	Servicio de radiodifusión (televisión)
<b>F</b>	<b>Servicio fijo</b>
<b>M</b>	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
<b>P</b>	Propagación de las ondas radioeléctricas
<b>RA</b>	Radio astronomía
<b>RS</b>	Sistemas de detección a distancia
<b>S</b>	Servicio fijo por satélite
<b>SA</b>	Aplicaciones espaciales y meteorología
<b>SF</b>	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
<b>SM</b>	Gestión del espectro
<b>SNG</b>	Periodismo electrónico por satélite
<b>TF</b>	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
<b>V</b>	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, 2011

© UIT 2011

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.1107-2\*

**Análisis probabilístico para evaluar la interferencia causada al servicio fijo por satélites que utilizan la órbita de los satélites geoestacionarios**

(1994-2002-2011)

**Cometido**

Esta Recomendación proporciona métodos a fin de evaluar los criterios de compartición para combatir la interferencia causada por los satélites que utilizan la órbita de los satélites geoestacionarios a los sistemas inalámbricos fijos digitales. El Anexo 1 presenta un método para calcular la interferencia provocada a los sistemas digitales y proporciona un esquema de metodología de cálculo, incluyendo ejemplos y un modelo de software para aplicar dicha metodología.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que las emisiones de estaciones espaciales que funcionan en la órbita de los satélites geoestacionarios y comparten el mismo espectro pueden producir interferencia a estaciones receptoras del servicio fijo;
- b) que puede no ser práctico efectuar la coordinación entre las numerosas estaciones terrenales y las numerosas estaciones espaciales y que, por tanto, deben establecerse criterios de compartición para excluir la necesidad de una coordinación detallada;
- c) que al desarrollar estos criterios de compartición, hay que tener en cuenta las necesidades operacionales y técnicas de las redes de servicios por satélite, así como las necesidades del servicio fijo y las medidas disponibles;
- d) que se ha determinado que los criterios de compartición elaborados a partir de una base probabilística dan como resultado una utilización más eficaz del espectro que los criterios formulados utilizando el análisis del caso más desfavorable;
- e) que es difícil y gravoso reunir suficiente información estadísticamente exacta sobre las estaciones reales existentes y proyectadas de sistemas terrenales y por satélite;
- f) que las simulaciones por ordenador del servicio fijo y de los servicios por satélite que funcionan en la órbita de los satélites geoestacionarios pueden generar información estadísticamente exacta adecuada para determinar criterios de compartición en una amplia variedad de situaciones de compartición,

*recomienda*

- 1 que la información obtenida a partir de simulaciones por ordenador del servicio fijo y de servicios por satélite que funcionan en la órbita de los satélites geoestacionarios y utilizan el mismo espectro se utilice para elaborar criterios de compartición;
- 2 que, al elaborar criterios de compartición respecto a los sistemas digitales del servicio fijo, se tenga en cuenta el Anexo 1 para evaluar la interferencia causada por el servicio fijo a los servicios fijos digitales.

---

\* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 4, 6 y 7 de Radiocomunicaciones.

## Anexo 1

### Información para evaluar la interferencia en los sistemas digitales del servicio fijo procedente de emisiones de estaciones espaciales que funcionan en la órbita de los satélites geoestacionarios

#### 1 Introducción

Este Anexo presenta información adicional que es necesaria para evaluar la interferencia en dichos sistemas del servicio fijo que utilizan modulación digital.

La metodología ofrece estadísticas sobre los valores de la relación interferencia/ruido ( $I/N$ ) de estaciones individuales y los valores de la degradación fraccionaria de la calidad de funcionamiento (DFC) de las rutas. La metodología descrita en el § 3 empleada para evaluar la DFC de la ruta sólo es válida cuando la  $I/N$  de una estación receptora de dicha ruta no es tan grande como para llevar al receptor a la zona no lineal. Se recomienda por tanto al usuario evaluar la  $I/N$  según las estadísticas de receptor, que se describen en el § 2, antes de evaluar las estadísticas de la DFC en un caso de saltos múltiples, como el que se describe en el § 3.

Este Anexo se aplica a los sistemas del servicio fijo digitales en los que predomina generalmente el desvanecimiento multirayecto y no se aplica a los sistemas en los que predomina por lo general la atenuación debida a la precipitación.

#### 2 Análisis estación por estación

En el caso de sistemas digitales del servicio fijo punto a punto (P-P) y punto a multipunto (P-MP), conviene evaluar la interferencia en términos de la DFC que se define como la interferencia variable en el tiempo procedente de satélites no geoestacionarios, en el Anexo 3 de la Recomendación UIT-R F.1108. Por analogía, cuando sólo hay una estación del servicio fijo, la  $DFC_{salto}$  debida a las diversas interferencias de los satélites geoestacionarios puede definirse a la entrada de un receptor como se indica a continuación, teniendo en cuenta que el nivel de interferencia casi no varía con el tiempo:

$$DFC_{salto} = \frac{I}{N_T} \quad (1)$$

donde:

$I$ : interferencia combinada (W/MHz) procedente de los satélites visibles en el receptor del servicio fijo

$N_T$ : ruido térmico del receptor (W/MHz).

Puede utilizarse la metodología propuesta en el Apéndice 2 de este Anexo para evaluar las estadísticas de la  $I/N$ .

Cuando es necesario determinar el efecto de la interferencia en los receptores del servicio fijo digital que emplean diversidad, puede ser más adecuado utilizar una fórmula distinta para evaluar la  $DFC_{salto}$ , la cual se describe en el Anexo 4 de la Recomendación UIT-R F.1108.

### 3 Sistemas del servicio fijo P-P multisalto

En los sistemas digitales del servicio fijo con  $n$  saltos que funcionan en frecuencias en las que predomina generalmente el desvanecimiento multitrayecto y sabiendo que, en general, los objetivos de calidad para los sistemas del servicio fijo P-P multisalto se especifican sobre una base de ruta, pueden emplearse dos métodos de evaluación probabilística. Uno se describe en el § 2 y el otro consiste en evaluar la DFC para la ruta definida como la relación entre la potencia total de interferencia y la potencia total de ruido para una dirección de una ruta, de la siguiente manera:

$$DFC_{ruta} = \frac{\sum_{k=1}^n (I_k)}{n \times N_T} \quad (2)$$

donde  $I_k$  es la interferencia combinada que llega al receptor  $k$ -ésimo procedente de los satélites visibles.

Debe señalarse que la ecuación (2) se basa en las siguientes hipótesis:

- la señal digital se regenera en cada repetidor; y
- el desvanecimiento tiene características de Rayleigh.

También debe señalarse que, para evaluar la  $DFC_{ruta}$  de los sistemas digitales del servicio fijo que emplean la diversidad, debe utilizarse una fórmula adecuada que es distinta a la de la ecuación (2). Se requieren nuevos estudios al respecto.

Aunque hay diversos tipos de desvanecimiento, se considera que el de Rayleigh es el desvanecimiento más agudo que se produce en los trayectos con visibilidad directa y es un factor determinante en la evaluación de la calidad del sistema del servicio fijo. La característica del desvanecimiento de Rayleigh es que la probabilidad de un desvanecimiento con profundidad de 10 dB, por ejemplo, se reduce en un factor de 1/10. Por tanto, si en un salto hay una interferencia variable en el tiempo cuyo nivel sea igual al nivel del ruido térmico ( $I/N = 0$  dB), la probabilidad de segundos con muchos errores (o la probabilidad de tiempo de indisponibilidad) será el doble que la del caso en que no hay interferencia.

El concepto de DFC presenta ciertas limitaciones, siendo la hipótesis más importante la de que el funcionamiento del receptor del servicio fijo permanece en una zona de respuesta lineal. Si hay un nivel excepcionalmente elevado de interferencia, de forma que el receptor del servicio fijo caiga en una zona de respuesta no lineal, el concepto de DFC no será aplicable o subestimarán el efecto de la interferencia (véase el párrafo que sigue a la ecuación (16) del Anexo 3 a la Recomendación UIT-R F.1108). No obstante, en tanto que el funcionamiento del receptor del servicio fijo se mantenga en la zona de respuesta lineal, la ecuación (2) es válida para los sistemas digitales multisalto del servicio fijo.

El análisis del punto anterior no se traduce en una conclusión de que haya que evaluar por cada ruta la DFC únicamente. La evaluación de la DFC sobre una base de estación será también útil para comprender los efectos de la interferencia.

Se supone una distancia de salto típica en los sistemas de largo recorrido de 50 km, pero puede ser adecuada una distancia de salto inferior para los sistemas de corto recorrido, dependiendo de diversos factores que incluyen la frecuencia de funcionamiento y los efectos de propagación. Por ejemplo, en el caso de una frecuencia de funcionamiento en la gama de 1-3 GHz, puede ser adecuada la selección aleatoria entre límites especificados (por ejemplo, entre 10 y 30 km) como distancias de salto típicas.

Las rutas del servicio fijo en estudio deben seleccionarse conforme al enfoque de simulación de Monte Carlo, eligiendo de forma aleatoria el punto de arranque de la ruta en una zona de prueba especificada por el usuario que se identifica por los límites de latitud y de longitud.

Al efectuar el análisis de la ruta de los sistemas digitales sujetos al desvanecimiento multitrayecto, puede no ser necesario que cada uno de los saltos cumpla el criterio de la  $I/N$ . No obstante, la calidad total de la ruta debe satisfacer el criterio de DFC. Este aspecto se explica más adelante.

Cuando la propagación por trayectos múltiples es el mecanismo predominante del desvanecimiento, la Recomendación UIT-R P.530 relaciona la probabilidad de una interrupción en un salto  $P(\text{interrupción de salto})$  con el margen del desvanecimiento por el ruido térmico del enlace (TFM, *thermal fade margin*):

$$P(\text{interrupción de salto}) = K \cdot d^{3,6} \cdot f^{0,89} \cdot (1 + |h_r - h_e|/d)^{-1,4} \cdot 10^{-TFM/10}$$

donde:

- $K$ : factor geoclimático
- $d$ : longitud del enlace (km)
- $f$ : frecuencia (GHz)
- $h_r$  y  $h_e$ : alturas de las antenas de transmisión y de recepción (metros sobre el nivel del mar, o bien otra referencia utilizada)
- $TFM$ : margen del desvanecimiento del ruido térmico en un salto (dB)

$$TFM = 10 \log \left( \frac{C}{N_T} \right) - CNC$$

donde:

$$10 \log \left( \frac{C}{N_T} \right): \text{ relación portadora/ruido } (C/N) \text{ (dB) sin desvanecimiento}$$

$CNC$ : valor de la relación  $C/N$  en el que se cumple el criterio de calidad (dB).

$$\text{Haciendo } K \cdot d^{3,6} \cdot f^{0,89} \cdot (1 + |h_r - h_e|/d)^{-1,4} \cdot 10^{-CNC/10} = \gamma$$

Entonces:

$$P(\text{interrupción de salto}) = \gamma \cdot N_T/C$$

Y así:

$$P(\text{interrupción de salto antes de la interferencia de satélite}) = \gamma \cdot N_T/C$$

$$P(\text{interrupción de salto después de la interferencia combinada de satélite}) = \gamma \cdot (N_T + I)/C$$

donde  $C$ ,  $N_T$  e  $I$  van en unidades de potencia homogéneas.

Si se supone que:

- cada salto se diseña de forma que tenga la misma probabilidad nominal de interrupción antes de la interferencia del satélite;
- los desvanecimientos en los saltos son independientes y suficientemente raros para que puedan añadirse las probabilidades de interrupción,

la probabilidad nominal neta de interrupción para la ruta es:

$$P(\text{interrupción de ruta}) = \sum (P(\text{interrupción de ruta}))_{\text{número de saltos en la ruta}}$$

Así pues, el aumento fraccional de la probabilidad de interrupción en una ruta debido a la degradación del margen del desvanecimiento en cada salto de la ruta es simplemente:

$DFC(\text{interrupción de ruta})$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{P(\text{interrupción de ruta con interferencia}) - P(\text{interrupción de ruta sin interferencia})}{P(\text{interrupción de ruta sin interferencia})} \\
 &= \frac{\sum (\gamma \cdot (N_T + I) / C) - \sum (\gamma \cdot N_T / C)}{\sum (\gamma \cdot N_T / C)} \\
 &= \frac{\sum I}{\sum N_T}
 \end{aligned}$$

es decir, la DFC de la ruta es la potencia total de interferencia de la ruta dividida por la potencia total de ruido en la ruta:

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\sum I}{n \cdot N_T} \quad \text{como relación de potencias} \\
 &= 100 \frac{\sum I}{n \cdot N_T} \quad \%
 \end{aligned}$$

Así pues, el enfoque de la DFC para la evaluación del efecto de la interferencia en una ruta del servicio fijo y la utilización de porcentajes (en vez de dB) son adecuados.

En los sistemas P-MP, la mayoría de los enlaces son de salto único, por lo que se aplicaría la ecuación (1). En los sistemas P-P son típicos los despliegues multisalto, con lo que se aplicará la ecuación (2).

#### 4 Sistemas del servicio fijo P-MP

La interferencia de las estaciones centrales de los sistemas P-MP debe evaluarse conforme a lo indicado en el § 2, en el caso de la modulación digital, aunque debe señalarse que estas estaciones emplean antenas omnidireccionales o sectoriales. Los diagramas de radiación de referencia en el plano de elevación de dichas antenas se describen en la Recomendación UIT-R F.1336. Si procede, puede evaluarse en la evaluación de la interferencia el efecto de la inclinación hacia abajo del haz de las antenas.

La interferencia en las estaciones de abonado de los sistemas del servicio fijo P-MP debe también evaluarse conforme a lo indicado en el § 2, en el caso de la modulación digital. Para este caso, se supone generalmente que las direcciones acimutales de las antenas de estación de abonado se distribuyen uniformemente en 0°-360°, observando que, en general, no es factible en estos sistemas la evitación de la órbita.

#### 5 Zona de pruebas

Un gran número de rutas y estaciones del servicio fijo se distribuyen aleatoriamente en latitud, longitud y acimut (a fin de asegurar la estabilidad y la convergencia de las estadísticas) en una zona de pruebas de usuario definida. Para asegurar una exposición uniforme a todos los ángulos de llegada, la dimensión longitudinal de la zona de pruebas debe ser un múltiplo entero de la separación entre satélites, en el caso de satélites separados uniformemente, y la dimensión en latitud

de la zona de prueba debe ser suficientemente grande. Como alternativa, la zona de prueba puede definirse de forma que abarque el territorio de una administración, de forma que puedan evaluarse los parámetros específicos a dicha administración. En este caso, los emplazamientos de los satélites pueden estar especificados.

## 6 Constelación de satélites

Generalmente se supone una órbita entera con satélites igualmente separados al investigar un nuevo servicio de satélite. Como alternativa, deben encajarse emplazamientos de los satélites definidos por el usuario. Otra opción permitiría los emplazamientos aleatorios en un arco orbital especificado.

El modelo debe permitir la evitación de la órbita en las situaciones en que esta técnica es práctica para el servicio fijo. En general, los sistemas del servicio fijo con despliegue ubicuo no pueden aprovechar esta técnica.

## 7 Contorno de la dfp

Se supone que todos los satélites transmiten los niveles máximos permitidos por la curva supuesta de la dfp. Ésta es una hipótesis prudente respecto al nivel de interferencia. El contorno consta de segmentos rectilíneos de dfp en función del ángulo de llegada (desde 0° a 90°). El modelo debe permitir especificar múltiples segmentos.

También pueden obtenerse contornos estadísticos de la dfp para tener en cuenta las coberturas de zona de servicio de satélite. Se requieren estudios adicionales a este respecto.

## 8 Parámetros del servicio fijo

En la simulación por computador deben especificarse el factor de ruido (o el umbral mínimo del ruido térmico) y las pérdidas del alimentador comunes a todas las estaciones del servicio fijo. Además, deben especificarse la ganancia y el diagrama comunes de las antenas. Para la selección por el usuario, pueden incluirse en el fichero de antena, por ejemplo, los diagramas de antena por defecto siguientes:

- Recomendación UIT-R F.1245, *recomienda 2*, para los sistemas P-P copolares con las fuentes de interferencia.
- Recomendación UIT-R F.1245, Nota 7 para los sistemas P-P con discriminación lineal/circular en las condiciones de acoplamiento de haz principal con haz principal.
- Recomendación UIT-R F.1245, Anexo 1 para los sistemas P-P con estructura en seno cuadrado de los lóbulos laterales.
- Recomendación UIT-R F.699 para los sistemas P-P copolares con las fuentes de interferencia.
- Recomendación UIT-R F.1336 para los sistemas P-MP con antenas de estación central.
- Recomendación UIT-R F.1336 para los sistemas P-MP con antenas de estación de abonado.

Además, el algoritmo debe aceptar diagramas definidos por el usuario que puedan constar, por ejemplo, de un lóbulo principal definido por la apertura de haz de 3 dB con una discriminación que varíe en función del cuadrado del ángulo respecto al eje y la transición a una región de cada lóbulo lateral lineal (en una escala logarítmica de ángulo respecto al eje). Estos diagramas definidos por el usuario pueden introducirse en un fichero de diagramas de antena para aplicaciones futuras.



## 9 Otras consideraciones

### 9.1 Criterios de interferencia

Para las bandas en que el desvanecimiento está controlado por la propagación por trayectos múltiples, la Recomendación UIT-R F.758 indica que, en principio el nivel de interferencia relativo al ruido térmico del receptor no debe exceder de  $-10$  dB (o  $-6$  dB). En el caso de sistemas digitales del servicio fijo, estos valores corresponden a una  $DFP_{salto}$  de 10% (ó 25%), respectivamente. Se recomienda adoptar, si es posible, el valor de  $-10$  dB. No obstante, en ciertas situaciones difíciles de compartición, se ha visto que es extremadamente difícil aplicar el requisito de  $-10$  dB para facilitar la compartición de frecuencias. Por ejemplo, las Recomendaciones UIT-R M.1141 y UIT-R M.1142 que tratan de la compartición de frecuencias entre sistemas del servicio fijo y estaciones espaciales (geoestacionarias o no geoestacionarias) del SMS en la gama 1-3 GHz se basan en el requisito de  $-6$  dB.

En una evaluación estadística de la interferencia, es necesario establecer un cierto porcentaje admisible de estaciones o rutas en las que la interferencia combinada pueda rebasar el criterio de interferencia. Es preferible que este porcentaje sea lo más pequeño posible, aunque en ciertas situaciones difíciles de compartición, se ha visto que es extremadamente difícil adoptar un porcentaje admisible muy pequeño. Por ejemplo, en dichas situaciones, el 10% de los receptores del servicio fijo estudiados pueden estar preparados para aceptar una interferencia que rebasa el criterio de interferencia preferido. De forma similar, puede definirse un cierto porcentaje admisible de rutas en las que la DFC puede rebasar el criterio de dicha DFC.

Se especifican dos pares de criterios de calidad:

Objetivo de $I/N$ de receptor	Porcentaje de estaciones receptoras a las que se permite rebasar el objetivo del receptor
Objetivo de DFC de la ruta	Porcentaje de rutas a las que se permite rebasar el objetivo de la ruta

Cualquiera de estos pares de criterios de calidad puede ser aplicable en una situación determinada.

### 9.2 Atenuación de la propagación

La atenuación mínima de la propagación debida a los gases atmosféricos que debe utilizarse en los estudios de compartición de frecuencias entre sistemas del servicio fijo y satélites de los diversos servicios espaciales figura en las Recomendaciones UIT-R SF.1395 y UIT-R F.1404.

### 9.3 Órbitas ligeramente inclinadas

El servicio por satélite con antenas casi omnidireccionales permite a los operadores de satélites aprovechar las economías de combustible derivadas de la flexibilidad en el mantenimiento en posición Norte-Sur y permite emplear órbitas de satélite ligeramente inclinadas. Esto da lugar a ángulos de llegada de la interferencia a las redes terrenales que varían diariamente, ampliando de hecho el arco orbital por debajo del horizonte radioeléctrico estático durante parte del tiempo y aumentando el ángulo de llegada (y de ahí la dfp) de la interferencia de los satélites situados por encima del horizonte, durante otra parte del tiempo. Un mecanismo sencillo para evaluar este efecto consiste en modificar, a efectos de cálculo, la latitud de la estación del servicio fijo: puede determinarse la latitud nominal de la estación, la latitud nominal de la estación más la inclinación máxima de la órbita y la latitud nominal de la estación menos la inclinación máxima de la órbita.

## 10 Resultados

Los resultados necesarios son las funciones de distribución de probabilidad de la  $I/N$  combinada o la DFC para cada una de las estaciones del servicio fijo ( $DFC_{salto}$ ) y las DFC de la ruta ( $DFC_{ruta}$ ). Entre los resultados opcionales está la  $\{I/N, \text{acimut}\}$  y la  $\{I/N, \text{ángulo de llegada}\}$  para la presentación en diagramas de dispersión. Este último resultado es útil para sintetizar el contorno de la dfp. Estos resultados opcionales no exigen un procesamiento adicional, pues los parámetros ya se han calculado.

## Apéndice 1 al Anexo 1

### Modelo de software para la evaluación de la probabilidad de interferencia sobre una base de sistema P-P multisalto

#### 1 Introducción

En las bandas de frecuencia en las que se vaya a aplicar una metodología probabilística de la interferencia, el servicio fijo es el servicio existente, mientras que el servicio por satélite es el sistema de llegada desconocido. Es por tanto natural, al asignar parámetros en el modelo de soporte lógico, fijar el mayor número posible de parámetros del servicio fijo y variar los parámetros del satélite.

En este modelo, se combina un enfoque de cobertura de zona con los análisis estadísticos de interferencia de un conjunto de estaciones y rutas individuales. El despliegue primario de satélite es un despliegue con separación uniforme de los satélites y contornos uniformes de dfp. Por simplicidad puede suponerse este despliegue, observando que se trata de un enfoque prudente. Opcionalmente, puede haber emplazamientos de satélite definidos por el usuario o despliegues aleatorios. Se supone una geometría de líneas rectas simples y tierra esférica suave.

#### 2 Parámetros de entrada del modelo

##### 2.1 Parámetros del satélite

- Contorno de la dfp {punto de cruce del ángulo de llegada/niveles de la dfp}; se suponen segmentos lineales y número de puntos de cruce, especificados por el usuario, comunes a todos los satélites.
- Separación uniforme en la órbita de satélites geostacionarios (debe ser un divisor entero de  $360^\circ$ ), órbita completa; (opcionalmente, el parámetro de entrada pueden ser emplazamientos definidos en la órbita o satélites separados aleatoriamente en un arco orbital especificado).
- Inclinação de la órbita (por ejemplo,  $0^\circ$  o  $5^\circ$ ), que se aplica a todos los satélites.

##### 2.2 Criterios de calidad del servicio fijo

- Nivel necesario de protección (por ejemplo,  $DFC_{ruta} = 10\%$  o  $25\%$ ,  $I/N$  de la estación =  $-10$  dB o  $-6$  dB).

### 2.3 Parámetros de la zona de prueba del servicio fijo

- Límites de la longitud, límites de la latitud.
- Modelo de pérdidas atmosféricas (selección a partir de un menú que relaciona las pérdidas atmosféricas que han de aplicarse con la potencia de la interferencia, sobre la base del ángulo de llegada y la región geoclimática; son cero si no hay ninguna).
- Modelo de refracción (selección a partir de un menú de modelos que relaciona los ángulos de refracción máxima, la latitud y la región geoclimática; es cero si no hay ninguno).
- Modelo de desvanecimiento debido a la lluvia, si es aplicable, es decir, si ha de aplicarse el desvanecimiento debido a la lluvia a la potencia de interferencia (selección a partir de un menú de niveles de desvanecimiento debido a la lluvia que han de aplicarse, ángulo de llegada y dependencias con el ángulo respecto al eje y la región geoclimática; cero si no hay ninguno).

(Se requieren nuevos estudios para generar menús adecuados de los modelos anteriores del fenómeno de ángulo de llegada reducido, sobre la base de las Recomendaciones UIT-R, teniendo presente que, en general, estos fenómenos afectan únicamente de forma sustancial a los casos casi más desfavorables de exposición y que el significado de estos casos de exposición se reduce por el enfoque probabilístico.)

### 2.4 Parámetros de la estación del servicio fijo

- Ángulo de evitación de la órbita (cero si no hay ninguno).
- Número de rutas en la zona víctima:
  - Número máximo y mínimo de saltos por ruta: número total resultante de estaciones ( $\Sigma_{todas\ las\ rutas}$  (número de estaciones por ruta)); debe ser tan grande como permitan la memoria del computador y las limitaciones de velocidad.
  - Longitudes mínima y máxima del salto (no son necesarias para el análisis de una sola estación).
  - Variación máxima del acimut respecto a la línea de tendencia de la ruta (no es necesario para el análisis de una sola estación).
- Parámetros de la estación; los distintos tipos de estación requieren cálculos separados. En un cálculo, son comunes a todas las estaciones los parámetros indicados a continuación:
  - Ganancia y diagrama de la antena (a partir de una lista incorporada (incluyendo opciones tales como la discriminación lineal/circular y la estructura del lóbulo lateral); debe haber la posibilidad de introducir en la lista otras antenas.
  - Pérdidas del alimentador.
  - Factor de ruido.
  - Función cuantificada de la distribución del ángulo de elevación ( $e_{i-1}$  a  $e_i$ , probabilidad). Se supone un máximo de 100 pares de gamas de ángulo de elevación y probabilidad de valores de aparición para cada distribución ( $i = 1$  a  $I_{elev\_m\acute{a}x}$ ), observando que los distintos tipos de estación tendrán probablemente estadísticas diferentes de ángulos de elevación (se suelen utilizar antenas grandes cuando se requiere una gran ganancia para compensar las pérdidas elevadas de las longitudes de trayecto largas, y esas longitudes largas implican ángulos de elevación reducidos). La distribución del ángulo de elevación debe ser simétrica respecto a los ángulos de elevación cero.

### 3 Proceso de selección de parámetros

Se establece una lista ponderada de cien valores (correspondencia con los valores porcentuales) para la distribución del ángulo de elevación. Un puntero aleatorio con distribución uniforme selecciona el ángulo de elevación de cada estación.

(El símbolo « $\Rightarrow < \mathbf{1} >$ » indica el inicio del bucle 1; « $RAND_x$ »= número aleatorio distribuido uniformemente entre 0 y 1.)

$\Rightarrow < \mathbf{1} >$  se eligen los puntos de inicio de la ruta y las líneas de tendencia (aleatorización de los parámetros):

- $latitud = latitud(mín) + RAND1 * (latitud(máx) - latitud(mín));$
- $longitud = longitud(mín) + RAND2 * (longitud(máx) - longitud(mín));$
- $trend\_line\_azimuth = RAND3 * 360$  si sólo hay una dirección de transmisión =  $90 + RAND3 * 180$  si ambos sentidos de la transmisión están sometidos a la interferencia de satélite procedente del mismo servicio por satélite; la ruta de dirección «go» (línea de tendencia de acimut  $90^\circ$  hasta  $180^\circ$  y  $270^\circ$ ) se invierte para el sentido «return» de transmisión ( $270^\circ$  hasta  $0^\circ$  y  $90^\circ$ ) y la mayor de las dos degradaciones determina la calidad de la ruta;
- $número\ de\ saltos = salto(mín) + RAND4 * (salto(máx) - salto(mín)).$

(Únicamente para el análisis de una sola estación (es decir, número mínimo de saltos = número máximo de saltos = 1), el acimut de la línea de tendencia es el acimut de la estación y se supone que ésta es un receptor.)

Se seleccionan los emplazamientos de estación:

- El primer emplazamiento de estación es el mismo que el punto de inicio de la ruta; se supone que la primera estación es una estación transmisora en este contexto, a menos que sólo haya una estación en la ruta.

$\Rightarrow < \mathbf{2} >$  para la segunda y las siguientes estaciones en ruta:

- $acimut = trend\_line\_azimuth + (2 * RAND5 - 1) * max\ hop\_azimuth\_variation;$
- $ángulo\ de\ elevación = valor\ medio\ de\ la\ gama\ que\ señala\ «Nearest\_integer\{100 * RAND6\}»$

Verificar si se aplica la evitación de la órbita (véase que las estaciones con ángulos de elevación por encima de cero pueden interceptar la órbita por encima del horizonte). Si se aplica la evitación y la dirección del haz principal está dentro del ángulo de evitación, se rechaza la estación y se va a  $< \mathbf{2} >$ ;

- $longitud\ del\ salto = longitud\ del\ salto(mín) + RAND7 * (longitud\ del\ salto(máx) - longitud\ del\ salto(mín));$

- se determina la latitud y la longitud de la estación.

Si la estación se encuentra fuera de la zona de prueba, se rechaza el emplazamiento de la estación. Se va a  $< \mathbf{2} >$ .

Se repite para todos los saltos de la ruta. Se va a  $< \mathbf{2} >$ .

Se repite en todas las rutas de la zona especificada. Se va a  $< \mathbf{1} >$ ; véase que si hay que evaluar la interferencia en ambos sentidos de la transmisión, el sentido «return» de la ruta tiene la lista inversa de los emplazamientos de estaciones. Acimut complementarios y complementos de ángulos de elevación respecto a los parámetros de la ruta del sentido «go».

Se almacena el conjunto de parámetros de la estación del servicio fijo  $\{\{FS\}\} = \{\{\text{tipo (ganancia y diagrama de antena, factor de ruido, pérdidas de alimentador), número de ruta, emplazamiento de la estación (latitud, longitud), acimut, ángulo de elevación}\}\}$ .

Para satélites con igual separación, la longitud de referencia de la constelación se expresa en relación con la longitud media de la zona de prueba « $long_{mid}$ ». Se generan los emplazamientos de satélites.

- $longitud\ del\ satélite\ long_m = long_{mid} + m * (360/number\_of\_satellites),$   
 $m = 0\ a\ (number\_of\_satellites - 1)$

Para satélites situados aleatoriamente:

- $longitud\ del\ satélite\ long_m = longitud\ del\ arco\ mín + RAND8 * (longitud\ del\ arco\ máx - longitud\ del\ arco\ mín)$

⇒ <3> Para cada ruta

⇒ <4> Para cada estación de la ruta

⇒ <5> Para cada satélite de la constelación.

- se calcula el ángulo nominal de llegada al satélite, se calculan los ángulos de llegada con excursiones máxima y mínima de la inclinación de la órbita, dejando margen para la refracción;
- si cualquiera de estos ángulos de llegada es más negativo que el ángulo de refracción se utiliza el marcador «ignore» para cálculos futuros. Si todos estos ángulos de llegada son más negativos que el ángulo de refracción, se va a >5> para seleccionar el siguiente satélite, y además
- se calculan los ángulos respecto al eje, las ganancias de antena, el máximo de los tres valores  $I/N|_{single\ entry}$  {relaciones de potencia}, teniendo en cuenta la atenuación atmosférica (función del ángulo de llegada) y el desvanecimiento debido a la lluvia (función del ángulo respecto al eje y del ángulo de llegada), si procede.

Se va a <5>, siguiente satélite

- se calcula  $I/N|_{aggregate} = \sum_{all\ satellites} (I/N|_{single\ entry}), I/N|_{station} = 10 \log(I/N|_{aggregate})$  (dB)  
NOTA 1 – El Apéndice 2 de este Anexo describe con más detalle la obtención de  $I/N|_{aggregate}$ .

Se va a <4>, siguiente estación en la ruta

- se calcula la  $DFC_{ruta} = \sum_{all\ stations} (I/N|_{aggregate})/n$  .....sumatorio para todas las  $n$  estaciones en la ruta.

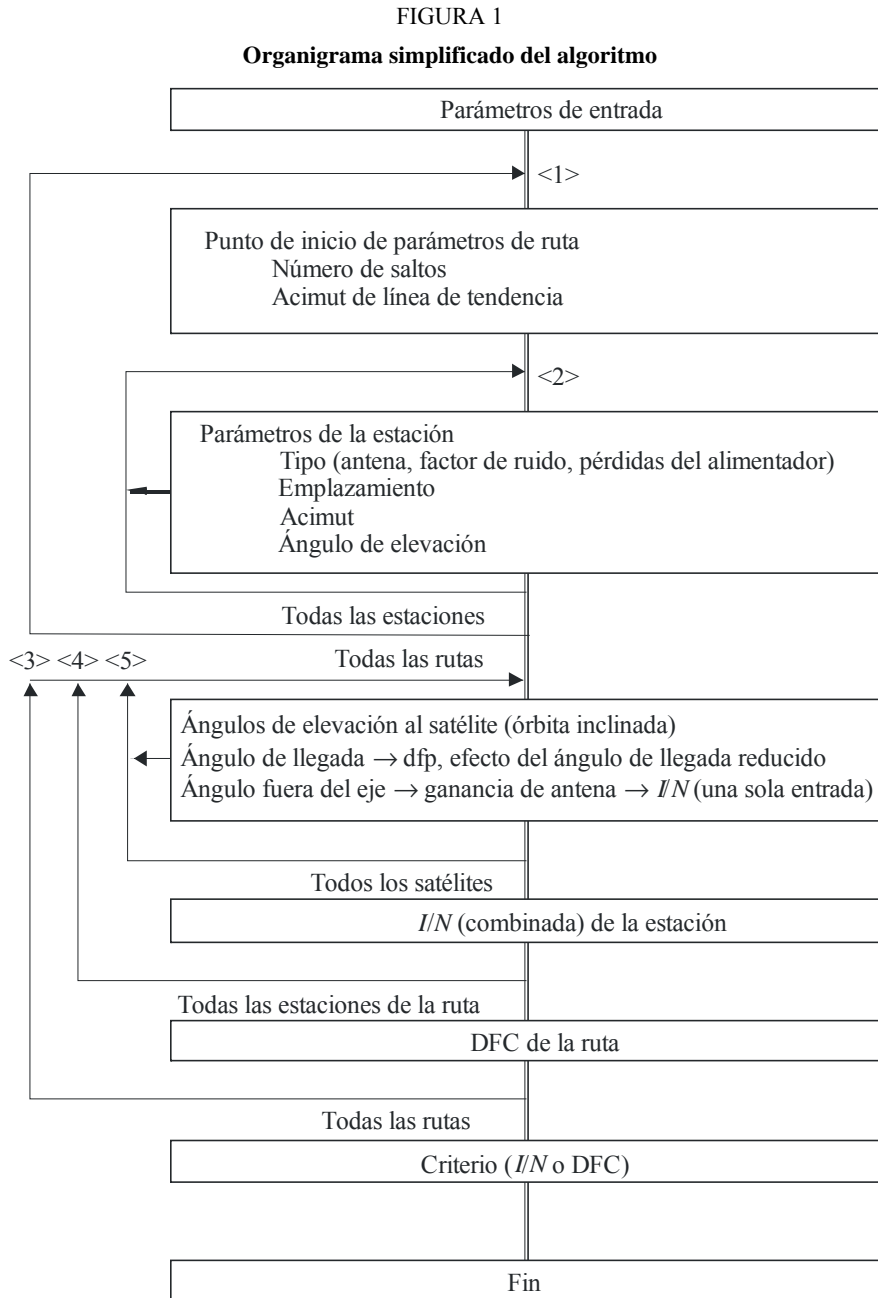
Se va a <3>, siguiente ruta

- se genera la función de distribución de probabilidad (fdp) de los valores  $I/N|_{aggregate}$  de la estación creando una lista ordenada de valores, de mayor a menor, numerando la lista de anotaciones, es decir,  $(j, I/N|_j; j = 1\ a\ J)$  y entonces  $\{100*j/J\}$  es el percentilo correspondiente al valor de  $I/N|_j$  en el que todas las estaciones siguientes tienen una calidad mejor (peor) que  $I/N|_j$  Se genera la fdp de la DFC de la ruta de forma similar;
- se determina a partir de las fdp,
  - el porcentaje de estaciones o de rutas, según el caso, con el criterio de calidad asociado («%stations\_at\_I/N\_criterion» y «%routes\_at\_FDP\_criterion»); y
  - el valor de la  $I/N$  o la DFC según el caso, con el porcentaje definido de estaciones o rutas, respectivamente («I/N\_at\_P\_station» y «FDP\_at\_P\_route»);

- resultado de las funciones de distribuciones de probabilidad de la  $I/N$  de la estación y la DFC de la ruta: {valor  $I/N$ , probabilidad de que se rebase  $I/N$ }: {valor de DFC, probabilidad de que se rebase la DFC} para presentación en forma de gráfico. Resultado de los valores obtenidos: «%stations\_at\_  $I/N$ criteron, %routes\_at\_ FDPcriteron,  $I/N$ \_at\_ P<sub>station</sub> y FDP\_at\_ P<sub>route</sub>».

**4 Comentarios**

La Fig. 1 muestra un organigrama del proceso mencionado.



El criterio de « $I/N_{at\_P_{station}}$ » indica la cuantía que debe reducirse el contorno de la dfp. Por ejemplo, suponiendo que ha de mantenerse la transición del nivel original de la dfp con ángulo bajo de llegada al nivel de dfp con ángulo elevado de llegada, si la calidad aceptable es que el 90% de las estaciones tengan una  $I/N$  inferior o igual a  $-10$  dB, y si el criterio « $I/N_{at\_P_{station}}$ » (dB) rebasa este valor, el contorno de la dfp debe reducirse en la diferencia  $\{\langle I/N_{at\_P_{station}} \rangle - (-10)\}$  para cumplir el criterio. De forma similar, si la calidad aceptable es que el 90% de las rutas tengan una DFC inferior o igual al 25% y si el criterio de « $FDP_{at\_P_{route}}$ » (%) rebasa este valor, el contorno de la dfp debe reducirse en la diferencia  $\{10 \log(\langle FDP_{at\_P_{route}}/100 \rangle) - 10 \log(0,25)\}$  para cumplir el criterio.

Un diagrama de dispersión de los valores calculados en la  $I/N$  en función del ángulo de llegada permitirá desarrollar, si se desea, una transición diferente.

Debe introducirse de forma bastante directa un banco de datos real de estaciones receptoras y/o constelaciones de satélite conocidas del servicio fijo, en lugar de un conjunto aleatorio de estaciones y la constelación uniforme, para obtener una imagen real, si se desea. Evidentemente, la posibilidad de estas opciones deberá incorporarse en las rutinas de entrada de datos.

## Apéndice 2 al Anexo 1

### Obtención de la $I/N_{combinada}$ para cada uno de los receptores del servicio fijo

La metodología se basa en el algoritmo siguiente:

- se considera una separación determinada entre los satélites geoestacionarios,  $Long_{ref} = 360/nb\_sat$ ;
- se considera un contorno de dfp aplicable a cada satélite geoestacionario;
- se considera una latitud y una longitud del sistema del servicio fijo determinadas:
  - para cada acimut de puntería del servicio fijo (varía entre  $0^\circ$  y  $360^\circ$ )
  - para cada longitud relativa de constelación de satélites ( $\Delta long$  que varía de  $0^\circ$  a  $Long_{ref}$ );
- se calcula la interferencia combinada a la entrada de receptor del servicio fijo procedente de todos los satélites geoestacionarios visibles;
- se calcula la  $I/N$  resultante en el receptor del servicio fijo.

$$\frac{I}{N}(acimut, \Delta long) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{vis} \left( pfd_i(\Delta long) + G(\theta_i(acimut, \Delta long)) + 10 \log \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) - FL \right)$$

donde:

- $\frac{I}{N}(acimut, \Delta long)$ :  $I/N$  combinada resultante de todos los satélites geoestacionarios visibles en el receptor del servicio fijo, siendo,  $\Delta long$  la longitud relativa de la constelación del satélite y  $acimut$  el acimut de puntería de la antena de la estación del servicio fijo
- $pdf_i(\Delta long)$ : dfp en la estación del servicio fijo procedente del satélite geoestacionario visible  $i$
- $\theta_i(acimut, \Delta long)$ : ángulo fuera del eje entre la dirección de puntería de la antena del servicio fijo y la dirección en la que se ve el satélite  $i$ -ésimo desde la estación del servicio fijo (en el caso de estaciones centrales de sistemas P-MP,  $\theta_i(acimut, \Delta long)$  debe sustituirse por  $elev_i(\Delta long)$  que es la diferencia entre la elevación de puntería de la antena del servicio fijo y la elevación con la que se ve el satélite  $i$ -ésimo). Cuando las estaciones del servicio fijo direccionales tienen ángulo de elevación distinto de cero, el ángulo fuera del eje se modifica en consecuencia
- $G(\theta)$ : ganancia de la antena del servicio fijo para el ángulo  $\theta$  con respecto al eje
- $\lambda$ : longitud de onda
- $FL$ : pérdidas del alimentador del servicio fijo
- $vis$ : número de satélites visibles desde la estación del servicio fijo
- $N$ : ruido térmico del receptor del servicio fijo.

Esto permite determinar un cuadro de valores de la  $I/N$  (o de la DFC) en la estación de receptor del servicio fijo, en función del acimut del apuntamiento de la estación del servicio fijo y de la longitud relativa de la constelación del satélite y de ahí, una fdp de la  $I/N$  o la  $DFC_{salto}$  de la estación del servicio fijo o la  $DFC_{ruta}$  de la ruta (todas las rutas situadas dentro de una zona de prueba determinada) para un contorno de dfp y una separación de satélites geoestacionarios determinados.

---