

# UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

**Recomendación UIT-R S.2029**  
(12/2012)

**Método estadístico para evaluar la interferencia variable en el tiempo causada por una red de estaciones terrenas del servicio fijo por satélite que funciona en la órbita de satélites geoestacionarios con esquemas AMDT-MF a redes de satélites geoestacionarios del servicio fijo por satélite**

**Serie S**  
**Servicio fijo por satélite**



## 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>	Servicio fijo
<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>	Radioastronomía
<b>RS</b>	Sistemas de detección a distancia
<b>S</b>	<b>Servicio fijo por satélite</b>
<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, 2014

© UIT 2014

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 S.2029

**Método estadístico para evaluar la interferencia variable en el tiempo causada por una red de estaciones terrenas del servicio fijo por satélite que funciona en la órbita de satélites geoestacionarios con esquemas AMDT-MF a redes de satélites geoestacionarios del servicio fijo por satélite**

(Cuestión UIT-R 208/4)

(2012)

**Cometido**

La presente Recomendación describe un método estadístico para evaluar la interferencia variable en el tiempo causada por una red de estaciones terrenas del servicio fijo por satélite que funciona en la órbita de satélites geoestacionarios con esquemas AMDT-MF (acceso múltiple por división en el tiempo multifrecuencia) a una red de satélites geoestacionarios del servicio fijo por satélite. Este método tiene en cuenta la interferencia que podría causar a otra red OSG del SFS. Por otra parte, el método aquí descrito puede utilizarse para ajustar los niveles de potencia de los terminales interferentes de forma que no resulten afectados los objetivos de calidad de funcionamiento de la red de satélites interferida.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que los satélites OSG del SFS son adecuados para ofrecer aplicaciones de comunicaciones de banda ancha, en especial Internet y servicios de datos;
- b) que las redes de satélites utilizan diversas topologías de red y numerosos esquemas de acceso, incluido el esquema de acceso múltiple por división en el tiempo multifrecuencia (AMDT-MF);
- c) que mediante la utilización de técnicas eficaces de modulación y codificación, de niveles de p.i.r.e. de satélite superiores y de otras técnicas, ciertas redes pueden admitir una conectividad en malla completa (punto a punto) con terminales de pequeña apertura;
- d) que es necesario proteger las redes del SFS contra cualquier posible interferencia procedente de estos terminales;
- e) que convendría disponer de métodos para evaluar la interferencia variable en el tiempo causada por una red OSG del SFS a otra red OSG del SFS;
- f) que sería de utilidad contar con métodos para evaluar los niveles de interferencia causados a redes de satélites por estaciones terrenas que funcionan con esquemas AMDT-MF;
- g) que muchas características técnicas de estas redes que afectan la calidad de funcionamiento y la utilización de la órbita y el espectro son variables en el tiempo y se pueden modelar mejor mediante procesos estocásticos,

*observando*

- a) que en la Recomendación UIT-R S.1323 se enumeran los máximos niveles de interferencia admisibles entre redes causada por redes OSG a redes OSG del SFS que funcionan en la misma banda de frecuencias;

- b) que en la Recomendación UIT-R S.1323 se presentan los máximos niveles de interferencia admisibles entre redes y los métodos para determinar esa interferencia, causada por sistemas no OSG y redes OSG del SFS que funcionan en la misma banda de frecuencias;
- c) que la interferencia no variable en el tiempo se calcula por lo general utilizando el método  $\Delta T/T$  descrito en la Recomendación UIT-R S.738;
- d) que en la Recomendación UIT-R S.1857 se describen metodologías para determinar los niveles de densidad de p.i.r.e. fuera del eje y evaluar la interferencia variable en el tiempo dirigida hacia los satélites adyacentes resultante de errores de puntería de estaciones terrenas en vehículos,

*recomienda*

- 1 que se utilice el método descrito en el Anexo para evaluar la interferencia variable en el tiempo debida a las numerosas estaciones terrenas que funcionan con un esquema AMDT-MF;
- 2 que se utilice el método descrito para determinar los niveles de emisión fuera del eje de las estaciones terrenas interferentes de forma que estos cumplan los objetivos de calidad de funcionamiento de la red de satélites interferida;
- 3 que se utilice el método descrito de forma que el tipo de redes AMDT-MF descrito en la presente Recomendación no cause interferencia a otras redes del SFS que funcionan en la misma banda de frecuencias por encima del nivel aceptado por las administraciones;
- 4 que las Notas siguientes se consideren parte de la presente Recomendación.

NOTA 1 – El método descrito en el Anexo presenta un enfoque estadístico para evaluar la posible repercusión de la interferencia causada por una red AMDT-MF a una red OSG del SFS vecina en la misma frecuencia.

NOTA 2 – Los parámetros y ejemplos proporcionados en el Anexo representan un sistema hipotético que funciona en la banda de frecuencias 20-30 GHz. Sin embargo, el método puede utilizarse en otras bandas de frecuencias una vez modificados adecuadamente ciertos parámetros.

NOTA 3 – El método indicado en la presente Recomendación no se aplica a redes que funcionan con esquemas de acceso múltiple por división en el tiempo (AMDT).

NOTA 4 – Para verificar que el modelo matemático descrito en el método representa verdaderamente las características variables en el tiempo de una red AMDT-MF, puede resultar de utilidad obtener las características estadísticas de redes operativas.

NOTA 5 – La distribución de la interferencia a corto plazo para redes OSG del SFS que funcionan con un esquema AMDT-MF considerada en la presente Recomendación puede ser mutuamente convenida a través del proceso de coordinación.

NOTA 6 – El margen de tiempo y los criterios de interferencia a corto plazo para redes OSG del SFS podría ser objeto de nuevos estudios.

## Anexo

### **Método estadístico para evaluar la interferencia variable en el tiempo causada por una red de estaciones terrenas del servicio fijo por satélite que funciona en la órbita de satélites geoestacionarios con esquemas AMDT-MF a redes de satélites geoestacionarios del servicio fijo por satélite**

#### **1 Introducción**

En los últimos años, la demanda de servicios Internet bidireccionales por satélite ha aumentado notablemente. Estos servicios, especialmente para usuarios residenciales y pequeñas empresas, se proporcionan por medio de terminales de satélite de pequeña apertura. Por lo general, una red de satélites puede constar de un gran número de terminales de pequeña apertura desplegados en una amplia zona geográfica. Según la ubicación en la huella del satélite, las condiciones meteorológicas variables y la velocidad de datos del usuario, estos terminales pueden funcionar en varios tamaños de apertura y necesitar niveles de potencia de transmisión diferentes. Para utilizar con eficacia los recursos de red, esas redes pueden aplicar métodos de acceso múltiple por división en el tiempo y por división de frecuencia. Una característica particular de los terminales de pequeña apertura es que tienen haces de antena de gran anchura y, por tanto, pueden causar una interferencia del enlace ascendente a los satélites adyacentes, si los niveles de potencia de transmisión no se ajustan correctamente. Por otra parte, algunos pequeños terminales instalados en aviones, barcos, trenes o vehículos en tierra, así como los terminales estacionarios, pueden producir errores de puntería de la antena dando lugar a una posible interferencia que debe atenuarse. Estos efectos combinados contribuyen a configurar un modelo de interferencia variable en el tiempo causada por la red de terminales a un receptor víctima en otra red de satélites.

En este Anexo se presenta un enfoque estadístico para determinar la interferencia causada a una red OSG por otra red OSG formada por numerosos terminales que funcionan con un esquema de acceso múltiple por división en el tiempo y errores de puntería de la antena. En el Anexo se examina un criterio de interferencia a largo plazo y criterios para cumplir los objetivos de calidad de funcionamiento a corto plazo, se facilitan algunos ejemplos que ilustran las repercusiones en la red de satélites vecina y se presenta un enfoque por etapas sobre la forma de calcular la interferencia resultante. El método presentado puede servir para determinar los niveles de emisión fuera del eje de los terminales interferentes de forma que estos cumplan los objetivos de calidad de funcionamiento a corto y largo plazo del sistema de satélites víctima.

#### **2 Componentes de la interferencia a largo y corto plazo**

La señal de interferencia en el receptor víctima consta de señales que pertenecen a un gran número de terminales transmisores de una red interferente que funciona aplicando un protocolo de acceso múltiple por división en el tiempo. Los terminales pueden utilizar aperturas de antena de tamaños diferentes y transmitir a diferentes niveles de potencia en función de su ubicación en la huella del haz del satélite. Además, estos terminales pueden tener pequeños errores de puntería de la antena. Por consiguiente, cuando el intervalo de observación es suficientemente grande para contener transmisiones desde varios terminales interferentes, el nivel de interferencia en el receptor víctima es variable en el tiempo.

En esos casos, para fines ilustrativos, la señal de interferencia en el receptor víctima,  $I_{tot}$ , puede ser expresada como la suma de un componente de la interferencia a largo plazo,  $I_{long}$ , y un componente de la interferencia a corto plazo,  $I_{short}$ , de forma que  $I_{tot} = I_{long} + I_{short}$ . El componente de la interferencia a largo plazo es constante en intervalos de tiempo cortos pero puede presentar



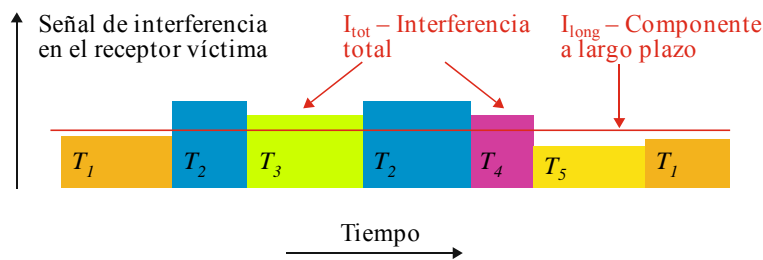
pequeñas variaciones cuando se observa en intervalos de tiempo largos (del orden de varios minutos). Esas variaciones de naturaleza estadística son el resultado de las características de cambio lento de las señales de transmisión. Por otro lado, el componente de la interferencia a corto plazo se debe a las transmisiones desde diferentes tipos de terminales y puede variar en intervalos de tiempo muy cortos, por ejemplo en fracciones de segundo. Hay que tener en cuenta que estos componentes de la interferencia a corto y largo plazo se utilizan únicamente con fines ilustrativos; el análisis de la interferencia se lleva a cabo para la interferencia total.

En la Fig. 1 se observan los niveles de interferencia en el receptor víctima debida a transmisiones desde los terminales  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$  y  $T_5$ . En general, como se muestra en esta Figura, los niveles de interferencia y las duraciones de transmisión dependen del terminal particular. El componente a largo plazo indicado representa el nivel medio de la interferencia y el componente de la interferencia a corto plazo está dado por la diferencia entre la interferencia total y ese componente de la interferencia a largo plazo.

Con miras a cuantificar y limitar los efectos de la interferencia, en el presente Anexo se indican métodos para evaluar y limitar la interferencia a largo plazo, la interferencia a corto plazo y la interferencia total. Concretamente, se indican la interferencia a largo plazo y los criterios para cumplir los objetivos de calidad de funcionamiento a corto plazo con objeto de limitar los efectos de la interferencia en el receptor víctima.

FIGURA 1

**Interferencia observada en el receptor víctima debida a transmisiones de acceso múltiple con división en el tiempo desde terminales  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$  y  $T_5$**



S.2029-01

### 3 Criterio de interferencia a largo plazo

Por lo general, en la evaluación de la interferencia no variable en el tiempo se aplica el método  $\Delta T/T$ , por ejemplo, el descrito en la Recomendación UIT-R S.738. Para utilizar un enfoque similar, se considera una situación hipotética: cuando el nivel de interferencia en el receptor víctima no es variable en el tiempo, es decir, los niveles de densidad de p.i.r.e. en los terminales se ajustan de forma que el nivel de interferencia observado en el receptor víctima viene dado por el nivel de interferencia a largo plazo,  $I_{long}$ . Además, en este caso los terminales no producen errores de puntería de la antena. El criterio de interferencia a largo plazo en este caso se expresa en términos de relación  $\Delta T/T$ , o sea:

$$\left(\frac{\Delta T}{T}\right)_{long} = \frac{\tilde{I}_{long} / k}{\Theta_v + \gamma_v \Theta_v^s} \quad (1)$$

donde  $\tilde{I}_{long}$  se define como la densidad espectral de potencia de la interferencia conjunta promediada calculada en un ancho de banda de  $W_{long}$ ;  $k$  es la constante de Boltzmann,  $\Theta_v$ , la temperatura de ruido del receptor víctima respecto a la salida de su antena;  $\Theta_v^s$ , la temperatura de ruido en el receptor del satélite víctima respecto a la salida de su antena y  $\gamma_v$ , la ganancia de

transmisión desde la salida de la antena del satélite víctima hasta la salida de la antena del receptor víctima.

Evidentemente, cuando la potencia conjunta promediada de la interferencia es una constante, la relación potencia de la interferencia/ruido considerada en este caso hipotético no es variable en el tiempo.

Sin embargo, en la práctica, se dispone por lo general del valor medio en el tiempo del componente de la interferencia a largo plazo en lugar del valor conjunto promediado. Ese valor medio puede presentar pequeñas variaciones cuando se calcula en intervalos de tiempo diferentes. Dicho valor,  $\bar{I}_{long}$ , cuando se calcula en el intervalo de duración a largo plazo  $T_{long}$  puede presentar variaciones puesto que la interferencia subyacente es un proceso estadístico. Asimismo, las características estadísticas de los terminales pueden cambiar durante ese intervalo de tiempo y dar lugar a pequeñas variaciones con respecto al valor medio. Estas variaciones pueden limitarse mediante la imposición de restricciones a la función de distribución acumulativa (CDF) de la variable  $(\Delta T/T)_{long}$  del modo siguiente:

$$\Pr \left\{ \left( \frac{\Delta T}{T} \right)_{long} > X\% \right\} < p_{long} \% \quad (2)$$

donde  $X$ ,  $p_{long}$  y  $T_{long}$  son parámetros del sistema.

A título ilustrativo, la Recomendación UIT-R S.523-4 establece un intervalo promedio de 10 min para calcular la interferencia causada en sistemas de telefonía con codificación MIC. Además, el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R S.1432-1 enumera los niveles máximos de la relación interferencia/ruido (I/N) que se podrían exceder en cualquier mes:  $(I/N) > 0$  dB durante el 0,005% de cualquier mes;  $(I/N) > -2,4$  dB durante el 0,03% de cualquier mes;  $(I/N) > -10$  dB durante el 20% de cualquier mes e  $(I/N) > -12$  dB durante el 100% de cualquier mes.

#### 4 Criterios para cumplir los objetivos de calidad de funcionamiento a corto plazo

En la sección anterior, se impusieron límites a la interferencia a largo plazo. En esta sección, se presenta un criterio para limitar la interferencia total de forma que cumpla los objetivos de calidad de funcionamiento a corto plazo del receptor víctima. La interferencia total puede tener variaciones de unos pocos milisegundos. Según la Recomendación UIT-R S.1323-2, los enlaces víctima deberían contener suficientes márgenes de enlace para tener en cuenta las degradaciones debidas a los efectos combinados de la propagación y la interferencia variable en el tiempo. Las degradaciones debidas a los efectos de la propagación no deben representar más del 90% del tiempo atribuido en los objetivos de calidad de funcionamiento a corto plazo. Además, esa Recomendación establece que la interferencia variable en el tiempo «sea responsable como máximo del 10% del margen de tiempo para la BER (o valor de la relación  $C/N$ ) especificada en los objetivos de calidad de funcionamiento a corto plazo de la red deseada y correspondiente al porcentaje de tiempo más corto (valor de  $C/N$  más bajo)». En este Anexo, se presenta un criterio similar al anterior con miras a obtener un límite aceptable para la interferencia a corto plazo.

Los objetivos de calidad de funcionamiento a corto plazo suelen expresarse en términos de niveles relativos a la tasa de errores en los bits (BER) o a la relación portadora/ruido ( $C/N$ ) que podrían no ser degradados durante un determinado periodo de tiempo. Por ejemplo, para una relación  $C/N$  dada y pares de porcentaje de tiempo,  $((C/N)_j, p_j\%), j = 1, 2, \dots, J$ , la relación  $C/N$  podría ser inferior a  $(C/N)_j$  sólo durante el  $p_j\%$  de tiempo de cualquier mes. De la misma forma que en el *considerando* o) de la Recomendación UIT-R S.1323-2, se considera que los efectos de la propagación dan lugar a la degradación del enlace durante, como máximo,  $(1 - p_{short}/100) \times p_j\%, j = 1, 2, \dots, J$ , de tiempo de cualquier mes, donde  $p_{short}$  representa la fracción del margen de tiempo especificado en el objetivo

de calidad de funcionamiento a corto plazo atribuido a la interferencia a corto plazo (por ejemplo,  $p_{short} = 10$ ). Teniendo en cuenta que en la sección anterior se impusieron límites a la interferencia a largo plazo, los criterios propuestos para limitar la interferencia a corto plazo y cumplir los objetivos de calidad de funcionamiento a corto plazo se expresan del modo siguiente:

- a) En presencia de los efectos de la propagación y la interferencia a largo plazo, la relación  $C/N$  no debería ser inferior a  $(C/N)_j$  durante más del  $(1 - p_{short}/100) \times p_j\%$ ,  $j = 1, 2, \dots, J$ , (por ejemplo,  $p_{short} = 10$ ) de tiempo de cualquier mes.
- b) En presencia de la interferencia a corto plazo, la relación  $C/N$  no debería ser inferior a  $(C/N)_j$  durante más del  $(p_{short}/100) \times p_j\%$  de tiempo de cualquier mes, donde  $j$  corresponde al valor  $(C/N)_j$  más pequeño.
- c) En presencia de los efectos de la propagación y la interferencia total, la relación  $C/N$  no debería ser inferior a  $(C/N)_j$  durante más del  $p_j\%$ ,  $j = 1, 2, \dots, J$ , de tiempo de cualquier mes.

Conviene recordar que, para ajustarse a las condiciones anteriores, el enlace víctima debe contener un margen de enlace suficiente para cumplir la condición a) y el nivel de densidad de p.i.r.e. de la fuente interferente debe limitarse a cumplir las condiciones b) y c). Hay que recordar además que, según la condición c), el efecto combinado de la degradación de la propagación y la interferencia total es tal que la relación  $C/N$  cumple aún el objetivo de calidad de funcionamiento a corto plazo.

#### 4.1 Cómo expresar las relaciones $C/N$

La relación  $C/N$  en condiciones de cielo despejado, considerando el componente de la interferencia a largo plazo, puede expresarse como:

$$(C/N)_{CS} = \frac{C_{CS}}{N_{CS} + I_{long}}$$

donde  $C_{cs}$  es la potencia de la portadora en condiciones de cielo despejado;  $N_{cs}$ , la potencia de ruido en el receptor víctima en condiciones de cielo despejado y  $I_{long}$ , el componente de la potencia de la interferencia a largo plazo en condiciones de cielo despejado.

A continuación se considera la relación  $C/N$  en condiciones de desvanecimiento causado por la lluvia. Los factores de atenuación debida a la lluvia en el enlace ascendente y el enlace descendente de la señal víctima son indicados por  $A_{\uparrow}$  y  $A_{\downarrow}$ , respectivamente. La potencia de la portadora en el receptor víctima en esas condiciones será atenuada por el factor  $F(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})$  y es indicada por  $C_{cs}F(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})$ . La potencia de ruido en el receptor es indicada por la función  $N(N_{cs}, A_{\downarrow})$ . Esta función incluye el ruido celeste debido a la lluvia y los componentes de ruido del satélite deseado y los satélites adyacentes. Obsérvese que los factores de atenuación debida a la lluvia en el enlace descendente de los satélites adyacentes pueden no ser los mismos que  $A_{\downarrow}$ . En esos casos, esta función de ruido debería tener en cuenta esos diferentes factores de atenuación debida a la lluvia. En condiciones de desvanecimiento causado por la lluvia, el componente de la interferencia a largo plazo está indicado por  $I(I_{long}, A_{\downarrow}, A_{\uparrow, i})$ , donde  $A_{\uparrow, i}$  es el factor de atenuación debida a la lluvia del enlace ascendente desde el terminal interferente hasta el satélite deseado. Cabe destacar que cuando los factores de atenuación debida a la lluvia del enlace ascendente no son los mismos para los diferentes terminales interferentes, habría que considerar en esta expresión esos factores de atenuación debida a la lluvia diferentes. Por otra parte, cuando los componentes de la atenuación debida a la lluvia del enlace descendente de los satélites adyacentes y el satélite deseado no son los mismos, habría que tener en cuenta los diferentes factores de atenuación debida a la lluvia del enlace descendente de los satélites adyacentes. Al combinarlos, la relación  $C/N$  en condiciones de desvanecimiento causado por la lluvia y el componente de la interferencia a largo plazo se expresa de la forma siguiente:



$$(C/N)_s = \frac{C_{CS} F(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})}{N(N_{CS}, A_{\downarrow}) + I(I_{long}, A_{\downarrow}, A_{\uparrow, j})} \quad (3)$$

Por último, se considera la atenuación debida a la lluvia en presencia de la interferencia total,  $I_{tot}$ . La relación  $C/N$  puede expresarse como:

$$(C/N)_t = \frac{C_{CS} F(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})}{N(N_{CS}, A_{\downarrow}) + I(I_{tot}, A_{\downarrow}, A_{\uparrow, j})} \quad (4)$$

donde  $I(I_{tot}, A_{\downarrow}, A_{\uparrow, j})$  es la interferencia total en presencia de lluvia.

#### 4.2 Cómo expresar el criterio objetivo de calidad de funcionamiento a corto plazo

En esta subsección, los criterios para cumplir los objetivos de calidad de funcionamiento a corto plazo indicados en el § 4 se expresan en función de las degradaciones de la relación  $C/N$ . El criterio a) indicado *supra* puede expresarse como:

$$\Pr\{(C/N)_s < (C/N)_j\} \leq (1 - p_{short}/100) \times p_j \%, \quad j = 1, 2, \dots, J$$

A efectos de análisis, es conveniente considerar la degradación de la relación  $C/N$  ratio con respecto a sus valores de cielo despejado. Las degradaciones en presencia del componente de la interferencia a largo plazo y la interferencia total están indicadas como  $Z_s = \frac{(C/N)_{cs}}{(C/N)_s}$  y  $Z_t = \frac{(C/N)_{cs}}{(C/N)_t}$ , respectivamente. Además, se definen las variables  $Z_j = \frac{(C/N)_{cs}}{(C/N)_j}$ ,  $j = 1, 2, \dots, J$ . La ecuación anterior puede expresarse entonces en la forma equivalente siguiente:

$$\Pr\{Z_s > Z_j\} \leq (1 - p_{short}/100) \times p_j \%, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (5)$$

Del mismo modo, el criterio c) puede expresarse como:

$$\Pr\{Z_t > Z_j\} \leq p_j \%, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (6)$$

Por último, se puede cumplir el criterio b) cuando el enlace víctima se indica de tal forma que los efectos de la propagación utilizan el tiempo máximo atribuido al nivel de la relación  $C/N$  especificado más bajo, que es indicado por  $(C/N)_{jm}$ . Por consiguiente, el criterio b) puede expresarse como:

$$\Pr\{Z_s > Z_{jm}\} = (1 - p_{short}/100) \times p_{jm} \% \quad (7)$$

### 5 Lista de parámetros y notación

Esta sección contiene una lista de parámetros y la notación adoptada en el presente Anexo.

- $\lambda_u, \lambda_d$  (m): longitudes de onda en el sentido del enlace ascendente y en el sentido del enlace descendente, respectivamente
- $\phi_r$  (grados): error de puntería de la antena en  $T_r$ : ángulo entre la dirección real y la dirección deseada del eje de puntería de la antena
- $\phi_{r,\varepsilon}, \phi_{r,a}$  (grados): error de puntería de la antena en la dirección de elevación y la dirección acimutal en  $T_r$ : diferencia entre los valores reales y deseados de los ángulos de elevación y de acimut

$\psi$ (grados):	ángulo fuera del eje en $T_i$ medido a partir de su dirección de puntería
$\psi_{r,x}, x = i, v$ (grados):	ángulo en $T_r$ entre su dirección de puntería y la dirección hacia $S_x$
$\psi_{v,i}$ (grados):	ángulo en $R_v$ entre su dirección de puntería y la dirección hacia $S_i$
$\delta_{v,x}, x = i, v$ (grados):	ángulo en la antena receptora de $S_v$ entre su dirección de puntería y la dirección hacia $T_x$
$\delta_{i,r}$ (grados):	ángulo en la antena receptora de $S_i$ entre su dirección de puntería y la dirección hacia $T_r$
$\eta_x, x = i, v$ (grados):	ángulo en la antena transmisora de $S_x$ entre su dirección de puntería y la dirección hacia $R_v$
$\gamma_x, x = i, v$ :	ganancia de transmisión del enlace descendente del satélite medida desde la salida de la antena receptora de $S_x$ hasta la salida de la antena receptora de $R_v$
$\theta_{space}$ (grados):	separación orbital entre los satélites $S_v$ a $S_i$
$\theta_r$ (K):	temperatura de ruido celeste debido a la lluvia en $R_v$ respecto a la salida de su antena receptora
$\theta_v$ (K):	temperatura de ruido del sistema en $R_v$ respecto a la salida de su antena receptora
$\theta_x^s, x = i, v$ (K):	temperatura de ruido del sistema en $S_x$ respecto a la salida de su antena receptora
$A_{\downarrow}$ :	factor de atenuación debida a la lluvia en el enlace descendente de $S_v$ a $R_v$
$A_{\uparrow}$ :	factor de atenuación debida a la lluvia en el enlace ascendente de $T_v$ a $S_v$
$A_{\uparrow,i}$ :	factor de atenuación debida a la lluvia en el enlace ascendente de $T_r$ a $S_v$
$B_x, x = r, v$ (W/Hz):	densidad de p.i.r.e. en el eje de puntería en $T_x$
$B_x^s, x = r, v$ (W/Hz):	densidad de p.i.r.e. en el eje de puntería en $S_x$
$C$ (W/Hz):	densidad espectral de potencia de la portadora en condiciones de cielo despejado a la salida de la antena receptora de $R_v$
$C_{CS}$ (W):	potencia de la portadora en condiciones de cielo despejado a la salida de la antena receptora de $R_v$
$C_i, C_v$ :	centros del haz receptor de $S_i$ y $S_v$ en la superficie de la Tierra
$(C/N)_j$ :	relación $(C/N)$ especificada en los objetivos a corto plazo. La relación $C/N$ no debería ser inferior al $P_j\%$ de tiempo
$(C/N)_{CS}$ :	relación $(C/N)$ en el receptor víctima en condiciones de cielo despejado y en presencia de la interferencia a largo plazo
$(C/N)_s$ :	relación $(C/N)$ en el receptor víctima en condiciones de desvanecimiento causado por la lluvia y en presencia de la interferencia a largo plazo
$(C/N)_t$ :	relación $(C/N)$ en el receptor víctima en condiciones de desvanecimiento causado por la lluvia y en presencia de la interferencia total
$E$ (W/Hz):	diagrama de densidad de p.i.r.e. fuera del eje en $T_r$
$EIRP(\psi)$ (W/Hz):	densidad de p.i.r.e. en la dirección fuera del eje $\psi$

$G_{t,r}$ :	ganancia de la antena transmisora normalizada en $T_r$ . ( $G_{t,r}(0) = 1$ )
$G_{r,v}$ :	ganancia de la antena receptora en $R_v$
$G_{r,i}^S, G_{r,v}^S$ :	diagramas de ganancia de la antena receptora en $S_i$ y $S_v$ , respectivamente
$G_{t,i}^S, G_{t,v}^S$ :	ganancia de la antena transmisora normalizada en $S_i$ y $S_v$ , respectivamente $(G_{t,i}^S(0) = G_{t,v}^S(0) = 1)$
$\tilde{I}_{avg}$ (W/Hz):	valor conjunto promediado de la densidad espectral de potencia de la interferencia en $R_v$ debida a todos los terminales $T_v$
$I_{long}$ (W):	potencia de la interferencia a largo plazo en $R_v$ debida a todos los terminales $T_v$
$\tilde{I}_{long}$ (W/Hz):	densidad espectral de potencia de la interferencia a largo plazo en $R_v$ debida a todos los terminales $T_v$
$I_{tot}$ (W):	potencia de la interferencia total en $R_v$ debida a todos los terminales $T_v$
$\tilde{I}_{tot}$ (W/Hz):	densidad espectral de potencia de la interferencia total en $R_v$ debida a todos los terminales $T_v$
$\tilde{I}_{tot,0}$ (W/Hz):	densidad espectral de potencia de la interferencia total en ausencia de errores de puntería de la antena en $R_v$ debida a todos los terminales $T_v$
$I_x(r), x = i, v$ (W/Hz):	densidad espectral de potencia de la interferencia en $R_v$ debida a $T_r$ y recibida a través de $S_x$
$k$ :	constante de Boltzmann. $k = 1,38065 \times 10^{-23}$ W/K/Hz
$L_d$ :	pérdidas en el trayecto del enlace descendente de $S_i$ o $S_v$ a $R_v$ . $L_d = (4\pi d_d/\lambda_d)^2$ + otras pérdidas, donde $d_d$ es la gama del enlace descendente
$L_{u,x}, x = r, v$ :	pérdidas en el trayecto del enlace ascendente de $T_x$ a $S_v$ . $L_{u,x} = (4\pi d_{u,x}/\lambda_u)^2$ + otras pérdidas, donde $d_{u,x}$ es la gama del enlace ascendente
$N_{\uparrow}$ (W/Hz):	densidad espectral de potencia de ruido en $S_v$ a la salida de la antena receptora de $R_v$
$N_{\downarrow}$ (W/Hz):	densidad espectral de potencia de ruido en $R_v$ respecto a la salida de su antena receptora
$N_{\uparrow,i}$ (W/Hz):	densidad espectral de potencia de ruido en $S_i$ a la salida de la antena receptora de $R_v$
$N_{cs}$ (W):	potencia de ruido en condiciones de cielo despejado a la salida de la antena receptora de $R_v$
$N_r$ (W/Hz):	densidad espectral de potencia de ruido celeste debida a la lluvia a la salida de la antena receptora de $R_v$
$p_X$ :	función de densidad de probabilidad (PDF) de la variable $X$
$P_X$ :	función de distribución acumulativa (CDF) de la variable $X$
$q_{\tau}(t)$ :	impulso rectangular de forma que $q_{\tau}(t) = 1$ para $t$ en $(0, \tau)$ , y cero en otras partes
$R$ :	región en la que son distribuidos los terminales interferentes

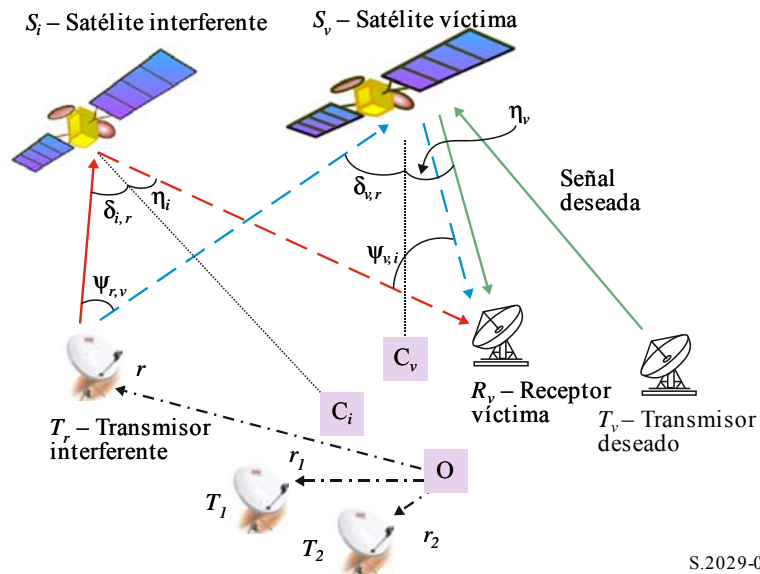
$r$ (m):	vector de ubicación en $T_r$ medido desde el origen, $O$
$R_v$ :	terminal receptor víctima
$S_i, S_v$ :	satélites de la red interferente y enlace víctima, respectivamente
$T_{long}$ (s):	intervalo de promediación de la interferencia a largo plazo
$T_r, T_v$ :	terminal interferente ubicado en $r$ y terminal transmisor deseado
$W_{long}$ (Hz):	ancho de banda para determinar la densidad espectral de potencia de la interferencia a largo plazo
$\bar{X}$ (dB):	valor del parámetro $X$ en dB, $10 \log_{10}(X)$
$Z_s$ :	$Z_s = \frac{(C/N)_{cs}}{(C/N)_s}$ , degradación de la relación $C/N$ debida al desvanecimiento causado por la lluvia en presencia del componente de la interferencia a largo plazo
$Z_t$ :	$Z_t = \frac{(C/N)_{cs}}{(C/N)_t}$ , degradación de la relación $C/N$ debida al desvanecimiento causado por la lluvia en presencia de la interferencia total

## 6 Modelo estadístico para el análisis de la interferencia

En la Fig. 2 se observan la red de satélites interferente y la red de satélites víctima. Los terminales transmisores de la red interferente son indicados por  $T_1, T_2, \dots, T_r$ . La Figura muestra los satélites víctima y los satélites interferentes,  $S_v$  y  $S_i$ ; el terminal deseado,  $T_v$ ; y el receptor víctima,  $R_v$ . El propósito del análisis consiste en cuantificar la interferencia causada por la red de terminales  $T_1, T_2, \dots, T_r$  a la red de satélites víctima. Los terminales interferentes funcionan en el modo acceso múltiple por división en el tiempo y un solo terminal transmite en un determinado instante en una banda estrecha de frecuencias de interés. No hay que olvidar que los terminales pueden funcionar en una banda ancha de frecuencias y en el modo acceso múltiple por división de frecuencia; la interferencia en esta banda ancha de frecuencias se calcula sumando la interferencia en cada banda estrecha de frecuencias. En la Fig. 2, se supone que los satélites  $S_i$  y  $S_v$  utilizan la misma translación de frecuencias del enlace ascendente al enlace descendente.

FIGURE 2

Trayectos de interferencia de los terminales  $T_1, T_2, \dots, T_r$ , al receptor víctima  $R_v$ , a través de los satélites  $S_i$  y  $S_v$ .  $C_i$  y  $C_v$  indican los centros del haz de  $S_i$  y  $S_v$  en tierra;  $O$  es el origen a partir del cual se miden las distancias hasta los terminales



S.2029-0E

Suponiendo que los terminales interferentes transmitan de forma aleatoria, el instante en que un determinado terminal interferente está transmitiendo puede ser representado por una variable aleatoria que depende de la ubicación. La función de densidad de probabilidad (PDF) de esta variable aleatoria es indicada por  $p_r$ . Cuando todos los terminales interferentes están en una región  $R$ , se deduce que  $\int_R p_r(r) dr = 1$ .

Los terminales interferentes pueden constar de terminales con diferentes tamaños de apertura de la antena. El diagrama de densidad de p.i.r.e. fuera del eje de un terminal general ubicado en  $r$  se indica por  $E$ . La PDF de los diagramas de densidad de p.i.r.e., considerados en todos los terminales interferentes, se indica por  $p_E$ . Dado que se trata de una PDF, se deduce que  $\int_E p_E(E) dE = 1$ , donde la integral se realiza a lo largo de todos los posibles valores de  $E$ .

El error de puntería de la antena en un terminal ubicado en  $r$ , que es el ángulo entre la dirección deseada y la dirección real del eje de puntería de la antena, se indica por  $\phi_r$ . Esos errores pueden variar lentamente y, desde el punto de vista estadístico, son independientes para diferentes terminales. En el presente Anexo se supone que los componentes de elevación y de acimut de ese error de puntería de la antena, indicados por  $\phi_{r,\epsilon}$  y  $\phi_{r,\alpha}$ , están disponibles. Se supone también que se conocen las PDF de esos componentes del error de puntería de la antena,  $p_\epsilon$  y  $p_\alpha$ .

En el criterio de interferencia a largo plazo es necesario calcular el valor de la interferencia promediado en el tiempo. Para facilitar este cálculo conviene representar el diagrama de transmisión de los terminales interferentes en función del tiempo, como se indica en la Fig. 1. Supongamos que el terminal  $T_{r_n}$ , ubicado en  $r_n$ , transmite en el intervalo de tiempo  $(t_n, t_{n+1})$ . La secuencia de transmisión de estos terminales es  $T_{r_0}, T_{r_1}, T_{r_2}, \dots$ , y la secuencia correspondiente de los intervalos de transmisión es:  $(t_0, t_1) (t_1, t_2) (t_2, t_3), \dots$ . Para su representación, se indica con  $q_\tau(t)$  un impulso de ancho  $\tau$  de forma que  $q_\tau(t) = 1$  en el intervalo  $(0, \tau)$ , y cero fuera de ese intervalo. El diagrama de transmisión en función del tiempo puede expresarse entonces como  $\sum_n T_{r_n} q_{\tau_n}(t - t_n)$  donde  $\tau_n = (t_{n+1} - t_n)$

## 7 Determinar la interferencia a largo plazo

La interferencia a largo plazo es el valor promediado en el tiempo, en un intervalo de tiempo de  $T_{long}$ , de la interferencia en ausencia de errores de puntería de la antena. En la Fig. 2 se observan los trayectos de la señal desde los terminales interferentes hasta el receptor víctima a través del satélite interferente y el satélite víctima. Como ya se ha señalado, en este análisis se supone que la translación entre las frecuencia del enlace ascendente y el enlace descendente es similar en ambos satélites. Las densidades espectrales de potencia de la interferencia en el receptor víctima, a través de los satélites  $S_v$  y  $S_i$ , debida al terminal interferente  $T_r$  puede expresarse en términos de ganancias de transmisión desde los satélites hasta el receptor víctima  $\gamma_v$  y  $\gamma_i$ , y los parámetros del enlace de la forma siguiente:

$$I_v(r) = \frac{B_r G_{t,r}(\psi_{r,v}) G_{r,v}^s(\delta_{v,r})}{L_{u,r}} \gamma_v$$

$$I_i(r) = \frac{B_r G_{t,r}(0) G_{r,i}^s(\delta_{i,r})}{L_{u,r}} \gamma_i$$
(8)

donde las ganancias de transmisión del enlace del satélite  $\gamma_v$  y  $\gamma_i$  son indicadas como sigue:

$$\gamma_v = \frac{B_v^s G_{t,v}^s(\eta_v) G_{r,v}(0) L_{u,v}}{B_v G_{r,v}^s(\delta_{v,v}) L_d}$$

$$\gamma_i = \frac{B_i^s G_{t,i}^s(\eta_i) G_{r,v}(\psi_{v,i}) L_{u,r}}{B_r G_{r,i}^s(\delta_{i,r}) L_d}$$
(9)

Hay que tener en cuenta que la ganancia de transmisión  $\gamma_i$  no depende de la ubicación del terminal interferente puesto que es la ganancia desde la salida de la antena receptora en el satélite  $S_i$  hasta la salida de la antena receptora en el terminal víctima,  $R_v$ .

Los términos de interferencia  $I_v(r)$  e  $I_i(r)$  dependen de la ubicación específica del terminal interferente,  $T_r$ , y se producen con una pequeña probabilidad  $p_i(r)dr$ . Dado que los terminales interferentes pueden transmitir a diferentes niveles de densidad de p.i.r.e. fuera del eje y están ubicados en emplazamientos espaciales diferentes, la señal de interferencia compuesta debida a todos los terminales es variable en el tiempo. El valor medio en el tiempo de la densidad espectral de potencia de la interferencia considerada en todos los terminales interferentes en la red en la región  $R$  deseada se expresa como:

$$\tilde{I}_{avg} = \iint_{R,E} (I_v(r) + I_i(r)) p_E(E) p_r(r) dE dr$$
(10)

No hay que olvidar que en esta sección y en secciones siguientes se calcula la densidad espectral de potencia de la interferencia; la potencia de la interferencia correspondiente puede obtenerse multiplicándola por el ancho de banda de interés.

En esta sección es necesario calcular el valor medio en el tiempo de la interferencia. Por lo tanto, la señal de interferencia se debe expresar en función del tiempo, en ausencia de errores de puntería de la antena. Utilizando la función rectangular  $q_\tau(t)$ , puede expresarse como:

$$\tilde{I}_{tot,0}(t) = \sum_n (I_v(r_n) + I_i(r_n)) q_{\tau_n}(t - t_n)$$



donde  $r_n$  es la ubicación espacial del terminal interferente que transmite en el intervalo de tiempo  $(t_n, t_{n+1})$  y  $(t_n, t_{n+1})$ . El componente de la interferencia a largo plazo deseada es el valor medio en el tiempo de la ecuación anterior y se expresa como:

$$\tilde{I}_{long} = \frac{1}{T_{long}} \int_t^{t+T_{long}} \sum_n (I_v(r_n) + I_i(r_n)) q\tau_n(t-t_n) dt \quad (11)$$

Como se indicó en el § 3, dado que  $\tilde{I}_{tot,0}$  es un proceso estadístico, en el valor indica *supra*,  $\tilde{I}_{long}$ , se observarán pequeñas variaciones cuando se calcula en intervalos de tiempo diferentes. La CDF de la relación interferencia/ruido a largo plazo presentada en el § 3 impone límites a esas variaciones.

## 8 Cómo expresar el criterio objetivo de calidad de funcionamiento a corto plazo

En el § 4.2 se indicó de qué manera expresar el criterio objetivo de calidad de funcionamiento a corto plazo en términos de las variables de degradación de la relación  $C/N$ . En esta sección, se facilitarán expresiones para determinar esas degradaciones de la relación  $C/N$  en términos de variables de enlace de la red de satélites indicada en la Fig. 2.

### 8.1 Degradación de la relación $C/N$ debida al desvanecimiento causado por la lluvia en presencia de la interferencia a largo plazo

La degradación de la relación  $C/N$  debida al desvanecimiento causado por la lluvia en presencia del componente de la interferencia a largo plazo fue expresada como  $Z_s = \frac{(C/N)_{cs}}{(C/N)_s}$  en el § 4.1. En esta subsección, esa degradación se calculará en términos de las variables del enlace específicas.

La relación  $C/N$  en condiciones de cielo despejado puede expresarse como:

$$(C/N)_{cs} = \frac{C}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow} + N_{\uparrow,i} + \tilde{I}_{long}} \quad (12)$$

donde las variables  $C, N_{\downarrow}, N_{\uparrow}$  y  $N_{\uparrow,i}$  son indicadas por:

$$C = \frac{B_v G_{r,v}^s(\delta_{v,v})}{L_{u,v}} \gamma_v; N_{\downarrow} = k\Theta_v; N_{\uparrow} = k\gamma_v \Theta_v^s; N_{\uparrow,i} = k\gamma_i \Theta_i^s$$

Hay que tener en cuenta que en la ecuación (12) y más adelante en el § 8.2, la relación  $C/N$  se expresa en términos de densidades espectrales de potencia de la portadora, el ruido y la interferencia. La potencia correspondiente puede obtenerse multiplicándola por el ancho de banda de interés.

Seguidamente, se considera la relación  $C/N$  en presencia del desvanecimiento causado por la lluvia:

$$(C/N)_s = \frac{C/A_{\uparrow}A_{\downarrow}}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow}/A_{\downarrow} + N_{\uparrow,i}/A_{\downarrow} + N_r(1-1/A_{\downarrow}) + \tilde{I}_{long}/(A_{\uparrow,i}A_{\downarrow})} \quad (13)$$

Se supone aquí que la separación orbital entre los satélites  $S_v$  y  $S_i$  es muy pequeña de forma que los términos que indican el desvanecimiento producido en el enlace descendente de esos satélites son iguales. Se supone asimismo que los términos que indican el desvanecimiento producido en el enlace ascendente de los terminales interferentes son aproximadamente iguales, indicados por  $A_{\uparrow,i}$ . Ello resulta razonable para una zona de cobertura de unos centenares de kilómetros. Si no es el

caso, habría que modificar convenientemente el último término del denominador para tener en cuenta el término correspondiente a la atenuación debida a la lluvia en función de la ubicación,  $A_{\uparrow,i}(r)$ .

La degradación de la relación  $C/N$  en el caso estático es indicada por  $Z_s = \frac{(C/N)_{cs}}{(C/N)_s}$ . Si se sustituyen los valores de  $(C/N)_{cs}$  y  $(C/N)_s$  de las ecuaciones (12) y (13), se obtiene:

$$Z_s = A_{\uparrow} \times (A_{\downarrow} d_1 + d_2 + d_3 / A_{\uparrow,i}) \quad (14)$$

donde las variables  $d_1$ ,  $d_2$  y  $d_3$  son indicadas por:

$$d_1 = \frac{N_{\downarrow} + N_r}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow} + N_{\uparrow,i} + \tilde{I}_{long}}; d_2 = \frac{N_{\uparrow} + N_{\uparrow,i} - N_r}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow} + N_{\uparrow,i} + \tilde{I}_{long}}; d_3 = \frac{\tilde{I}_{long}}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow} + N_{\uparrow,i} + \tilde{I}_{long}}$$

Obsérvese que  $(d_1 + d_2 + d_3) = 1$ . Con el propósito de expresar los parámetros  $d_1$ ,  $d_2$  y  $d_3$  en términos de variables del enlace del satélite, se introducen las siguientes variables:

$$c_1 = \frac{N_{\uparrow}}{N_{\downarrow}}; c_2 = \frac{N_{\uparrow,i}}{N_{\downarrow}}; c_3 = \frac{N_r}{N_{\downarrow}}; c_4 = \frac{\tilde{I}_{long}}{N_{\downarrow}}$$

Si se sustituyen estas variables en  $d_1$ ,  $d_2$  y  $d_3$  *supra*, se obtiene:

$$d_1 = \frac{1+c_3}{1+c_1+c_2+c_4}; d_2 = \frac{c_1+c_2-c_3}{1+c_1+c_2+c_4}; d_3 = \frac{c_4}{1+c_1+c_2+c_4}$$

Las variables  $c_1$ ,  $c_2$  y  $c_3$  pueden expresarse en términos de parámetros del enlace de satélite como:

$$c_1 = \frac{\Theta_v^s}{\Theta_v} \gamma_v; c_2 = \frac{\Theta_i^s}{\Theta_v} \gamma_i; c_3 = \frac{\Theta_r}{\Theta_v}; c_4 = \frac{\tilde{I}_{long}}{k\Theta_v}$$

Dado que los desvanecimientos causados por la lluvia están disponibles por lo general en unidades dB, la variable de degradación  $Z_s$  de la relación  $C/N$  en la ecuación (14) puede ser analizada adecuadamente cuando está expresada en unidades logarítmicas. Si  $Z_s$  y los desvanecimientos causados por la lluvia se expresan en unidades dB, se obtiene:

$$\bar{Z}_s = \bar{A}_{\uparrow} + 10 \log \left( 10^{\bar{A}_{\downarrow}/10} d_1 + d_2 + 10^{-\bar{A}_{\uparrow,i}/10} d_3 \right) \quad (15)$$

La CDF de  $\bar{Z}_s$ ,  $P_{\bar{Z}_s}(\bar{z}) = \Pr\{\bar{Z}_s \leq \bar{z}\}$ , se puede determinar analíticamente cuando se conocen las PDF de los factores de atenuación debida a la lluvia,  $\bar{A}_{\uparrow}$ ,  $\bar{A}_{\uparrow,i}$  y  $\bar{A}_{\downarrow}$ . En otros casos, puede utilizarse el método de simulación de Monte Carlo para calcular la CDF de  $\bar{Z}_s$ .

## 8.2 Degradación de la relación $C/N$ debido al desvanecimiento causado por la lluvia en presencia de la interferencia total

En esta sección, la degradación de la relación  $C/N$  debido al desvanecimiento causado por la lluvia en presencia de la interferencia total,  $Z_t = \frac{(C/N)_{cs}}{(C/N)_t}$ , se determina en términos de parámetros del enlace de satélite.

El componente de la interferencia a largo plazo indicado en el § 7 se determinó cuando los terminales interferentes transmitían sin errores de puntería de la antena. En esta sección se tienen en cuenta los errores de puntería de la antena de los terminales. El error de puntería de la antena en  $T_r$  está indicado por  $\phi_r$ . En presencia de errores de puntería de la antena, los términos correspondientes a la interferencia en la ecuación (8) se expresan del modo siguiente:

$$\begin{aligned} I_v(r) &= \frac{B_r G_{t,r}(\psi_{r,v}(\phi_r)) G_{r,v}^s(\delta_{v,r})}{L_{u,r}} \gamma_v \\ I_i(r) &= \frac{B_r G_{t,r}(\psi_{r,i}(\phi_r)) G_{r,i}^s(\delta_{i,r})}{L_{u,r}} \gamma_i \end{aligned} \quad (16)$$

donde se observa explícitamente la dependencia de los ángulos fuera del eje  $\psi_{r,v}$  y  $\psi_{r,i}$  en  $\phi_r$ . La interferencia total en presencia de errores de puntería de la antena es ahora  $\tilde{I}_{tot} = (I_v(r) + I_i(r))$ . Por lo general, los errores de puntería de la antena están disponibles en términos de sus errores en la dirección de elevación y la dirección acimutal,  $\phi_{r,\alpha}$  y  $\phi_{r,\epsilon}$ . En el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R S.1857 se describe un método para determinar los ángulos  $\psi_{r,v}(\phi_r)$  y  $\psi_{r,i}(\phi_r)$  utilizando los ángulos de error de acimut y error de elevación disponibles.

La relación  $C/N$  en el receptor víctima debida al desvanecimiento causado por la lluvia en presencia de la interferencia total se expresa de la forma siguiente:

$$(C/N)_t = \frac{C / A_{\uparrow} A_{\downarrow}}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow} / A_{\downarrow} + N_{\uparrow,i} / A_{\downarrow} + N_r (1 - 1 / A_{\downarrow}) + \tilde{I}_{tot} / (A_{\uparrow,i} A_{\downarrow})} \quad (17)$$

De modo similar a la sección precedente, la degradación en la relación  $C/N$  en este caso,  $\bar{Z}_t = 10 \log((C/N)_{cs} / (C/N)_t)$ , se expresa como sigue:

$$\bar{Z}_t = \bar{A}_{\uparrow} + 10 \log\left(10^{\bar{A}_{\downarrow}/10} d_1 + d_2 + 10^{-\bar{A}_{\uparrow,i}/10} \tilde{I}_{tot} d_3\right) \quad (18)$$

donde  $\tilde{I}_{tot} = \tilde{I}_{tot} / \tilde{I}_{long}$  y las variables  $d_1$ ,  $d_2$  y  $d_3$  son las mismas que en la sección precedente. La CDF de  $\bar{Z}_t$ ,  $P_{\bar{Z}_t}(\bar{z}) = \Pr\{\bar{Z}_t \leq \bar{z}\}$ , se puede determinar analíticamente cuando están disponibles las PDF de los factores de atenuación debida a la lluvia y las PDF indicadas en el § 6. En otros casos, puede utilizarse el método de simulación de Monte Carlo para calcular la CDF de  $\bar{Z}_t$ .

## 9 Aumento de la degradación del enlace debido a la interferencia a corto plazo

El criterio para cumplir los objetivos de calidad de funcionamiento a corto plazo indicado en el § 4.2 se establece en términos de las CDF complementarias de las variables de degradación de la relación  $C/N$  del enlace,  $(1 - P_{\bar{Z}_s}(\bar{z}))$  y  $(1 - P_{\bar{Z}_t}(\bar{z}))$ . Consideremos un nivel de degradación de la relación  $C/N$  de  $\bar{z}_j$  en condiciones de desvanecimiento causado por la lluvia y en presencia de la interferencia a largo plazo. La degradación del enlace, esto es, cuando  $\bar{Z}_s$  excede  $\bar{z}_j$ , en términos de porcentaje de tiempo es en este caso  $(1 - P_{\bar{Z}_s}(\bar{z}_j)) \times 100\%$ . A continuación, consideremos la interferencia total causada a este enlace.

La degradación del enlace, para el mismo nivel de degradación de la relación  $C/N$  de  $\bar{z}_j$ , es  $(1 - P_{\bar{Z}_t}(\bar{z}_j)) \times 100\%$ . Por consiguiente, el incremento relativo en la degradación del enlace debida a la presencia de la interferencia a corto plazo es:

$$R_s \% = \frac{(1 - P_{\bar{z}_i}(\bar{z}_j)) - (1 - P_{\bar{z}_s}(\bar{z}_j))}{(1 - P_{\bar{z}_i}(\bar{z}_j))} \times 100\% \quad (19)$$

Por ejemplo, supongamos que se concibe un enlace de satélite para que funciona de forma que la relación  $C/N$  de ese enlace sea inferior a  $(C/N)_j$  durante sólo el  $p_j\%$  de tiempo. Según el § 4.2, se debe incorporar un margen del enlace para que, en condiciones de desvanecimiento causado por la lluvia y en presencia de la interferencia a largo plazo, las degradaciones se limiten, como máximo, al  $p_i\% \times (1 - p_{short}/100)$  de tiempo. El margen del enlace necesario,  $\bar{z}_j$ , para cumplir esta condición, se puede calcular utilizando la CDF de la variable de degradación  $(1 - P_{\bar{z}_s}(\bar{z}_j)) = p_j \times (1 - p_{short}/100)$ . Luego, se limitará la interferencia a corto plazo de forma que  $(1 - P_{\bar{z}_t}(\bar{z}_j)) \leq p_j$ . En la ecuación (19) puede observarse que para esos valores  $R_s\% \leq p_{short}\%$ .

## 10 Aumento en la interferencia media debido a errores de puntería de la antena

Obsérvese que el componente de la interferencia a largo plazo,  $\tilde{I}_{long}$ , es calculado en ausencia de errores de puntería de la antena y el término correspondiente a la interferencia total, calculado en el § 8.2, tiene en cuenta los errores de puntería de la antena. Las variaciones a corto plazo de la interferencia se deben a los errores de puntería de la antena y al funcionamiento de los terminales en modo acceso múltiple con división en el tiempo. Pueden no tenerse en cuenta las variaciones debidas a dicho modo de funcionamiento si se considera el valor medio de  $\tilde{I}_{long}$ , indicado por  $\langle \tilde{I}_{long} \rangle$  y dado en la ecuación (10) como  $\tilde{I}_{avg}$ . Este valor puede obtenerse cuando  $T_{long}$  es muy importante con respecto a la duración de transmisión media de cada terminal. Puede utilizarse la medida siguiente para determinar el efecto de los errores de puntería de la antena en la interferencia media:

$$R_L \% = \frac{\langle \tilde{I}_{tot} \rangle - \langle \tilde{I}_{long} \rangle}{\langle \tilde{I}_{long} \rangle} \times 100\% \quad (20)$$

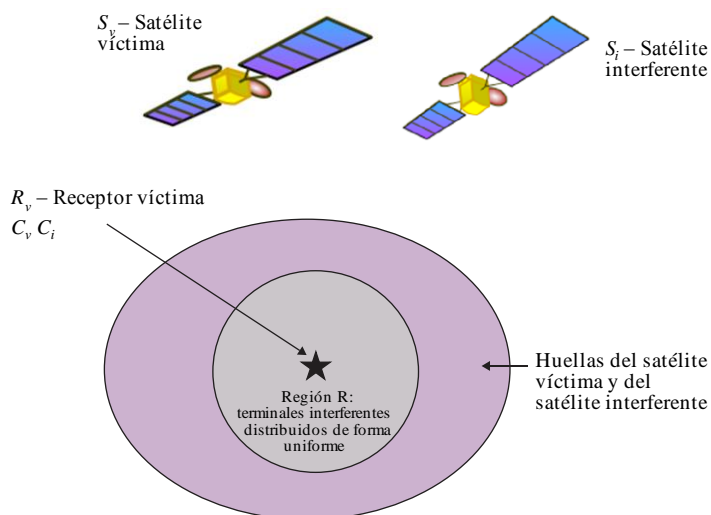
donde  $\langle \tilde{I}_{tot} \rangle$  es el valor medio de la interferencia total. Obsérvese que, en ausencia de errores de puntería de la antena  $\langle \tilde{I}_{tot} \rangle \approx \langle \tilde{I}_{long} \rangle$ , de forma que  $R_L$  es insignificante.

## 11 Ejemplos de simulación

En esta sección se presentan resultados ilustrativos de simulación informática obtenidos a partir de los métodos descritos en el presente Anexo. En la Fig. 3 se observan las ubicaciones del receptor víctima y los terminales interferentes respecto a los centros del haz de las antenas receptoras de  $S_i$  y  $S_v$ . Como se puede observar, en esta simulación informática los centros del haz del satélite coinciden y el receptor víctima se ubica en este punto. La Región  $R$ , donde se distribuyen los terminales interferentes, se obtiene distribuyendo de forma uniforme los terminales transmisores en una zona circular con centro  $C_v$  (o  $C_i$ ) y un radio de 100 km. Los diámetros de apertura de los terminales interferentes se seleccionan aleatoriamente a partir del conjunto  $\{0,2, 0,25, 0,3, 0,35, 0,4\}$  m y su diagrama de densidad de p.i.r.e. está limitado por:

$$\text{EIRP}(\psi) \text{ dB(W/40kHz)} = \begin{cases} 19 - 25 \log \psi + \tilde{E} \text{ dB} & 2^\circ \leq \psi \leq 7^\circ \\ -2 + \tilde{E} \text{ dB} & 7^\circ < \psi \leq 9,2^\circ \\ 22 - 25 \log \psi + \tilde{E} \text{ dB} & 9,2^\circ < \psi \leq 48^\circ \\ -10 + \tilde{E} \text{ dB} & 48^\circ < \psi \leq 180^\circ \end{cases} \quad (21)$$

FIGURA 3  
**Huellas del satélite víctima y satélite interferente y distribución de los terminales interferentes para esta simulación. Aquí,  $C_v$  y  $C_i$  coinciden y se supone que  $R_v$  coincide también con este punto**



S.2029-0f

CUADRO 1

**Parámetros del enlace de satélite utilizados en la simulación informática**

Frecuencia del enlace ascendente	28,75 GHz
Pérdida en enlace ascendente	213,09 dB
Terminal transmisor víctima, $T_v$ , (latitud, longitud)	(40 °N, 102,8 °E)
Altitudes del emplazamiento en $T_v$ , $T_r$	200 m sobre el nivel medio del mar
Intensidad de precipitación y altura de la lluvia en $T_v$ , $T_r$	Obtenidos aplicando las Recomendaciones UIT-R P.837 y UIT-R P.839
Longitudes en satélites $S_v$ , $S_i$	102,8° E y (102,8° + $\theta_{space}$ ) E
Centros del haz del satélite, $C_v$ y $C_i$ , (latitud, longitud)	(40 °N, 102,8 °E), (40°N, 102,8 °E)
Ganancias de la antena receptora en satélites, $G_{r,v}^s$ y $G_{r,i}^s$	51,83 dBi
Temperaturas de ruido en satélites, $T_v^s$ y $T_i^s$	1 000 K
Antenas receptoras en satélites	Apertura circular de 1,75 m con iluminación parabólica
Densidad de p.i.r.e. del satélite $S_v$	30 dBW/40 kHz

CUADRO 1 (Fin)

Frecuencia del enlace descendente	18,95 GHz
Pérdida en enlace descendente	209,47 dB
Ganancias de la antena receptora víctima, $G_{r,v}$	50,96 dBi (2,4 m), 44,96 dBi (1,2 m)
Altitudes del emplazamiento en $R_v$	200 m sobre el nivel medio del mar
Intensidad de precipitación y altura de la lluvia en $R_v$	Obtenidos aplicando las Recomendaciones UIT-R P.837 y UIT-R P.839
Ganancias de transmisión del enlace del satélite, $(\gamma_v, \gamma_i)$	(-7,25 dB, -76,62 dB) para diámetro de apertura $R_v$ de 2,4 m (-13,27 dB, -64,49 dB) para diámetro de apertura $R_v$ de 1,2 m

CUADRO 2

**Parámetros estadísticos utilizados en la simulación**

Región $R$	Zona circular con centro en $C_v, C_i$ y radio de 100 km
$p_r$	Distribuido de forma uniforme en la Región $R$
$p_E$	Terminales con diámetros de apertura {0,2, 0,25, 0,3, 0,35, 0,4} m igualmente distribuidos y densidad de p.i.r.e. limitada por la ecuación (21)
$\phi_{r,\epsilon}$ y $\phi_{r,a}$	Variables aleatorias Gaussianas con media cero y desviación típica $\sigma$

En las Figs. 4 y 5 se observan los valores de  $(\Delta T/T)_{long}$  y  $R_s$  dados en las ecuaciones (1) y (19), respectivamente. Se determina el valor de  $\tilde{I}_{long}$  en el numerador de  $(\Delta T/T)_{long}$  suponiendo un valor de  $T_{longd}$  muy elevado. Por consiguiente, las variaciones estadísticas de  $\tilde{I}_{long}$  pueden no tenerse en cuenta. Se considera que en los parámetros ilustrativos dados en los Cuadros 1 y 2, y cuando la separación orbital del satélite es de  $4^\circ$ , el nivel de la densidad de p.i.r.e. correspondiente a  $\tilde{E} = 7,3$  dB da lugar a  $(\Delta T/T)_{long} = 5\%$ , para un receptor víctima con diámetro de apertura de 2,4 m. Si la separación orbital fuera de  $3^\circ$ , para mantener el mismo nivel de  $(\Delta T/T)_{long}$ , el valor de  $\tilde{E}$  tiene que reducirse a  $-1,3$  dB. Estas Figuras muestran que  $(\Delta T/T)_{long}$  es inferior si el diámetro de apertura del receptor víctima es de 1,2 m. En las Figs. 4 y 5 se observa también el valor de  $R_S$  utilizado en el criterio a corto plazo. En este caso,  $p_j\%$  y  $p_{short}\%$  se fijaron a 2% y 10%, respectivamente. Para los parámetros considerados en este ejemplo ilustrativo, el valor de  $R_S$  es inferior a 4%. Con la ecuación (19), esto corresponde a un nivel de degradación del enlace inferior al 1,88%.

FIGURA 4

**Variaciones de  $(\Delta T/T)_{long}$  y  $R_s$  con  $\tilde{E}$  en (21) para  $\theta_{space} = 4^\circ$  y  $\sigma = 0,5^\circ$**

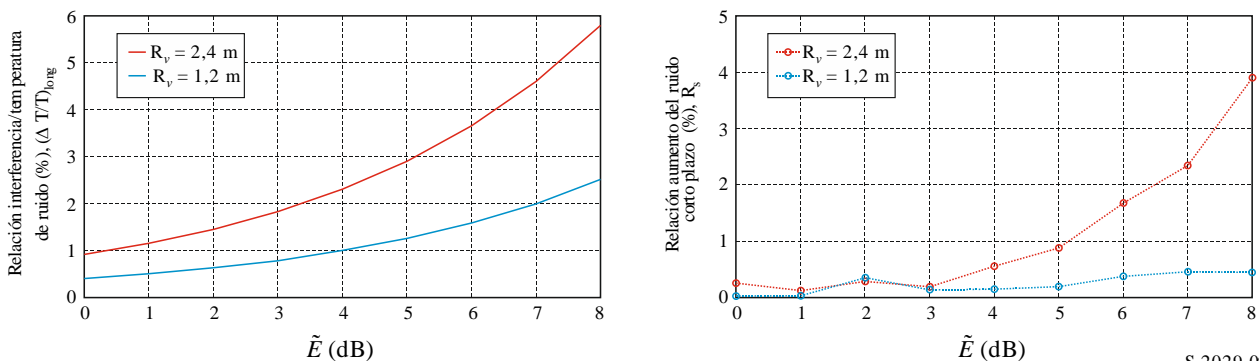
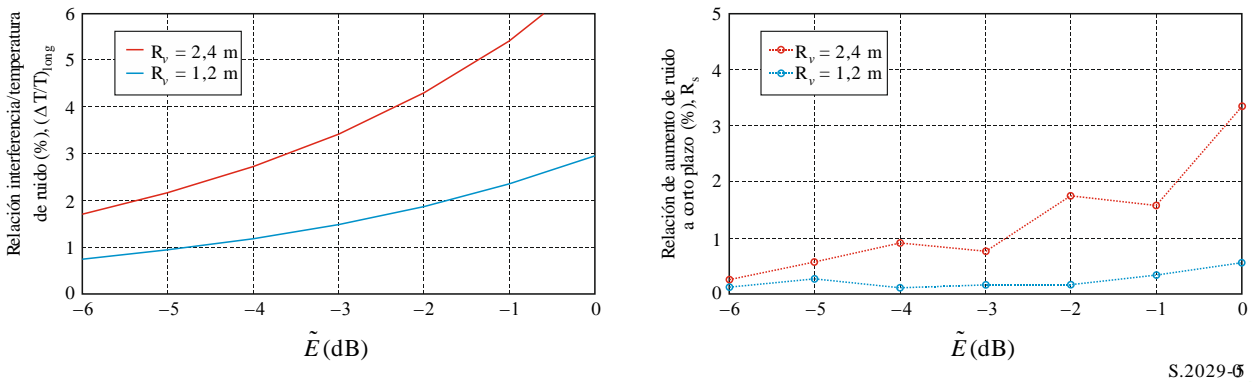




FIGURA 5

Variaciones de  $(\Delta T/T)_{long}$  y  $R_s$  con  $\tilde{E}$  en (21) para  $\theta_{space} = 3^\circ$  y  $\sigma = 0,5^\circ$

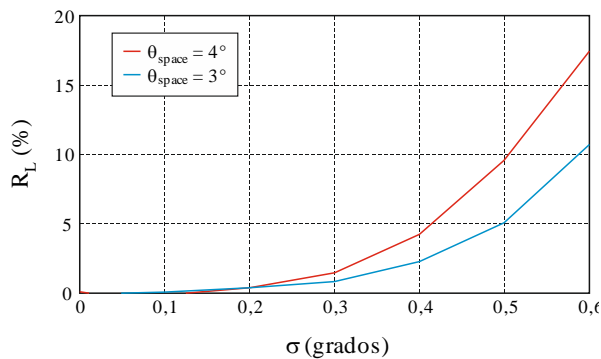


S.2029-5

En la Fig. 6 se observa el valor de  $R_L$  utilizado en la ecuación (20) para valores diferentes de  $\sigma$ . Como ya se ha indicado, en valores de  $T_{long}$  suficientemente elevados, las variaciones de  $R_L$  no se tienen en cuenta en presencia de errores de puntería de la antena. En esta Figura se observa el incremento gradual de  $R_L$  con valores crecientes de  $\sigma$ .

FIGURA 6

Variación de  $R_L$  con desviación típica de errores de puntería de la antena para separaciones orbitales de  $3^\circ$  y  $4^\circ$



S.2029-6

## 12 Conclusiones

En este Anexo se ha presentado un nuevo enfoque estadístico para evaluar la interferencia de un sistema variable en el tiempo que consta de una red de estaciones terrenas que funcionan con un esquema de acceso múltiple por división en el tiempo. Los resultados sirvieron para ilustrar la posible degradación causada a una red de satélites víctima y mostraron que los niveles de transmisión de los terminales de la red interferente pueden ajustarse para cumplir los niveles de interferencia admisibles y los objetivos de calidad de funcionamiento del sistema de satélites víctima. El Apéndice a este Anexo presenta un proceso ilustrativo por etapas para la estimación de la CDF de  $(\Delta T/T)_{long}$  y  $R_s$ .

## Apéndice

### Proceso ilustrativo por etapas para la estimación de la CDF de $(\Delta T/T)_{long}$ y $R_s$

El presente Apéndice presenta un proceso ilustrativo por etapas para la estimación de la CDF de  $(\Delta T/T)_{long}$  expresada en el § 3 y el incremento relativo de la degradación debida a la interferencia a corto plazo,  $R_s$ , indicada en la ecuación (19) del Anexo. Esos valores se estiman para un nivel de densidad de p.i.r.e. fuera del eje dada. El enfoque aquí presentado se basa en el método de simulación de Monte Carlo.

#### 1 Entradas del proceso de estimación

##### Entrada 1. Parámetros del enlace de satélite

Longitudes de onda del enlace ascendente y el enlace descendente  $\lambda_u, \lambda_d$ ; longitudes de  $S_v, S_i$ ; par latitud y longitud en  $C_i, C_v$ ; diagramas de ganancia de la antena receptora  $G_{r,i}^S, G_{r,v}^S$ ; temperaturas de ruido  $\Theta_i^S, \Theta_v^S$ ; ganancias de transmisión  $\gamma_i, \gamma_v$ .

Temperatura de ruido  $\Theta_v$ .

##### Entrada 2. Terminales interferentes

PDF de distribución espacial de terminales  $p_r$ ; PDF de distribución de densidad de p.i.r.e.  $p_E$ . Obsérvese que la densidad de p.i.r.e. depende del tamaño de apertura del terminal y del límite de densidad de p.i.r.e. fuera del eje considerado.

Errores de puntería de la antena: las PDF de los componentes de elevación y de acimut del error de puntería de la antena,  $p_{\phi_a}, p_{\phi_\epsilon}$ . En otros casos, esos componentes pueden estar disponibles como vectores de longitud  $N_{mc}$  (definidos en la entrada 5),  $\{\phi_{r,a}\}, \{\phi_{r,\epsilon}\}$ .

Diagrama de transmisión de los terminales: PDF de la duración de transmisión de los terminales,  $p_\tau$ , donde  $\tau$  es la duración de transmisión de un terminal, como se indicó en el § 6.

##### Entrada 3. Parámetros de lluvia

Intensidad de precipitación, altitud sobre el nivel medio del mar y altura para ubicaciones de  $T_v, R_r$ , y el centro representativo de la Región  $R$  definido por  $p_r$ . Estos parámetros pueden calcularse aplicando las Recomendaciones UIT-R P.837 y ITU-R P.839.

Temperatura de ruido celeste debido a la lluvia  $\Theta_r$ .

##### Entrada 4. Parámetros para calcular los niveles de interferencia a corto plazo y a largo plazo

Intervalo de observación de la interferencia a largo plazo,  $T_{long}$ ; porcentaje de tiempo de las degradaciones del enlace en objetivos de calidad de funcionamiento a corto plazo,  $p_i\%$ ; y porcentaje de tiempo máximo de la interferencia a corto plazo,  $p_{short}\%$ .

**Entrada.** Parámetro de simulación de Monte Carlo: tamaño de la muestra del vector aleatorio  $N_{mc}$ .

## 2 Estimación de la CDF de $(\Delta T/T)_{long}$

**Etapas 1.** Generar los tiempos de transmisión de los terminales interferentes

Generar tiempos de transmisión  $N_{long}$ ,  $\{\tau_n\}$ , según la PDF,  $p_\tau$ , de forma que la suma de todos los tiempos de transmisión satisfice la ecuación  $\sum_{n=1}^{N_{long}-1} \tau_n < T_{long} \leq \sum_{n=1}^{N_{long}} \tau_n$ .

**Etapas 2.** Generar los terminales transmisores interferentes

- Generar el vector de ubicación  $N_{long}$ -dimensional  $\{r\}$  según la PDF  $p_r$ .
- Seleccionar la densidad de p.i.r.e. en cada punto de ubicación  $r$  según la PDF  $p_E$ .

**Etapas 3.** Calcular los términos de interferencia  $I_i(r)$  y  $I_v(r)$

- Ángulo  $\psi_{r,v}$ . Se calcula utilizando las latitudes y longitudes en  $r$ ,  $S_i$  y  $S_v$ .
- Ángulos  $\delta_{i,r}$  y  $\delta_{v,r}$ . Se calculan utilizando las latitudes y longitudes en  $r$ ,  $S_i$  y  $S_v$ ,  $C_i$  y  $C_v$ .
- Calcular la pérdida en el trayecto del enlace ascendente  $L_{u,r}$ .
- Señal de interferencia  $(I_i(r) + I_v(r))$  aplicando la ecuación (8). Obsérvese que  $B_r G_{t,r}(\psi_{r,v})$  es la densidad de p.i.r.e. en la dirección de  $S_v$  y  $B_r G_{t,r}(0)$  es la densidad de p.i.r.e. en la dirección de  $S_i$ .

El vector  $N_{long}$ -dimensional obtenido calculando  $\{I_i(r) + I_v(r)\}$  en todos los puntos de ubicación  $\{r\}$  indica los valores instantáneos de la interferencia en ausencia de errores de puntería de la antena.

**Etapas 4.** Calcular la interferencia a largo plazo  $\tilde{I}_{long}$

- Crear la señal de interferencia,  $\tilde{I}_{tot,0}(t)$ , en función del tiempo, como se indica en el § 7.

$\tilde{I}_{tot,0}(t) = \sum_{n=1}^{N_{long}} (I_i(r_n) + I_v(r_n)) q_{\tau_n}(t - t_n)$ , donde  $r_n$  es el  $n^{th}$  componente de  $\{r\}$ ,  $t_1 = 0$  y  $t_n = \sum_{i=1}^{n-1} \tau_i$ .

- Calcular  $\tilde{I}_{long} = \frac{1}{T_{long}} \int_{t=0}^{T_{long}} \tilde{I}_{tot,0}(t) dt$ .

**Etapas 5.** Estimar la CDF de  $(\Delta T/T)_{long}$

- Crear un vector  $N_{mc}$ -dimensional  $\{\tilde{I}_{long}\}$  repitiendo,  $N_{mc}$  veces, las etapas 1 a 4 descritas *supra*.
- Crear el vector  $N_{mc}$ -dimensional  $\{(\Delta T/T)_{long}\}$  utilizando (1) y el vector  $\{\tilde{I}_{long}\}$ .
- Estimar la CDF del vector  $\{(\Delta T/T)_{long}\}$ .

## 3 Estimación de $R_s$

**Etapas 1.** Generar los terminales transmisores interferentes

- Generar el vector de ubicación  $N_{mc}$ -dimensional  $\{r\}$  según la PDF  $p_r$ .
- Seleccionar la densidad de p.i.r.e. en cada punto de ubicación  $r$  según la PDF  $p_E$ .

**Etapas 2.** Calcular el vector de interferencia  $N_{mc}$ -dimensional  $\{I_i(r) + I_v(r)\}$ .

Seguir la etapa 3 indicada en el § 2 *supra*.

**Etapas 3.** CDF de  $\bar{Z}_s$ 

- Determinar las variables  $c_1$ ,  $c_2$  y  $c_3$  indicadas en el § 8.1 utilizando los parámetros del enlace de satélite y el vector  $N_{mc}$ -dimensional  $\{\tilde{I}_{long}\}$  estimado en la etapa 5 del § 2 *supra*.
- Determinar las variables  $d_1$ ,  $d_2$  y  $d_3$  utilizando  $c_1$ ,  $c_2$  y  $c_3$ , como se indica en el § 8.1. Obsérvese que  $d_1$ ,  $d_2$  y  $d_3$  son vectores  $N_{mc}$ -dimensionales.
- Generar los vectores de atenuación debida a la lluvia  $N_{mc}$ -dimensionales  $\{\bar{A}_\uparrow\}$ ,  $\{\bar{A}_{\uparrow,i}\}$  y  $\{\bar{A}_\downarrow\}$  aplicando la Recomendación UIT-R P.618-8. Aquí,  $\{\bar{A}_{\uparrow,i}\}$  corresponde a una ubicación representativa en la Región  $R$  definida por la PDF  $p_r$ .
- Para cada realización de  $(\bar{A}_\uparrow, \bar{A}_{\uparrow,i}, \bar{A}_\downarrow)$  y  $(d_1, d_2, d_3)$ , calcular  $\bar{Z}_s$  expresada en la ecuación (15). Se obtiene un vector  $N_{mc}$ -dimensional para  $\bar{Z}_s$ .
- Estimar la CDF de  $\bar{Z}_s$ ,  $P_{\bar{Z}_s}(\bar{z})$ , utilizando este vector.

**Etapas 4.** CDF de  $\bar{Z}_t$ 

- Generar el vector de error de puntería de la antena  $N_{mc}$ -dimensional  $\{\phi_r\}$   
Generar los vectores  $N_{mc}$ -dimensionales  $\{\phi_{r,a}\}$  y  $\{\phi_{r,\epsilon}\}$  utilizando sus respectivas PDF,  $p_{\phi_a}$ ,  $p_{\phi_\epsilon}$ . Para cada realización  $(\phi_{ra}, \phi_{r\epsilon})$ , calcular  $\phi_r$  aplicando el procedimiento descrito en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R S.1857.
- Generar el vector de interferencia  $N_{mc}$ -dimensional  $\{I_i(r) + I_v(r)\}$  indicado en la ecuación (16).  
Para cada realización  $r$  y  $\phi_r$  calcular  $I_i(r)$  e  $I_v(r)$ , como se indica en la ecuación (16). Crear a partir de ellos el vector de interferencia  $N_{mc}$ -dimensional.
- Calcular el vector  $N_{mc}$ -dimensional  $\bar{Z}_t$  utilizándolo como se indica en la ecuación (18).
- Estimar la CDF de  $\bar{Z}_t$ ,  $P_{\bar{Z}_t}(\bar{z})$ , utilizando este vector.

**Etapas 5.** Estimar  $R_s$ 

- Calcular el margen de enlace necesario en condiciones de desvanecimiento causado por la lluvia y la interferencia a largo plazo,  $\bar{z}_j$ , de forma que el tiempo máximo admisible de la degradación sea  $p_j\% \times (1 - p_{short}/100)$

$$(1 - P_{\bar{Z}_s}(\bar{z}_j)) = p_j \times (1 - p_{short}/100).$$

- Calcular el tiempo de degradación del enlace con interferencia total para este margen de enlace,  $(1 - P_{\bar{Z}_t}(\bar{z}_j))$
- Calcular  $R_s$  aplicando la ecuación (19).