

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1323-1

MÁXIMOS NIVELES DE INTERFERENCIA ADMISIBLE EN UNA RED DE SATÉLITES (SERVICIO FIJO POR SATÉLITE (SFS)/SATÉLITES GEOESTACIONARIOS (OSG), SFS/NO OSG Y ENLACES DE CONEXIÓN DEL SERVICIO MÓVIL POR SATÉLITE (SMS)/NO OSG)* DEL SFS PROVOCADA POR OTRAS REDES CODIRECCIONALES POR DEBAJO DE 30 GHz

(Cuestiones UIT-R 205/4, UIT-R 206/4 y UIT-R 231/4)

(1997-2000)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que las emisiones procedentes de estaciones terrenas así como de estaciones espaciales de una red de satélites (SFS/OSG, SFS/no OSG y enlaces de conexión del SMS/no OSG) del SFS pueden provocar interferencia a otra red de satélites cuando ambas redes funcionan en las mismas bandas;
- b) que el diseñador del sistema y su operador deben tener el control de la calidad de funcionamiento global de una red y la capacidad de asegurar la calidad de servicio requerida;
- c) que es necesario proteger una red del SFS (SFS/OSG, SFS/no OSG y enlaces de conexión del SMS/no OSG) de la interferencia causada por otras redes similares y que la inclusión del margen de enlace adicional por encima del necesario para compensar el desvanecimiento debido a la lluvia, por ejemplo, para compensar el envejecimiento de los equipos, no se considera como parte de esa protección;
- d) que para permitir a un operador controlar la calidad del servicio es necesario establecer un límite a la interferencia combinada que debe poder tolerar una red, procedente de las emisiones del resto de redes;
- e) que para limitar la interferencia combinada causada por el resto de las redes debe fijarse un límite relativo a la interferencia procedente de cualquier otra red que debe poder tolerar una red y esta interferencia procedente de una sola fuente debe permitir acomodar un número apropiado de sistemas interferentes;
- f) que en las bandas de frecuencias por encima de 10 GHz donde es posible la aparición de un valor muy elevado en la atenuación de la señal durante breves periodos de tiempo, puede ser conveniente que los sistemas utilicen algún tipo de compensación de desvanecimiento para contrarrestar el desvanecimiento de la señal;
- g) que en situaciones de interferencia en que intervienen sistemas de satélites no OSG de redes del SFS (SFS/OSG, SFS/no OSG y enlaces de conexión del SMS/no OSG) las redes del SFS están potencialmente expuestas durante breves periodos de tiempo a altos niveles de interferencia que podrían afectar su comportamiento a corto plazo o la disponibilidad de estas redes;
- h) que el margen de interferencia a largo plazo causada por sistemas no OSG a redes del SFS OSG debe ser un pequeño porcentaje del margen a largo plazo existente en una red del SFS OSG, y en adición a ese margen;
- j) que si no están limitados, los eventos de interferencia a corto plazo pueden provocar una pérdida de sincronización u otras condiciones inestables, incluso con condiciones de cielo despejado, que pueden ser responsables de la degradación o la pérdida del servicio durante periodos más prolongados que el del evento de interferencia;
- k) que la interferencia admisible resultante de fenómenos de interferencia a corto plazo debe especificarse de forma distinta para el funcionamiento del SFS en diferentes bandas de frecuencias debido a las diversas características de propagación de las señales en estas múltiples bandas;

* Las metodologías para determinar los criterios de interferencia a corto plazo contenidos en esta Recomendación se refieren a la interferencia causada a los SFS/OSG, SFS/no OSG y enlaces de conexión del SMS/no OSG. Sin embargo, es necesario verificar más detenidamente la posible aplicación de estas metodologías a todas las redes de ese tipo.

- l) que el efecto de la interferencia de sistemas no OSG a sistemas OSG que emplean codificación adaptable de enlace descendente no es igual que los efectos debidos a la lluvia, y que los estudios realizados hasta ahora indican la necesidad de considerar estos efectos de interferencia de sistemas no OSG por lo menos haz por haz (en el sistema OSG) en vez de enlace por enlace;
- m) que los efectos de propagación no deben originar más del 90% de la indisponibilidad de un enlace del SFS,

recomienda

1 que las redes de satélites OSG del SFS que funcionan en bandas de frecuencias por debajo de 30 GHz se diseñen y exploten de manera que puedan satisfacerse los objetivos de calidad de funcionamiento en cualquier enlace por satélite cuando la potencia de interferencia combinada procedente de las emisiones de estaciones terrenas y espaciales del resto de redes del SFS con satélites OSG que funcionan en la misma banda o bandas de frecuencias, suponiendo condiciones de cielo despejado en los trayectos de la interferencia, no rebase a la entrada del demodulador:

1.1 el 25% de la potencia de ruido total del sistema en condiciones de cielo despejado cuando la red no emplea reutilización de frecuencias;

1.2 el 20% de la potencia de ruido total del sistema en condiciones de cielo despejado cuando la red no emplea reutilización de frecuencias;

2 que para una red de satélites OSG del SFS como la indicada en el *recomienda 1*, la interferencia entre redes causada por las emisiones de las estaciones terrenas y espaciales de cualquier otra red del SFS con satélites OSG que funcionen en la misma banda o bandas de frecuencias se limite al 6% de la potencia de ruido total del sistema en condiciones de cielo despejado;

3 que para una red del SFS (SFS/OSG, SFS/no OSG o enlaces de conexión del SMS/no OSG), la interferencia entre redes provocada por las emisiones de las estaciones terrenas y espaciales del resto de redes de satélites que funcionan en la misma banda de frecuencias que pueden causar en principio interferencia variable en el tiempo:

3.1 sean responsables al menos 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 C/N más bajo);

3.2 no provoquen una pérdida de sincronización en la red deseada superior a una vez cada x días (la posible inclusión de este requisito en las metodologías descritas en el Anexo 1 así como el valor adecuado de x deben ser objeto de estudios ulteriores);

3.3 en el caso de redes que utilizan codificación adaptable, que sean provisionalmente responsables de una disminución de un 10% como máximo (hasta revisión por ulteriores estudios) de la cantidad de capacidad de reserva disponible a enlaces que requieren una codificación pesada para compensar el desvanecimiento debido a la lluvia, en la hipótesis de que la red mantiene, con el uso de esta capacidad de reserva (en el contexto de esta Recomendación hay que elaborar aún la definición de «capacidad de reserva» para sistemas que utilizan codificación adaptativa) el mismo nivel de calidad de funcionamiento como si no hubiera interferencia variable en el tiempo. Este enfoque tiene que ser validado por estudios futuros;

4 que, cuando se apliquen las Metodologías A y A' descritas en el Anexo 1 o el procedimiento D descrito en el Anexo 2, no es necesario definir el margen a largo plazo porque, como se toman en consideración los efectos simultáneos del desvanecimiento y la interferencia, de las condiciones del *recomienda 3* resulta una caracterización plena de la plantilla de interferencia;

5 que, cuando se aplique la Metodología B descrita en el Anexo 1, se debe definir adicionalmente un margen a largo plazo porque no se han tenido en cuenta los efectos simultáneos del desvanecimiento y la interferencia;

6 que este margen correspondiente a la interferencia a largo plazo, cuando se utiliza además del *recomienda 3*, se debe expresar requiriendo que la interferencia combinada no exceda del 6% de la potencia de ruido total del sistema durante más de 10% del tiempo;

7 que la verificación de si la interferencia entre redes causada por las emisiones de estaciones terrenas y espaciales de cualquier red de satélite dada cumple los requisitos del *recomienda 3* (y el *recomienda 6*, cuando proceda) o la obtención de una plantilla de interferencia (niveles de interferencia y porcentajes de tiempo máximos durante los cuales estos niveles pueden ser rebasados) que conduciría a cumplir los requisitos del *recomienda 3* (y el *recomienda 6*, cuando proceda) puede ser realizada utilizando las metodologías indicadas en los Anexos 1 y 2 en relación con un número supuesto apropiado de redes interferentes;

8 que el máximo nivel de potencia de ruido de interferencia causado a una red de satélites OSG del SFS se calcule basándose en los siguientes valores de la ganancia de antena de la estación terrena de recepción, en una dirección que forma un ángulo, φ (grados) con respecto a la dirección del haz principal:

Para interferencia OSG a OSG:

$$G = 32 - 25 \log \varphi \quad \text{dBi} \quad \text{para} \quad 1^\circ \leq \varphi < 48^\circ$$

$$G = -10 \quad \text{dBi} \quad \text{para} \quad 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$$

Para interferencia no OSG a OSG, los diagramas de antena contenidos en la Recomendación UIT-R S.1428;

9 que las Notas siguientes se consideren parte de la presente Recomendación:

NOTA 1 – Para la interferencia entre redes del SFS OSG, se aplican los *recomienda* 1 y 2 pero no se aplica el *recomienda* 3.

NOTA 2 – El término «interferencia variable en el tiempo» del *recomienda* 3 incluye la componente constante que pueda estar presente durante todo el tiempo.

NOTA 3 – Para el cálculo de los límites indicados en los *recomienda* 1.1, 1.2, 2, 3 y 6 debe suponerse que la potencia del ruido total del sistema a la entrada del demodulador es de naturaleza térmica e incluye todas las contribuciones de ruido dentro del sistema así como el ruido de interferencia procedente de otros sistemas.

Si la interferencia no puede suponerse de naturaleza térmica, el nivel admisible de interferencia causada a una portada digital debe basarse en la degradación de la BER (o la C/N).

NOTA 4 – Para el cálculo de la interferencia, con respecto a los *recomienda* 1, 2, 3 y 6 aplicados a las redes de satélites que funcionan en un entorno de desvanecimiento, debe suponerse que se reduce el nivel de la potencia de portadora del sistema interferido hasta que la calidad de funcionamiento del sistema coincida con los valores antes indicados de la BER a largo plazo (o la C/N) y porcentaje del mes (véase el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R S.735 para mayor aclaración).

NOTA 5 – Se supone en conexión con los *recomienda* 1 y 2 que la interferencia procedente de otras redes de satélites es de naturaleza continua en frecuencias inferiores a 10 GHz; es necesario realizar más estudios sobre los casos en que la interferencia no es de naturaleza continua por encima de 10 GHz.

NOTA 6 – Cuando las señales interferentes están caracterizadas por una distribución espectral no uniforme puede haber casos en que el diseñador del sistema, a efectos prácticos, puede atribuir una mayor cantidad de interferencia del ruido total del sistema a las portadoras de banda estrecha. En el Anexo 2 a la Recomendación UIT-R S.735 aparece un modelo que se ha elaborado para considerar detalladamente este caso.

NOTA 7 – Para las redes de telefonía con modulación por impulsos codificados (MIC) de 8 bits véase la Recomendación UIT-R S.523.

NOTA 8 – En algunos casos puede que sea necesario limitar el valor de la interferencia procedente de una sola fuente a una cantidad inferior a la indicada en el *recomienda* 2 de manera que no pueda rebasarse el valor total recomendado en el *recomienda* 1. En otros casos, especialmente en arcos congestionados de la OSG, las administraciones pueden llegar a acuerdos bilaterales para utilizar valores de interferencia procedentes de una sola fuente más elevados que los señalados en el *recomienda* 2, pero toda potencia de ruido de interferencia mayor que el valor indicado en dicho *recomienda* debe descartarse en los cálculos para determinar si se rebasa el valor total recomendado en el *recomienda* 1.

NOTA 9 – Es necesario realizar estudios sobre la posible aceptación de un aumento de los máximos valores de la interferencia de ruido total indicados en el *recomienda* 1.

NOTA 10 – Para frecuencias por encima de 10 GHz no se dispone de datos de propagación a corto plazo uniformemente repartidos por todo el mundo y es necesario seguir examinando tales datos para confirmar la existencia de un margen de interferencia adecuado para satisfacer los objetivos de calidad de funcionamiento aplicable.

NOTA 11 – Es necesario continuar el estudio de los márgenes de ruido de interferencia adecuados para los sistemas que funcionan en frecuencias por encima de 15 GHz. Es urgente estudiar el efecto sobre los márgenes de ruido de interferencia cuando se utiliza control de potencia o codificación adaptable para compensación del desvanecimiento.

NOTA 12 – Para mejorar la eficacia en la utilización de la órbita, se insta a las redes de satélites que funcionen en climas con lluvia intensa a que utilicen algún tipo de compensación del desvanecimiento.

NOTA 13 – La pérdida de sincronización debido a niveles relativamente altos de interferencia puede provocar una pérdida del servicio durante periodos más dilatados que los de la propia interferencia. La frecuente aparición de fenómenos de interferencia intensa pero de corta duración, susceptibles de causar una pérdida de la sincronización, puede suponer una importante limitación a la calidad del servicio proporcionado por las redes de satélites aun cuando se satisfagan los criterios de porcentaje de tiempo combinado del *recomienda* 3.1. En estos casos, debe evaluarse la influencia sobre el tiempo combinado así como el tiempo medio entre apariciones de fenómenos de interferencia intensa. Este tema debe ser objeto de estudios ulteriores.

ANEXO 1

Metodologías para determinar si la interferencia a una red del SFS (SFS/OSG, SFS/no OSG y enlaces de conexión del SMS/no OSG) cumple el *recomienda* 3 (y el *recomienda* 6, cuando proceda) o para obtener márgenes de interferencia que satisfagan el *recomienda* 3 (y el *recomienda* 6, cuando proceda)

El presente Anexo incluye tres metodologías para verificar si la interferencia cumple el *recomienda* 3 (y el *recomienda* 6, cuando proceda) o para obtener los márgenes de interferencia que satisfagan el *recomienda* 3 (o el *recomienda* 6, cuando proceda), denominadas Metodologías A, A' y B. La aplicación de estas metodologías en el contexto de interferencia procedente de una red individual (es decir, interferencia de una sola fuente) requiere la asignación del margen de interferencia total del *recomienda* 3 entre las redes interferentes. La determinación del número apropiado de sistemas interferentes rebasa el ámbito de la presente Recomendación.

Las Metodologías A y A' consideran los efectos simultáneos debidos al desvanecimiento y a la interferencia. La verificación del cumplimiento del *recomienda* 3 o la obtención de los márgenes de interferencia tiene en cuenta que durante ciertos porcentajes de tiempo se incumplen los objetivos de calidad de funcionamiento debido a la combinación de ambas fuentes de degradación, mientras que de forma aislada ninguna de ellas sería capaz de causar dicha transgresión. Sin embargo, el establecimiento de un modelo de desvanecimiento puede ser difícil, especialmente en el caso de enlaces dirigidos a satélites no OSG, o procedentes de los mismos, en los que la elevación y el acimut varían con el tiempo. La Metodología A' es un caso especial de la Metodología A en el sentido de que se suponen modelos paramétricos particulares para las funciones de densidad de probabilidad de las degradaciones debidas al desvanecimiento e interferencia. En la Metodología A, la representación paramétrica de estas funciones de densidad de probabilidad no está definida y puede ser elegida de modo que se adapte mejor a la situación particular considerada.

Para sistemas que funcionan en condiciones de cielo despejado con márgenes relativamente pequeños y que se basan fundamentalmente en el control de potencia o la codificación adaptable para combatir el desvanecimiento, los efectos simultáneos debidos al desvanecimiento y a la interferencia son menos significativos y pueden despreciarse si así lo desea el sistema afectado. La Metodología B estudia esta posibilidad (consideración por separado de los efectos de interferencia).

La Metodología B es evidentemente una simplificación de la Metodología A en la que, además de considerar por separado la interferencia, se resumen los objetivos de calidad de funcionamiento mediante un valor umbral de la BER (o de la C/N) y el porcentaje de tiempo durante el cual puede rebasarse.

En el Anexo 2 se describe un procedimiento que verifica la conformidad con el *recomienda* 3.1 y el refinamiento de la plantilla de interferencia. Este procedimiento se puede aplicar para verificar la conformidad con el *recomienda* 3.1 para las plantillas de interferencia elaboradas utilizando cualquiera de las metodologías descritas en el Anexo 1.

Es preciso realizar más estudios para determinar la naturaleza de la interferencia a corto y largo plazo causada por múltiples redes OSG a una red no OSG.

PARTE 1

Metodología A**1 Hipótesis básicas**

Se realizan las siguientes hipótesis básicas relativas al procedimiento aquí propuesto para verificar si la interferencia cumple los requisitos del *recomienda 3* o para determinar los márgenes de interferencia asociados con una portadora deseada dada que satisfagan el *recomienda 3*.

Hipótesis 1: Las dos fuentes de degradación variables en el tiempo consideradas en el análisis son el desvanecimiento del enlace junto con cualquier otra variación en el tiempo de las características del mismo y la interferencia procedente de otras redes del SFS.

La C/N total para una portadora dada es:

$$C/N = C/(N_T + I)$$

donde:

- C : potencia deseada (W), que varía en función de los desvanecimientos del enlace ascendente y del enlace descendente y también en función de la configuración de transmisión (acceso múltiple, utilización de control de potencia de enlace ascendente, etc.). Por tanto, C puede ser descrita como una función de A_{\uparrow} , la atenuación debida a la lluvia del enlace ascendente, y A_{\downarrow} , la atenuación debida a la lluvia del enlace descendente como:

$$C = C_{cs} / F(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})$$

C_{cs} : potencia deseada en condiciones de cielo despejado (condición a largo plazo)

- N_T : ruido total del sistema (W) (es decir, la potencia térmica que incluye las contribuciones de los enlaces ascendente y descendente a la entrada del demodulador, la potencia de ruido resultante del funcionamiento con múltiples portadoras del amplificador de potencia en cuestión, en las estaciones terrenas y en las estaciones espaciales, los aislamientos por polarización cruzada de las diferentes antenas transmisoras y receptoras, el aumento de potencia térmica debido a los desvanecimientos por la lluvia, la temperatura del Sol, y de la Luna si procede) que varía también en función de la configuración de la transmisión y con los desvanecimientos de los enlaces ascendente y descendente. N_T incluye también las contribuciones a largo plazo de otras redes. Por tanto, se puede describir N_T como una función de A_{\uparrow} y A_{\downarrow} como:

$$N_T = N_{T,cs} \cdot G(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})$$

$N_{T,cs}$: potencia de ruido en condiciones de cielo despejado (condición a largo plazo) (W)

- I : potencia de interferencia variable en el tiempo (W) generada por otras redes.

Hipótesis 2: Debido al desvanecimiento y a otras variaciones en el tiempo de las características del enlace puede tenerse en cuenta la disminución de la potencia de la portadora debida al desvanecimiento del enlace ascendente A_{\uparrow} y al desvanecimiento del enlace descendente A_{\downarrow} , es decir, $F(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})$, y el aumento de ruido, es decir, $G(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})$, para sustituir C por C/X , con $X = H(A_{\uparrow}, A_{\downarrow}) = F(A_{\uparrow}, A_{\downarrow}) \cdot G(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})$, siendo la degradación correspondiente x (dB):

$$x = 10 \log X = 10 \log (H(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})) \quad (1)$$

El efecto de la interferencia puede representarse aumentando la potencia de ruido de N_T a $Y N_T$, pasando a ser la degradación correspondiente y (dB):

$$y = 10 \log Y \quad (2)$$

Por consiguiente, la degradación total z , de la relación C/N (dB) es:

$$z = x + y \quad (3)$$

Se supone que las variables aleatorias x e y son estadísticamente independientes y, por lo tanto, la función de densidad de probabilidad de z es la convolución de las funciones de densidad de probabilidad de x e y . La independencia entre estas dos variables aleatorias es una aproximación debido a que la presencia de desvanecimiento puede aumentar el nivel de ruido y provocar una disminución de I (desvanecimiento en el trayecto de interferencia). En ambos casos, la hipótesis de independencia es conservadora en el sentido de que realiza una sobreestimación del efecto de la interferencia.

Además se deduce de la definición de y que:

$$Y = 1 + (I/N_T) \quad (4)$$

siendo I la potencia interferente.

Para poder calcular la función de densidad de probabilidad de la degradación x es necesario identificar, antes de la aplicación de esta metodología, los parámetros exactos de las portadoras de la red considerada, así como los parámetros necesarios requeridos para elaborar el cómputo de los desvanecimientos de los enlaces ascendentes y descendentes así como las funciones de reducción de potencia y aumento de ruido (F y G).

Hipótesis 3: Los márgenes de tiempo para cada entrada de interferencia se obtienen dividiendo por N los márgenes de tiempo asociados con la interferencia total. Este número N se relaciona con el número de redes que pueden causar potencialmente interferencia variable en el tiempo y se denominarán como el número equivalente de redes. N puede también variar en función del porcentaje de tiempo considerado.

Hipótesis 4: Este análisis supone que, durante un evento de desvanecimiento, la portadora deseada es atenuada pero la portadora interferente no lo es. Esta hipótesis resulta en cierta sobreestimación de la degradación total del enlace descendente en los casos cuando las crestas de interferencia y el desvanecimiento del enlace descendente se producen simultáneamente.

2 Datos de entrada

Se necesitan los datos siguientes para verificar la conformidad con el *recomienda 3* o para determinar los márgenes de interferencia que satisfagan el *recomienda 3*, correspondientes a una portadora deseada específica.

a) Los requisitos de calidad de funcionamiento de la portadora deseada, expresados por los valores de la BER asociada a los distintos porcentajes de tiempo. Generalmente se tratará de un conjunto de valores de BER_j ($j = 1, \dots, J$) y los correspondientes porcentajes del año p_j ($j = 1, \dots, J$) para los cuales la BER puede ser peor que la BER_j .

b) La relación portadora/ruido en condiciones de cielo despejado $(C/N)_{cs}$ así como los valores de la relación portadora/ruido $(C/N)_j$ ($j = 1, \dots, J$) correspondientes a los valores de la BER, BER_j , definidos en a). Además, si se utiliza control de potencia, es preciso tener información sobre los procedimientos correspondientes. Los valores de la C/N pueden darse directamente sin asociarlos a los valores de la BER, en cuyo caso sólo se necesitan los valores de p_j ($j = 1, \dots, J$) indicados en a).

c) La función de densidad de probabilidad $p_x(X)$ de la variable aleatoria x , que expresa en dB la degradación en la calidad de funcionamiento debida al desvanecimiento y a cualquier otra variación en el tiempo de las características del enlace. Esta función de densidad de probabilidad depende en gran medida de la presencia de control de potencia y sus características. Dicha función debe ser compatible con el *recomienda 3.1* y, por consiguiente, la degradación x no puede utilizar más del 90% de los márgenes de tiempo asociados con cada nivel de BER (o C/N) (véase en la ecuación (6) la expresión matemática de esta condición).

d) El número N equivalente de redes interferentes que pueden provocar interferencia variable en el tiempo y que compartirán la misma banda de frecuencias con la red deseada. Para una red deseada del SFS/OSG, N está relacionado con el número de sistemas no OSG que comparten la misma banda de frecuencias. Para una red deseada no OSG, N está relacionado con el número de otras redes no OSG más el número de posiciones orbitales OSG potencialmente interferentes visibles 2° por encima del ángulo de elevación mínimo por la estación terrena de la red no OSG.

Además, para verificar la conformidad, se debe proporcionar la función de densidad de probabilidad $p_y(Y)$ de la degradación debida a la interferencia. Esta dfp se puede obtener mediante la aplicación de cualquiera de las metodologías descritas en esta Recomendación o de hecho por cualquier otro medio que pueda considerarse adecuado.

3 Procedimiento propuesto

3.1 Verificación de conformidad con el *recomienda 3*

Para verificar la conformidad con el *recomienda 3*, es necesario obtener la función de densidad de probabilidad $p_z(Z)$ de la degradación total, que viene dada por:

$$p_z(Z) = p_x p_y(Z) \quad (4a)$$

donde $p_x(X)$ y $p_y(Y)$ son dados como datos de entrada. Las condiciones que han de verificarse son:

$$P(z \geq z_j) \leq (0,9 + 0,1 / N) p_j / 100 \quad \text{para } j = 1, \dots, J \quad (4b)$$

Los procedimientos detallados para aplicar esta verificación de conformidad con el *recomienda* 3 figuran en el Anexo 2, donde se dan también ejemplos de la aplicación de estos procedimientos.

3.2 Obtención de márgenes de interferencia

Basándose en las hipótesis y en los datos de entrada requeridos indicados anteriormente, los pasos siguientes definen el procedimiento para determinar los márgenes de interferencia correspondientes a una portadora deseada determinada.

Paso 1: A partir de a) y b) de los datos de entrada, los valores z_j de la degradación total, z , que pueden rebasarse como máximo durante el $p_i\%$ del año se determinan a partir de la expresión:

$$z_j = (C/N)_{CS} - (C/N)_j \quad \text{para } j = 1, \dots, J \quad (5)$$

En consecuencia, las condiciones de $p_x(X)$ indicadas en c) de los datos de entrada pueden expresarse de la forma siguiente:

$$P(x \geq z_j) \leq (0,9 p_j) / 100 \quad (6)$$

Paso 2: Se elige una representación paramétrica para la función densidad de probabilidad, $p_y(Y)$ correspondiente a la degradación debida a la interferencia. En el caso de un transpondedor transparente, ello incluye la interferencia de enlaces ascendente y descendente procedente de todas las estaciones terrenas y estaciones espaciales de la red interferente. Cuando hay procesamiento a bordo, es necesario establecer densidades de probabilidad separadas para las degradaciones del enlace ascendente y del enlace descendente. El compromiso en este caso es, por un lado, lograr una representación lo suficientemente detallada de $p_y(Y)$ y, por otro lado, mantener los cálculos lo suficientemente sencillos. Esta representación dependerá de cierto número K de parámetros α_k ($k = 1, \dots, K$) y puede expresarse como:

$$p_y(Y) = f(Y, \alpha_1, \dots, \alpha_K) \quad (7)$$

Paso 3: La representación paramétrica de la degradación total, z , se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$p_z(Z) = p_x * p_y(Z) \quad (8)$$

donde $p_x(X)$ figura en c) de los datos de entrada y $p_y(Y)$ se definió en el Paso 2. Como $p_y(Y)$ depende de los parámetros $\alpha_1, \dots, \alpha_K$, de acuerdo con la ecuación (7) así lo hace igualmente $p_z(Z)$. Por consiguiente, esta función puede expresarse de la forma siguiente:

$$p_z(Z) = h(Z, \alpha_1, \dots, \alpha_K) \quad (9)$$

Paso 4: A partir de la ecuación (9) puede calcularse la probabilidad de que la degradación total, z , rebasa cada uno de los valores z_j obtenidos en el Paso 1. Cada una de estas probabilidades es función de los parámetros $\alpha_1, \dots, \alpha_K$ y puede expresarse como:

$$P(z \geq z_j) = r_j(\alpha_1, \dots, \alpha_K) \quad \text{para } j = 1, \dots, J \quad (10)$$

Por último, los parámetros $\alpha_1, \dots, \alpha_K$ pueden obtenerse a partir de las condiciones:

$$r_j(\alpha_1, \dots, \alpha_K) \leq (0,9 + 0,1/N) p_j / 100 \quad \text{para } j = 1, \dots, J \quad (11)$$

siendo los valores de p_i los que figuran en a) de los datos de entrada asociados con las degradaciones, z_i , calculadas en el Paso 1 y n es el número de fuentes de interferencia.

Paso 5: A partir de los parámetros $\alpha_1, \dots, \alpha_K$ calculados en el Paso 4, se obtiene la función de densidad de probabilidad de y , definida en la ecuación (7). Esta función de densidad de probabilidad permite definir una máscara para la interferencia, I , producida por una red interferente y expresada como una fracción del ruido total en el enlace N_T . Por ejemplo, si:

$$P(y \geq Y_m) \leq q_m \quad (12)$$

se deduce que:

$$P(I \geq (10^{Y_m/10} - 1) N_T) \leq q_m \quad (13)$$

A partir de $p_y(Y)$ pueden calcularse un cierto número M de pares $((10^{Y_m/10} - 1) N_T, q_m)$ definiendo de esa forma una máscara para los márgenes de interferencia causada por una red interferente.

4 Interferencia a sistemas que utilizan transpondedores transparentes: Efectos conjuntos de desvanecimiento e interferencia del enlace ascendente y del enlace descendente

Sea X_{\uparrow} la degradación debida al desvanecimiento en la C/N del enlace ascendente y X_{\downarrow} la degradación debida al desvanecimiento en la C/N del enlace descendente. En general, X_{\uparrow} será igual a la atenuación debida a la lluvia mientras que X_{\downarrow} incorporará además los efectos del aumento en la temperatura de ruido del receptor.

Si N_{\uparrow} y N_{\downarrow} indican los ruidos totales del enlace ascendente y del enlace descendente con cielo despejado, e I_{\uparrow} e I_{\downarrow} indican las interferencias variables en el tiempo del enlace ascendente y el enlace descendente, la C/N con cielo despejado y en ausencia de cualquier interferencia variable en el tiempo puede expresarse como:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{cs} = \frac{C}{N_{\uparrow} + N_{\downarrow}} \quad (14)$$

mientras que la C/N en presencia de desvanecimiento e interferencia de enlace ascendente y enlace descendente puede expresarse como:

$$\left(\frac{C}{N}\right) = \frac{1}{\frac{X_{\uparrow}(N_{\uparrow} + I_{\uparrow})}{C} + \frac{X_{\uparrow}X_{\downarrow}(N_{\downarrow} + I_{\downarrow})}{C}} \quad (15)$$

Por tanto, la degradación debida al desvanecimiento e interferencia de enlace ascendente y enlace descendente puede expresarse como:

$$Z = aX_{\uparrow}\left(1 + \frac{I_{\uparrow}}{N_{\uparrow}}\right) + (1 - a)X_{\uparrow}X_{\downarrow}\left(1 + \frac{I_{\downarrow}}{N_{\downarrow}}\right) = X_{\uparrow}[aY_{\uparrow} + (1 - a)X_{\downarrow}Y_{\downarrow}] \quad (16)$$

donde:

$$Y_{\uparrow} = 1 + \frac{I_{\uparrow}}{N_{\uparrow}} \quad (17)$$

es la degradación de la C/N del enlace ascendente con condiciones de cielo despejado debido a interferencia del enlace ascendente,

$$Y_{\downarrow} = 1 + \frac{I_{\downarrow}}{N_{\downarrow}} \quad (18)$$

es la degradación de la C/N del enlace descendente con condiciones de cielo despejado debido a la interferencia del enlace descendente, y

$$a = \frac{N_{\uparrow}}{N_{\uparrow} + N_{\downarrow}} \quad (19)$$

Si se escribe:

$$V = aY_{\uparrow} + (1 - a)Z_{\downarrow} \quad (20)$$

donde:

$$Z_{\downarrow} = X_{\downarrow}Y_{\downarrow} \quad (21)$$

es la degradación total debida a la interferencia y al desvanecimiento en la C/N con cielo despejado del enlace descendente, entonces:

$$Z = X_{\uparrow}V \quad (22)$$

o (dB):

$$z = 10 \log Z = 10 \log X_{\uparrow} + 10 \log V = x_{\uparrow} + v \quad (23)$$

La ecuación (22) o la (23), combinada con las ecuaciones (20) y (21) da la degradación total debido a interferencia y desvanecimiento en función de las degradaciones de la C/N del enlace ascendente con cielo despejado debido al desvanecimiento (X_{\uparrow}) e interferencia (I_{\uparrow}) y las degradaciones de la C/N del enlace descendente con cielo despejado debido al desvanecimiento (X_{\downarrow}) e interferencia (I_{\downarrow}).

Para obtener la función de densidad de probabilidad de la degradación total, z (dB) indicada en la ecuación (23), hay que convolucionar la función de densidad de probabilidad de la degradación debida al desvanecimiento del enlace ascendente x_{\uparrow} , y expresada en dB, con la función de densidad de probabilidad de la variable aleatoria v , definida por:

$$v = 10 \log[aY_{\uparrow} + (1 - a)Z_{\downarrow}] \tag{24}$$

Para obtener la función de densidad de probabilidad de la variable aleatoria, v , es necesario en primer lugar convolucionar las funciones de densidad de probabilidad de las variables aleatorias aY_{\uparrow} y $(1 - a)Z_{\downarrow}$.

Ejemplo

Como un ejemplo de la consideración de los efectos conjuntos de la interferencia y el desvanecimiento de los enlaces ascendente y descendente, se considera en este caso la interferencia causada por un sistema del SFS no OSG a una red del SFS OSG.

Los parámetros pertinentes del enlace OSG son:

- emplazamiento de la estación terrena: 26° N, 128° E
- modelo de lluvia: Recomendación UIT-R P.618, Región N
- ángulo de elevación hacia el satélite OSG (en 132° E): 59,28°
- $a = N_{\uparrow}/(N_{\uparrow} + N_{\downarrow}) = 0,0988$
- margen del sistema: 11,5 dB.

La estación terrena no OSG está colocada con la estación terrena OSG.

Las funciones de densidad de probabilidad de las degradaciones debidas al desvanecimiento del enlace ascendente, x_{\uparrow} , interferencia del enlace ascendente, y_{\uparrow} , desvanecimiento del enlace descendente, x_{\downarrow} , e interferencia del enlace descendente, y_{\downarrow} , se muestran en la Fig. 1. Utilizando el procedimiento descrito anteriormente se puede obtener la función de densidad de probabilidad de la degradación total z , mostrada en la Fig. 2, donde se presenta también la función de densidad de probabilidad de la degradación del enlace descendente, z_{\downarrow} . De acuerdo con las probabilidades de degradación total que rebasa el margen del sistema y la degradación del enlace descendente que rebasa el margen del sistema, se observa que en este caso predominan los efectos de degradación del enlace descendente (desvanecimiento más interferencia).

FIGURA 1
Función de densidad de probabilidad de la degradación debida a la lluvia y a la interferencia

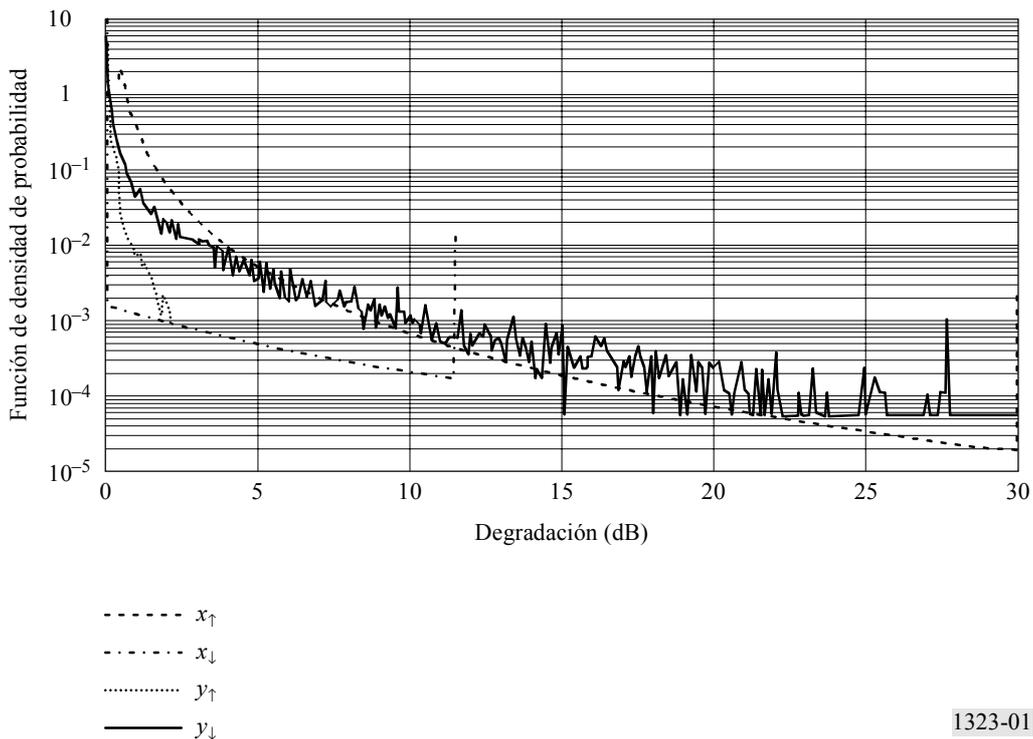
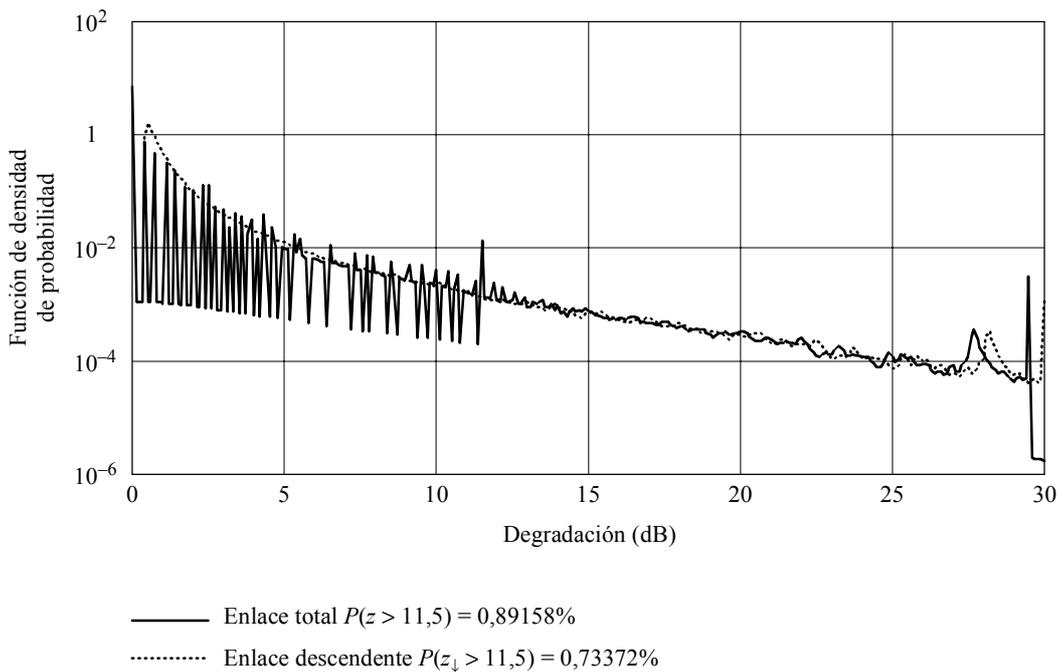


FIGURA 2

Función de densidad de probabilidad de la degradación total



1323-02

5 Consideración de la degradación debida al desvanecimiento en enlaces con ángulo de elevación variable

En los enlaces a y desde satélites no OSG, la degradación debida al desvanecimiento se produce también en función del ángulo de elevación γ . Una manera aproximada de tener esto en cuenta consiste en determinar la función de densidad de probabilidad de la degradación debida al desvanecimiento para el ángulo de elevación medio, γ_{av} . Sin embargo, un método más exacto es obtener la función de densidad de probabilidad de $p_{\gamma}(\Gamma)$ del ángulo de elevación y expresar después la función de densidad de probabilidad de $p_x(X)$ de la degradación como:

$$p_x(X) = \int_0^{\pi/2} p_{x|\gamma}(X|\gamma = Z)p_{\gamma}(Z) dZ \tag{25}$$

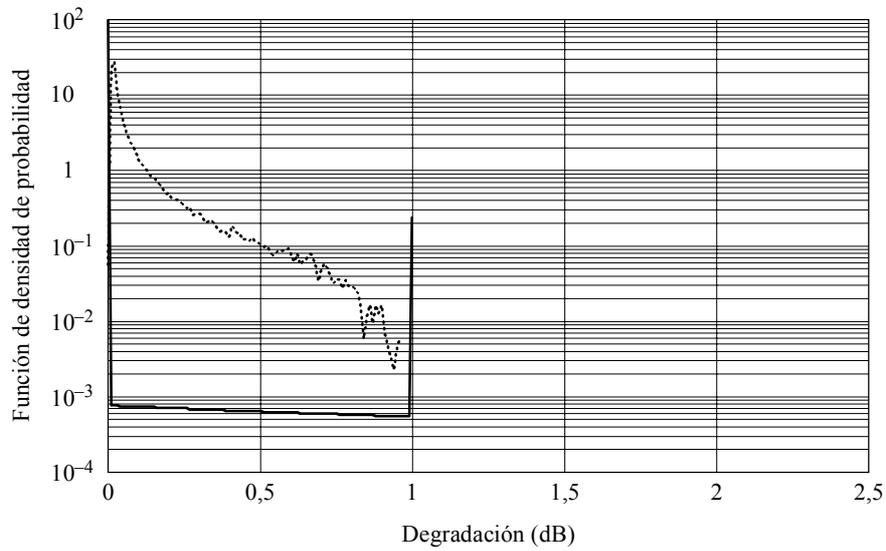
Ejemplo

Como un ejemplo, considérese la interferencia entre los enlaces ascendentes de dos sistemas de satélite no OSG. El sistema no OSG interferido evita eventos en línea empleando un ángulo de evitación de 10° . Este ángulo de evitación es justamente suficiente para que la degradación total, z , satisfaga el porcentaje de tiempo admisible. El enlace ascendente víctima utiliza control de potencia con una gama dinámica de 6,8 dB con un margen de enlace en condiciones de cielo despejado de 1 dB y un margen de enlace en condiciones de precipitaciones intensas de 0 dB. La función de densidad de probabilidad correspondiente para el desvanecimiento debido a la lluvia se representó pues con un impulso en 0 dB correspondiente a la probabilidad de que x (degradación debida al desvanecimiento) esté entre 0 y 5,8 dB y un segundo impulso en 1 dB que corresponde a la probabilidad de que x exceda de 6,8 dB.

La Fig. 3 muestra la función de densidad de probabilidad del desvanecimiento debido a la lluvia, x , y la degradación debida a la interferencia, y , para la interferencia del enlace ascendente, donde la distribución de x se basa en el ángulo de elevación medio. Se utiliza el modelo de lluvia de Crane. La Fig. 4 muestra la degradación total correspondiente, z , derivada de la convolución de las funciones de densidad de probabilidad de x e y .

FIGURA 3

Función de densidad de probabilidad de la degradación por desvanecimiento debido a la lluvia, x , e interferencia, y , obtenida con el modelo de Crane y ángulo de elevación medio ponderado
(enlace ascendente LEOSAT-2, ángulo de evitación de 10°)

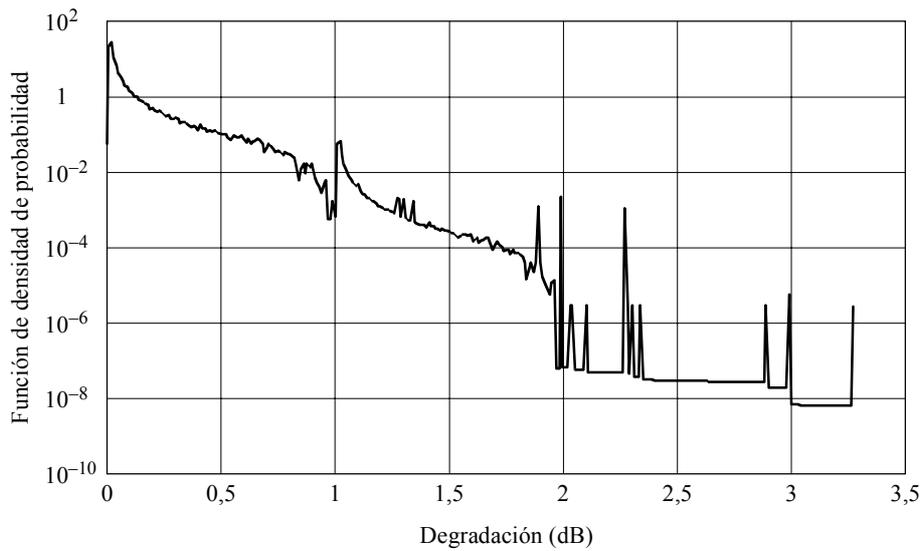


— x
 y
 $P(x > 1) < 0,24113\%$

1323-03

FIGURA 4

Función de densidad de probabilidad de la degradación total, z , obtenida con el modelo de Crane y ángulo de elevación medio ponderado
(enlace ascendente LEOSAT-2, ángulo de evitación de 10°)



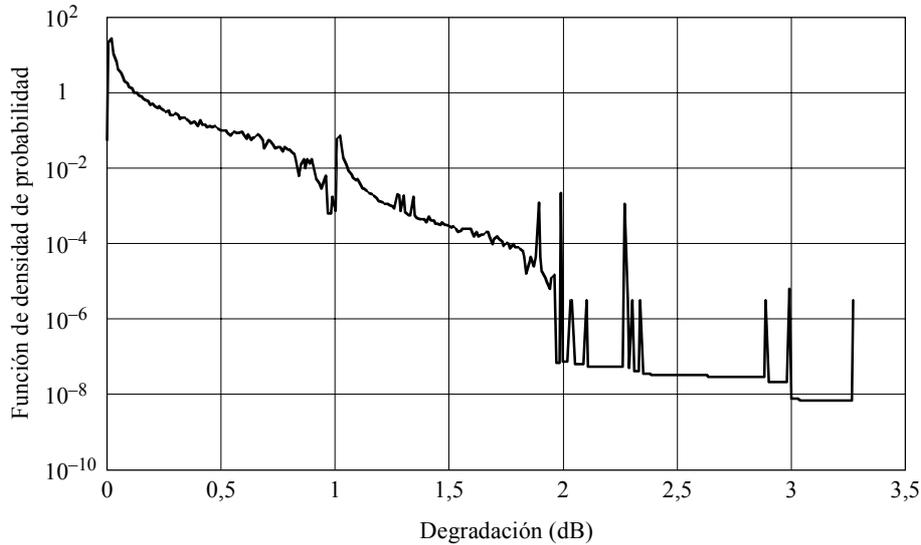
Umbral = 0,26792%
 $P(z > 1) = 0,25783\%$

1323-04

La Fig. 5 muestra la distribución de la degradación total, z , cuando la distribución del ángulo de elevación se utiliza para generar el desvanecimiento debido a la lluvia en vez de utilizar el ángulo de elevación medio. La degradación total cumple el margen de tiempo, de manera similar a los resultados mostrados en la Fig. 2.

FIGURA 5

Función de densidad de probabilidad de la degradación total, z , obtenida con el modelo de Crane y distribución del ángulo de elevación
(enlace ascendente LEOSAT-2, ángulo de elevación de 10°)



Umbral = 0,29394%

$P(z > 1) = 0,28159\%$

1323-05

Otros ejemplos han confirmado que calcular la degradación debida al desvanecimiento propuesto en la ecuación (25), o basar este cálculo en el ángulo de elevación medio, γ_{av} , produce esencialmente resultados idénticos. Esto justifica el uso de un método más sencillo, es decir, calcular la degradación debida al desvanecimiento sobre la base del ángulo medio, γ_{av} .

En el Anexo 3 se describe un procedimiento para considerar la variación en el tiempo de los parámetros de un enlace no OSG y tener también en cuenta cualquier posible dependencia estadística entre el desvanecimiento y la interferencia.

6 Ejemplos de aplicación de la Metodología A

En este caso se considera un enlace descendente OSG que se supone funciona de manera que la C/N recibida esté por encima de un valor de umbral $(C/N)_{umbral}$ durante el 99,9% del tiempo, como mínimo.

Se supone que la degradación debida al desvanecimiento incluye la atenuación debida a la lluvia directamente obtenida del modelo de dos componentes de Crane más el efecto del aumento en la temperatura de ruido debido a la lluvia. Se supone además que el ruido total del enlace descendente incluye también la interferencia (dentro del sistema y entre sistemas) y que la interferencia experimenta también desvanecimiento en la misma medida que la señal deseada.

La degradación X expresada como un factor, viene dada por:

$$X = \frac{(1 - \alpha) \left\{ L_R + \left[\frac{(T_0 - T_B)}{T_{sys}} \right] [(L_R - 1 / L_A)] \right\} + (\alpha / L_A)}{(1 - \alpha) + (\alpha / L_A)} \quad (26)$$

donde:

- α : fracción del ruido total de enlace descendente con condiciones de cielo despejado debido a interferencia
- L_R : atenuación debida a la lluvia
- T_0 : temperatura de absorción media (274,8 K)
- T_B : temperatura de fondo (2,76 K para el cielo)
- T_{sys} : temperatura de ruido térmico del enlace descendente
- L_A : pérdida debida a la absorción atmosférica (1,07 – que corresponde a 0,3 dB).

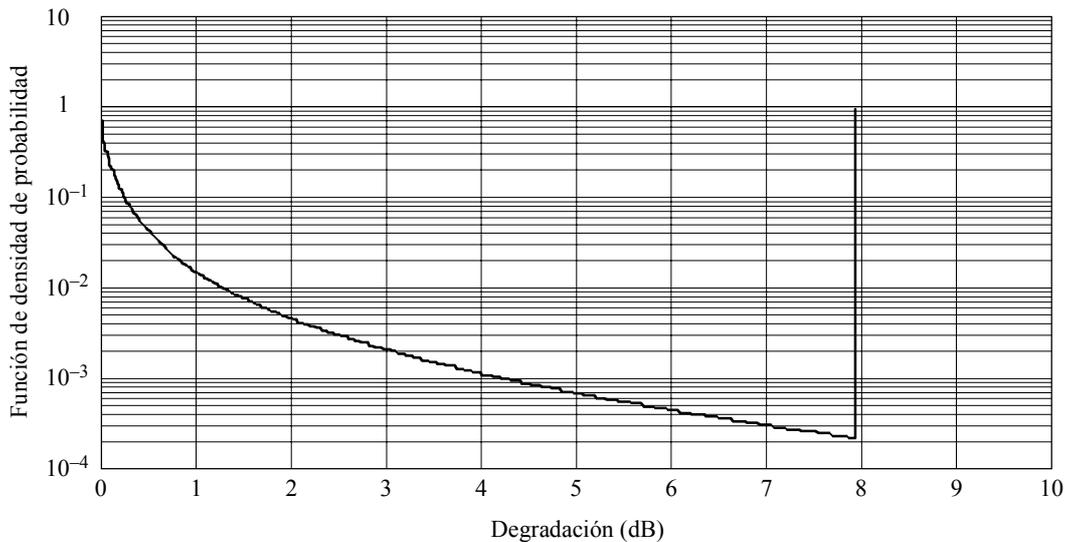
Para estar por encima de un determinado umbral $(C/N)_{umbral}$ durante el 99,9% del tiempo, el enlace está diseñado con un margen $X_{máx}$ –diferencia entre $(C/N)_{cs}$, (C/N) con cielo despejado) y $(C/N)_{umbral}$ – de modo que $p(x > X_{máx}) = 0,09\%$ (el 0,01% restante tendrá en cuenta los efectos de la interferencia).

Suponiendo una estación terrena situada en la ciudad de Nueva York (latitud 41° N, longitud 74° W) que recibe en 19 GHz con un ángulo de elevación de 42,43°, $\alpha = 0,2$ y $T_{sys} = 323,6$ K, resulta que $X_{máx} = 7,923$ dB y por tanto:

$$(C/N)_{cs} - (C/N)_{umbral} = 7,923 \tag{27}$$

La función de densidad de probabilidad de $p_x(X)$ correspondiente de la degradación x debida al desvanecimiento se muestra en la Fig. 6. Esta función de densidad de probabilidad ha sido recortada en $X = X_{máx} = 7,923$.

FIGURA 6
**Función de densidad de probabilidad de la degradación, x ,
 debida al desvanecimiento debido a la lluvia
 (para receptor OSG)**



$X = 7,923$ para $P(x > X) = 0,09\%$

1323-06

Se ha verificado que en algunas situaciones representativas, $p_y(Y)$ puede ser modelada adecuadamente por la función mostrada en la Fig. 7.

En este punto, se considera separadamente el uso de la Metodología A para obtener una plantilla de interferencia y para verificar si en un caso específico se cumplen o no los requisitos del *recomienda* 3.

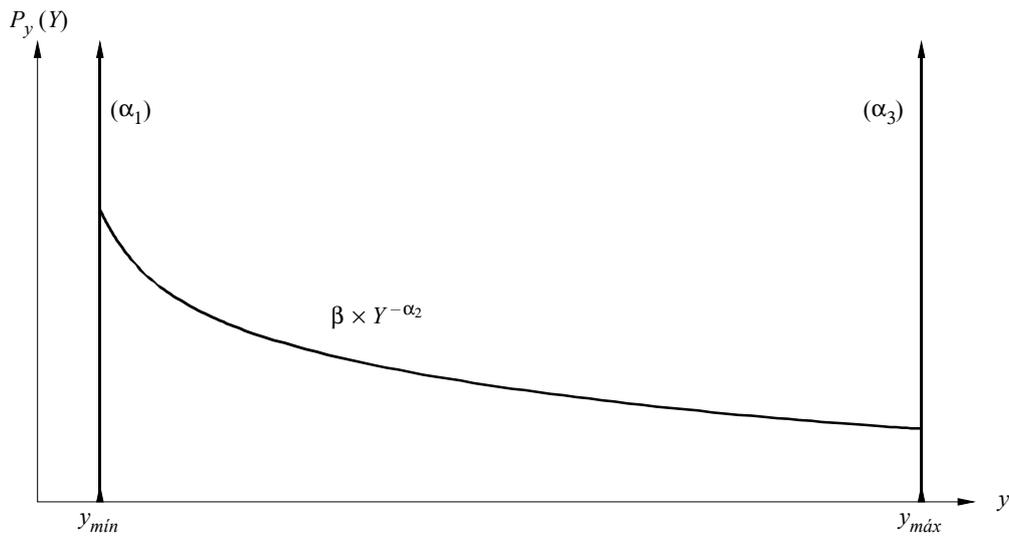
6.1 Obtención de la plantilla de interferencia

La obtención de una plantilla de probabilidad requeriría convolucionar las funciones de densidad de probabilidad de las Figs. 6 y 7 y asegurar que la función de densidad de probabilidad de $p_z(Z)$ resultante es tal que se cumple la condición indicada en la ecuación (11) de la descripción de la Metodología A. En este ejemplo, esta condición se convierte en:

$$P(z > 7,923) \leq 0,1\% \tag{28}$$

FIGURA 7

Modelo paramétrico para la degradación, y , debida a interferencia expresada en dB



1323-07

Naturalmente, dadas las dificultades evidentes que comprende convolucionar analíticamente $p_x(X)$ y $p_y(Y)$, $P(z > 7,923)$ no se puede expresar analíticamente en función de los parámetros α_1 , α_2 , α_3 (obsérvese que el parámetro β de la Fig. 7 es una función de α_1 , α_2 , α_3). En cambio, hay que efectuar la convolución para varias opciones de α_1 , α_2 , α_3 , de modo que se puedan determinar conjuntos de posibles valores de estos parámetros (al efectuar estas convoluciones y_{min} se hizo muy pequeña, 0,04, e $y_{máx}$ se hizo igual a 7,923). Estos posibles valores son aquellos para los cuales se satisface la desigualdad en la ecuación (28). En el Cuadro 1 se da una muestra de posibles opciones para α_1 , α_2 , α_3 .

CUADRO 1

Conjuntos de valores de α_1 , α_2 , α_3 que podrían cumplir la desigualdad $P(z > 7,923) \leq 0,1\%$

α_1	α_2	α_3	$P(z > 7,923)$
0,25	2,5	0,00007	0,000998
	2,0	0,00002	0,000999
0,50	2,5	0,00007	0,000992
	2,0	0,00004	0,000962
0,75	2,5	0,00008	0,000996
	2,0	0,00006	0,000993
0,90	2,5	0,00008	0,000992
	2,0	0,00008	0,000999
	1,5	0,00004	0,000994
0,95	2,5	0,00008	0,000991
	2,0	0,00008	0,000994
	1,5	0,00006	0,000992
	1,0	0	0,000995

Según lo previsto, del Cuadro 1 se deduce que α_1 y α_3 por sí mismas no aseguran que se satisface la desigualdad en la ecuación (28). Mientras más alto es el valor de α_2 , más flexible es la opción de α_1 y α_3 . Por consiguiente, las condiciones que se han de imponer a $p_y(Y)$ deben incluir algún punto intermedio de la distribución, de acuerdo con el valor

requerido para α_2 . Naturalmente, mientras mayor sea el valor de α_2 , más alta será la probabilidad de que se produzca degradación más baja debida a la interferencia. Por ejemplo, del conjunto de valores $\alpha_1 = 0,90$; $\alpha_2 = 1,5$ y $\alpha_3 = 0,00004$, las condiciones que se han de imponer a la interferencia I se podrían expresar como:

$$P(I \geq 0,01N_T) \leq 10\%$$

$$P(I \geq 0,1N_T) \leq 2,69\%$$

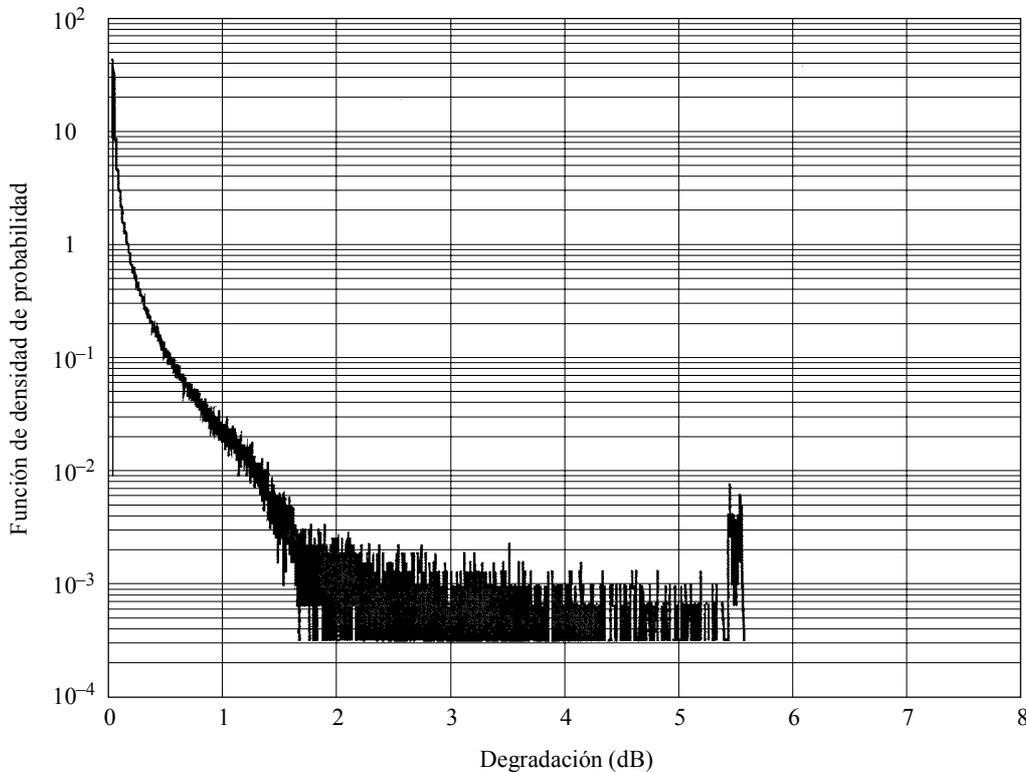
$$P(I \geq 5,2N_T) \leq 0,004\%$$

6.2 Verificación de si se cumplen o no los requisitos del *recomienda 3*

Si se trata una situación específica, y se pone a disposición una función de densidad de probabilidad de $p_y(Y)$ de la degradación y debida a interferencia, la verificación de si se cumplen o no los requisitos del *recomienda 3* es directa. Hay que convolucionar las funciones de densidad de probabilidad de $p_x(X)$ y $p_y(Y)$, generando una función de densidad de probabilidad $p_z(Z)$ asociada con la degradación total z . El conocimiento de $p_z(Z)$ permite calcular el miembro izquierdo de la ecuación (28) y verificar por tanto si se satisface la desigualdad.

Como una ilustración, en la Fig. 8 se muestra una función de densidad de probabilidad $p_y(Y)$, obtenida por simulación y correspondiente a la degradación debida a la interferencia causada por una constelación no OSG al enlace descendente OSG considerado en este ejemplo.

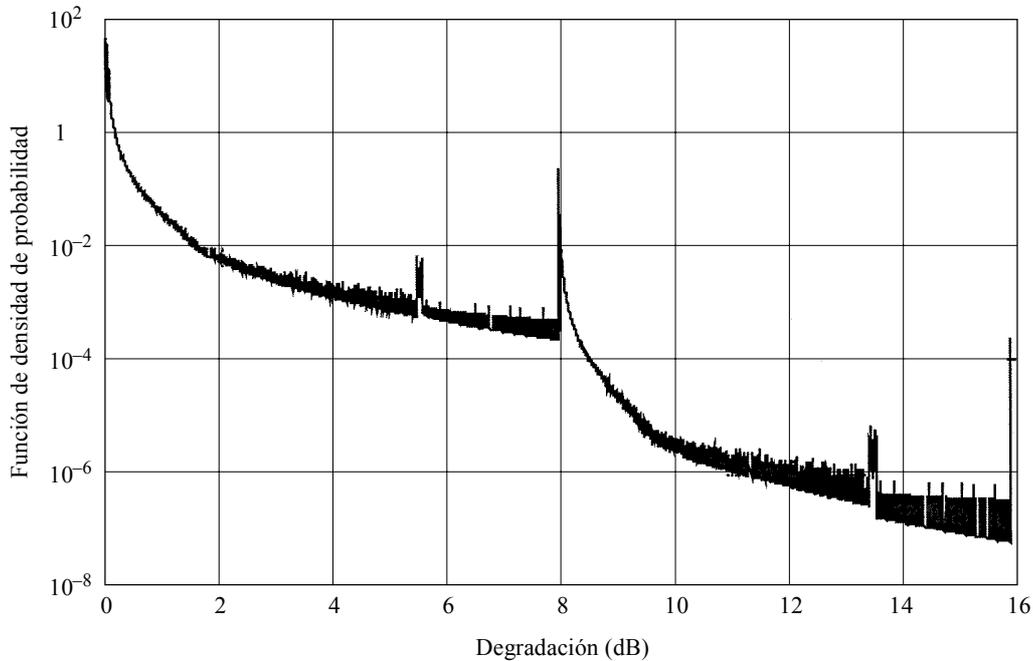
FIGURA 8
**Función de densidad de probabilidad de la degradación
 debida a la interferencia, y, obtenida por simulación
 (para sistemas no OSG/OSG)**



Al convolucionar las funciones de las Figs. 6 y 8, se obtiene la función de densidad de probabilidad de $p_z(Z)$, mostrada en la Fig. 9.

FIGURA 9

Función de densidad de probabilidad de la degradación total, z , obtenida por convolución de las funciones de densidad de probabilidad de las Figs. 6 y 8 (para sistemas no OSG/OSG)



1323-09

$$P(z > 7,923) = 0,12035\%$$

A partir de la función de densidad de probabilidad de la Fig. 9, se puede calcular que:

$$P(z > 7,293) = 0,12035\%$$

lo que significa que no se cumplen los requisitos del *recomienda 3*, expuestos en la ecuación (28).

PARTE 2

Metodología A'

1 Introducción

La Metodología A' es una simplificación de la Metodología A, en la cual se eligen representaciones paramétricas específicas para las funciones de densidad de probabilidad del desvanecimiento debido a la lluvia e interferencia, para establecer la probabilidad conjunta de desvanecimiento e interferencia y asegurar que la probabilidad acumulada conjunta satisface los criterios de calidad de funcionamiento del enlace especificado, que se caracteriza por un conjunto de degradaciones en la C/N y las correspondientes fracciones de tiempo, $p_i^{C/N}$, durante las cuales las degradaciones pueden ser rebasadas. La degradación de la calidad de funcionamiento del sistema producida por el desvanecimiento debido a la lluvia se caracteriza por la función de densidad de probabilidad, $p_x(x)$, de que la degradación debida al desvanecimiento esté entre x y $x + \delta x$ dB, y la degradación debida a la interferencia se caracteriza similarmente por la función de densidad de probabilidad $p_y(y)$ de que la degradación debida a la interferencia esté entre y y $y + \delta y$ dB. Los objetivos

de calidad de funcionamiento global del enlace se lograrán a condición de que la distribución de probabilidad acumulada conjunta del desvanecimiento y de la interferencia no rebase los objetivos especificados de degradación de la C/N . La probabilidad de que una degradación z exceda de un valor z_i , $P(z \geq z_i)$, debe ser menor que los criterios de calidad de funcionamiento especificados $p_i^{C/N}$, es decir,

$$P(z \geq z_i) = \int_{z_i}^{\infty} p_z(z) dz \leq p_i^{C/N} \quad (29)$$

con:

$$p_z(z) = p_x(x) * p_y(y) \quad (30)$$

donde * representa la convolución de las dos probabilidades. La convolución se expresa matemáticamente mediante:

$$p_z(z) = \int_{-\infty}^{\infty} p_x(w) \cdot p_y(z - w) dw \quad (31)$$

Como la función de densidad de probabilidad del desvanecimiento, $p_x(x)$ y los diversos puntos de la curva de distribución de probabilidad que deba lograrse la característica C/N , que depende de $p_z(z)$ están predeterminados, los niveles de interferencia que pueden ser admitidos para distintos porcentajes de tiempo, mientras se cumplen aún los objetivos de calidad de funcionamiento del enlace, pueden ser determinados hallando una curva para la densidad de probabilidad $p_y(y)$ que satisfaga la ecuación anterior. En la práctica, los niveles máximos de interferencia admisible se especifican cuando esta ecuación se expresa como una igualdad. En esencia, el problema se reduce a hallar un conjunto de niveles de interferencia, y_j , que no sean excedidos durante el $p_y (= 100p_y)$ porcentaje del año, que satisfaga esta ecuación.

La Metodología A' proporciona una solución de primer orden a la ecuación (29) en la cual las funciones de densidad de probabilidad están parametrizadas por dos puntos, correspondientes a:

- porcentaje de tiempo en el que se rebasa un nivel dado de desvanecimiento debido a la lluvia o interferencia;
- porcentaje de tiempo más allá del cual hay poca o ninguna probabilidad de desvanecimiento debido a la lluvia o interferencia,

junto con la pendiente lineal de la distribución entre estos dos puntos. Este modelo de un rectángulo da una solución analítica a la integral de la ecuación (29), que puede realizarse fácilmente en una hoja de cálculo electrónica.

2 Procedimiento propuesto

La aplicación del siguiente procedimiento diferirá de acuerdo con la naturaleza del transpondedor del satélite. Para un transpondedor transparente es usual referir los límites de interferencia a los terminales de salida de la antena de estación terrena receptora. En este caso, como el desvanecimiento y la interferencia en los enlaces ascendente y descendente degradarán la portadora deseada, y para transpondedores con múltiples portadoras las reducciones del nivel de la portadora debidas a desvanecimientos del enlace ascendente resultarán en reducciones iguales en el nivel de la portadora del enlace descendente, estrictamente hablando, sería necesario convolucionar las estadísticas de propagación del enlace ascendente y del enlace descendente para determinar la distribución $p_x(x)$. Sin embargo, si no se aplica control de potencia al enlace ascendente, las atenuaciones de este enlace pueden tender a predominar en las estadísticas de propagación a corto plazo porque la atenuación debida a la lluvia para un porcentaje de tiempo dado es mucho mayor en la frecuencia más alta del enlace ascendente que en la frecuencia más baja del enlace descendente. Por tanto, a los efectos actuales, se puede simplificar la utilización de las estadísticas de atenuación debida a la lluvia prevista para la frecuencia del enlace ascendente. Para las portadoras que son objeto de control de potencia en el trayecto ascendente, es necesario continuar los estudios, pero mientras tanto, se pueden obtener estimaciones del orden de magnitud correcto en este caso suponiendo que los desvanecimientos netos del enlace ascendente no son más graves que los desvanecimientos del enlace ascendente, utilizando así la atenuación debida a la lluvia prevista para la frecuencia del enlace descendente. Sin embargo, puede haber casos, incluso con control de potencia, en que predominen los desvanecimientos del enlace ascendente.

En el caso de un transpondedor remodulador, como las relaciones C/N y C/I del enlace ascendente están desacopladas de las relaciones C/N y C/I del enlace descendente, los criterios de interferencia pueden ser obtenidos separadamente para los dos segmentos de la conexión, asignando toda la degradación a corto plazo al desvanecimiento más interferencia en cada trayecto.

Sobre la base de las hipótesis y los datos de entrada requeridos indicados anteriormente, los siguientes pasos definen el procedimiento para determinar los márgenes de interferencia correspondientes a cualquier portadora deseada dada.

2.1 Paso 1: Caracterización de la degradación permitida de la C/N

En primer lugar, determinar los valores z_j de la degradación total z , definida en la ecuación (32) de la Metodología A, que no puede ser rebasada durante más del $p_j\%$ del año:

$$z_j = \left(\frac{C}{N}\right)_{cs} - \left(\frac{C}{N}\right)_j \quad j = 1, \dots, J \quad (32)$$

De acuerdo con el *recomienda* 3.1, la interferencia debe ser responsable como máximo del 10% del margen de tiempo asociado con los valores de degradación. Por tanto, la degradación debida al desvanecimiento no puede durar más del 90% del tiempo de degradación total. La probabilidad de degradación excesiva debida al desvanecimiento se puede expresar como:

$$P_x(x \geq z_j) = \int_{z_j}^{\infty} p_x(x) dx \leq 0,9p_j \quad (33)$$

2.2 Paso 2: Caracterización de la degradación debida al desvanecimiento y otras variaciones a corto plazo en las características del enlace

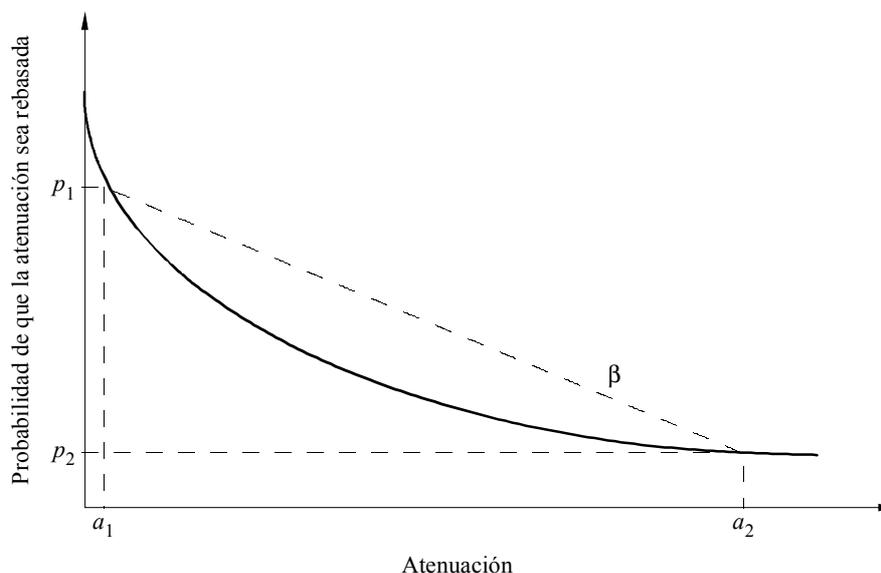
Este punto trata solamente de las degradaciones producidas por el desvanecimiento debido a la lluvia. La inclusión de los efectos de otras variaciones en el tiempo en las característica del enlace requiere ulterior estudio.

Para cada red interferida, se elige una representación paramétrica para la función de densidad de probabilidad correspondiente a la degradación del funcionamiento del enlace por el desvanecimiento debido a la lluvia, $p_x(x)$. Para facilitar los cálculos, es necesario simplificar la forma de estas funciones de densidad de probabilidad, reduciéndolas a un conjunto de atenuaciones debidas a la lluvia, A_p , que no pueden ser rebasadas durante más del $p_x(x)$ porcentaje de tiempo.

La representación paramétrica elegida a estos efectos es para simplificar la función de densidad de probabilidad a un conjunto de gradientes y un punto extremo, con la condición de que la integral de esta función sea la unidad. El desvanecimiento producido por la atenuación debida a la lluvia puede ser representado por la función de distribución acumulada mostrada en la Fig. 10.

FIGURA 10

Distribución acumulada representativa de las atenuaciones debidas a la lluvia



Esta curva de distribución puede ser dividida en un segmento que es caracterizado por el gradiente (o pendiente) de la línea entre dos puntos, es decir, el gradiente $\beta = (p_2 - p_1)/(a_2 - a_1)$ mientras que el límite superior puede ser establecido por la probabilidad de que la atenuación rebase a_1 dB, $p = p_1$. El límite inferior está restringido por el requisito de que la probabilidad total, es decir, la integral de la función de densidad de probabilidad, es la unidad. La finalidad de esta representación paramétrica es transformar las distribuciones de probabilidad de los factores que afectan al funcionamiento del enlace, es decir, el desvanecimiento, la interferencia y los propios requisitos de calidad de funcionamiento del enlace, en las funciones de densidad de probabilidad en forma de un rectángulo más dos probabilidades puntuales, que pueden ser convolucionadas fácilmente para obtener la distribución admisible de los niveles de interferencia.

La distribución acumulada del desvanecimiento provocado por la atenuación debida a la lluvia se puede hallar a partir del procedimiento indicado en la Recomendación UIT-R P.618, utilizando los coeficientes de atenuación debida a la lluvia de la Recomendación UIT-R P.838. La distribución acumulada se obtiene a partir del parámetro de entrada básico, $R_{0,01}$, que es la intensidad de lluvia para el emplazamiento de la estación terrena durante el 0,01% de un año medio. Este parámetro se puede obtener a partir de los datos meteorológicos medidos localmente o, si no hay datos locales, de la Recomendación UIT-R P.837 para la zona hidrometeorológica climática apropiada. La Recomendación UIT-R P.618 da las atenuaciones debidas a la lluvia $A_{0,01}$ que serán rebasadas durante el 0,01% del año, y la distribución acumulada de las atenuaciones debidas a la lluvia entre 0,001 y 1% del año, A_p , se obtiene en diferentes porcentajes de tiempo p a partir de:

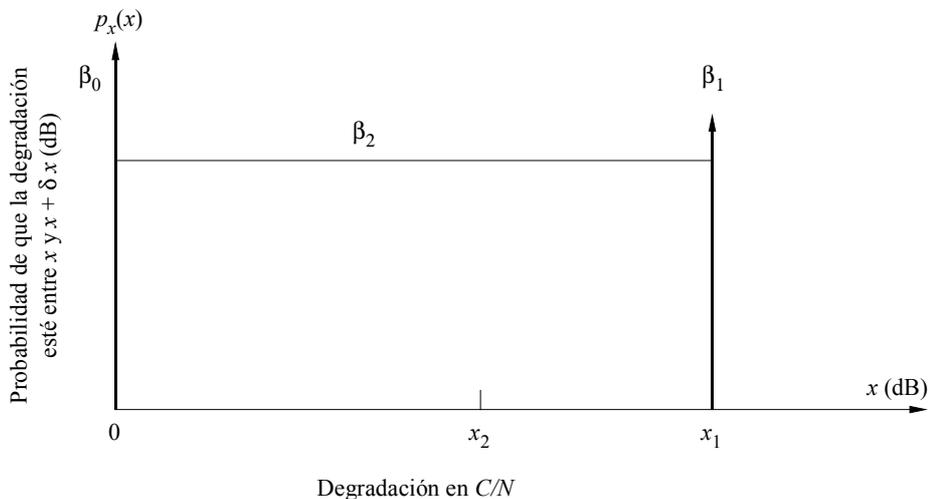
$$\frac{A_p}{A_{0,01}} = 0,12 p^{-(0,546 + 0,043 \log p)} \tag{34}$$

mientras que el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasará una atenuación puede ser determinado a partir de la forma invertida de la ecuación (34):

$$p_A = 10^{11,628 \left(-0,546 + \sqrt{0,298 + 0,172 \log \left(0,12 \frac{A_{0,01}}{A_p} \right)} \right)} \tag{35}$$

En el modelo de un rectángulo, el desvanecimiento debido a la lluvia es parametrizado por dos puntos en la curva, correspondientes al porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa un nivel dado de atenuación, el porcentaje del tiempo más allá del cual hay poca o ninguna probabilidad de lluvia, y la pendiente lineal de la distribución entre estos dos puntos. De este modo, la distribución acumulada se aproxima a un trapecoide, como se muestra en la Fig. 10, y la función de densidad de probabilidad a un rectángulo más los valores de dos puntos como se muestra en la Fig. 11:

FIGURA 11
Parametrización de un rectángulo de la función de densidad de probabilidad de desvanecimiento



2.2.1 Opción de determinación de β_i

β_1 representa la probabilidad de que se rebase la degradación de la C/N , x_1 dB. Esta degradación puede ser determinada a partir de la relación portadora/ruido $(C/N)_{cs}$ y las relaciones $(C/N)_i$ requeridas para lograr un nivel dado de calidad de funcionamiento durante el $p_i\%$ de tiempo. Las degradaciones permitidas vienen dadas por:

$$x_i = \left(\frac{C}{N} \right)_{cs} - \left(\frac{C}{N} \right)_i \quad x_1 > x_2 \quad (36)$$

Para un sistema de satélite remodulador, la degradación máxima permitida, x_1 , puede ser asociada al nivel de desvanecimiento del enlace ascendente y separadamente en el enlace descendente, determinada por las atenuaciones debidas a la lluvia.

La fracción de tiempo β_1 durante la cual no se debe rebasar la degradación máxima, puede ser determinada a partir de la ecuación (35), es decir, $\beta_1 = p_A$ con un desvanecimiento de $A_p \equiv x_1$. Obsérvese que esta fracción de tiempo debe cumplir los requisitos del *recomienda* 3.1, de que las degradaciones permitidas debidas al desvanecimiento no sean responsables de más del 90% de los márgenes de tiempo asociados con cada objetivo de BER o C/N .

Para un transpondedor de satélite transparente, una fracción del ruido total del sistema en el receptor de la estación terrena provendrá del enlace ascendente, y este ruido será reducido por el desvanecimiento del enlace descendente. Para tener esto en cuenta, se requieren parámetros adicionales para el sistema, y en el Anexo 3 se indica un procedimiento para calcular el desvanecimiento resultante que se ha de utilizar en la ecuación (35).

El parámetro β_2 representa la pendiente de la distribución acumulada de la atenuación entre el punto en el cual se determina β_1 (es decir, en una degradación de x_1 dB), y otro punto en la distribución donde la degradación $x \approx 0$ dB. Este punto es el límite inferior de la distribución y es esencialmente la fracción de tiempo durante la cual no hay atenuación debida a la lluvia. Puede ser identificada con la fracción de tiempo durante la cual se produce la lluvia (es decir, tiempo de lluvia). Generalmente, esta fracción p_0 estará entre el 1% y el 3% del tiempo. Este número debe satisfacer ciertas condiciones para su utilización en esta metodología (véase más adelante). El parámetro β_2 puede ser determinado a partir de:

$$\beta_2 = \frac{p_0 - \beta_1}{x_1} \quad (37)$$

De acuerdo con los requisitos del *recomienda* 3.1, el porcentaje de tiempo para un desvanecimiento superior a x_2 dB no debe durar más del 90% de p_2 . Por consiguiente:

$$\beta_1 + (x_1 - x_2)\beta_2 \leq 0,9p_2 \quad (38)$$

Según las ecuaciones (37) y (38), p_0 debe satisfacer:

$$p_0 \leq \frac{0,9 p_2 x_1 - \beta_1 x_2}{x_1 - x_2} \quad (39)$$

Como la integral de la función de densidad de probabilidad debe ser igual a la unidad, β_0 se puede determinar fácilmente a partir de:

$$\beta_0 = 1 - x_1 \beta_2 - \beta_1 \quad (40)$$

De este modo, los parámetros β_0 , β_1 y β_2 , son determinados a partir de los detalles del desvanecimiento debido a la lluvia junto con la degradación máxima permitida de la C/N .

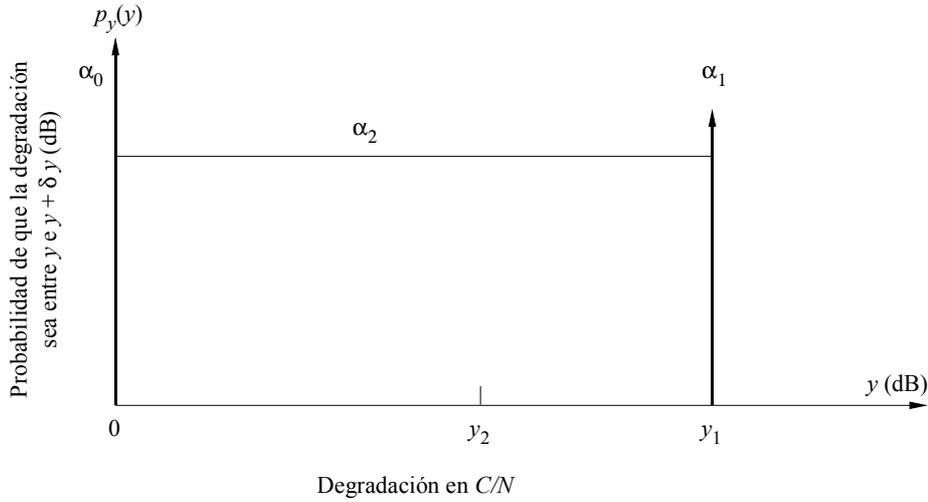
2.3 Paso 3: Caracterización de la interferencia permitida

En teoría, hay un número infinito de funciones de densidad de probabilidad $p_y(y)$ que podrían cumplir la ecuación (30), pero por conveniencia, la degradación debida a la interferencia es parametrizada en esta Recomendación de una manera análoga al desvanecimiento, como se muestra en la Fig. 12, con la condición de que:

$$\alpha_0 + y_1 \alpha_2 + \alpha_1 = 1 \quad (41)$$

FIGURA 12

Parametrización de un rectángulo de la función de densidad de probabilidad de interferencia



1323-12

2.4 Paso 4: Convolución de las funciones de densidad de probabilidad

La degradación total, z , puede ser representada en forma paramétrica como la convolución de la función de densidad de probabilidad de los criterios de calidad de funcionamiento, que incluyen las características de desvanecimiento, $p_x(x)$, y la función de densidad de probabilidad de la interferencia, $p_y(y)$:

$$p_z(z) = p_x(x) * p_y(y) \tag{42}$$

donde $p_x(x)$ es la función de densidad de probabilidad para el desvanecimiento debido a la lluvia, y $p_y(y)$ es la función de densidad de probabilidad para la interferencia.

Las funciones de densidad de probabilidad de dos rectángulos son convolucionadas fácilmente entre sí para dar la función de densidad de probabilidad mostrada en la Fig. 13, es decir, un triángulo, dos rectángulos y valores de tres puntos.

Ahora, a partir de los datos de entrada, y la ecuación (36), las degradaciones máximas permitidas en fracciones de tiempo $p_i(p_1 < p_2)$ son:

$$z_i = \left(\frac{C}{N}\right)_{cs} - \left(\frac{C}{N}\right)_i \quad z_1 > z_2 \tag{43}$$

La degradación z_1 no puede ser rebasada durante una fracción de tiempo superior a p_1 , a saber:

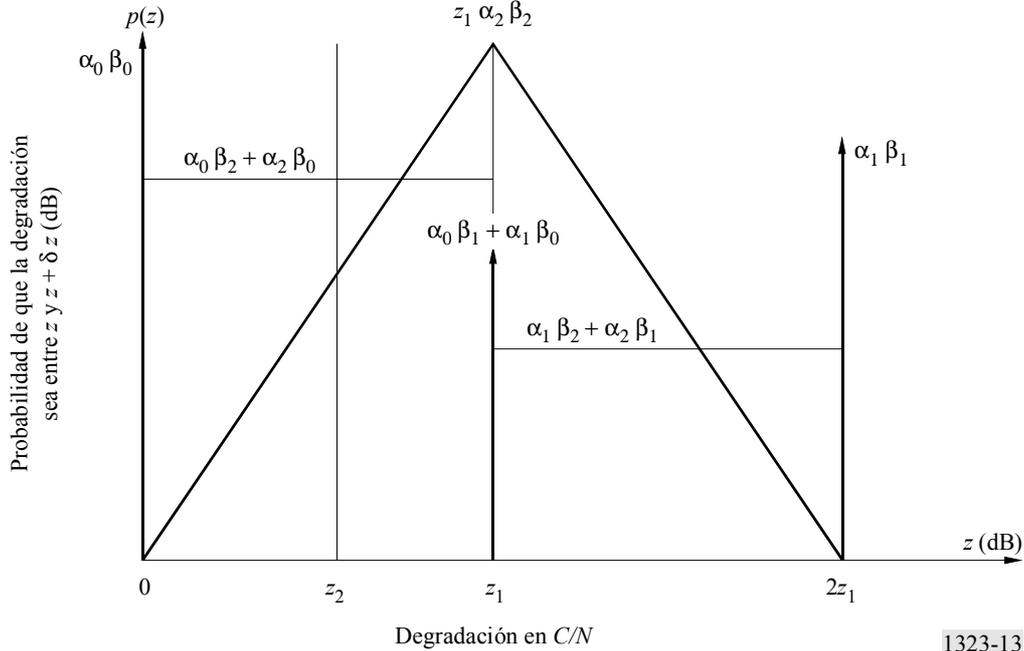
$$P_z(z \geq z_1) \leq p_1 \tag{44}$$

Tratando esta ecuación como una igualdad (que, como se indica en la introducción, conducirá a los niveles de interferencia admisibles máximos), la probabilidad $P_z(z \geq z_1)$ puede ser hallada a partir de la Fig. 13 mediante la integración de $z = z_1$ a $z = \infty$:

$$\alpha_0 \beta_1 + \alpha_1 \beta_0 + \alpha_1 \beta_1 + z_1 (\alpha_1 \beta_2 + \alpha_2 \beta_1) + \frac{1}{2} z_1^2 \alpha_2 \beta_2 = p_1 \tag{45}$$

FIGURA 13

**Convolución de la función de densidad de probabilidad
para la degradación total de la C/N**



De manera similar, la degradación z_2 no puede ser rebasada durante una fracción de tiempo superior a p_2 , y en la hipótesis de igualdad de la ecuación (44) la probabilidad de que la degradación esté comprendida entre z_2 y z_1 viene dada por:

$$P_z(z_1 \geq z \geq z_2) \leq p_2 - p_1 \quad (46)$$

Esta expresión se puede dar como una igualdad con la introducción de un parámetro adicional F , de modo que:

$$P_z(z_1 \geq z \geq z_2) = F(p_2 - p_1) \quad (47)$$

donde $F \leq 1$ es una fracción del margen de tiempo para la degradación $z_1 - z_2$.

También en este caso, esta probabilidad puede ser obtenida similarmente de la Fig. 4, integrando $z = z_2$ a $z = z_1$.

$$(z_1 - z_2) \left[\alpha_0 \beta_2 + \alpha_2 \beta_0 + \frac{1}{2}(z_1 + z_2) \alpha_2 \beta_2 \right] = F(p_2 - p_1) \quad (48)$$

NOTA 1 – El valor de punto $(\alpha_0 \beta_1 + \alpha_1 \beta_0)$ no puede ser incluido en la derivación de la ecuación (48), porque ha sido incluido en la derivación de la ecuación (45).

Ahora, a partir de la ecuación (41):

$$\alpha_0 = 1 - \alpha_1 - z_1 \alpha_2 \quad (49)$$

y las ecuaciones (45) y (48) pueden ser reescritas en la forma:

$$\begin{aligned} a \alpha_1 + b \alpha_2 &= c \\ d \alpha_1 + e \alpha_2 &= f \end{aligned} \quad (50)$$

y se puede hallar fácilmente soluciones a estas ecuaciones simultáneas:

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= \frac{bf - ce}{bd - ae} \\ \alpha_2 &= \frac{cd - af}{bd - ae}\end{aligned}\tag{51}$$

donde los coeficientes vienen dados por:

$$\begin{aligned}a &= \beta_0 + z_1 \beta_2 \\ b &= \frac{1}{2} z_1^2 \beta_2 \\ c &= p_1 - \beta_1 \\ d &= (z_2 - z_1) \beta_2 \\ e &= \frac{1}{2} (z_1 - z_2) [2\beta_0 - (z_1 - z_2) \beta_2] \\ f &= F(p_2 - p_1) - (z_1 - z_2) \beta_2\end{aligned}\tag{52}$$

A partir de las ecuaciones (50) y (51) se pueden hallar los valores positivos para α_1 que pueden ser obtenidos si se satisface el requisito del *recomienda* 3.1, es decir, $\beta_1 \leq 0,9p_1$. Las ecuaciones (37), (39), (50) y (51) muestran además que, para valores positivos de α_2 , el valor de p_0 debe satisfacer la siguiente condición:

$$p_0 < \frac{(p_2 - p_1)(1 - \beta_1) z_1}{(z_1 - z_2)(1 - p_1)} + \beta_1\tag{53}$$

Esta restricción se debe combinar con la definida en la ecuación (39), es decir, el valor de p_0 debe satisfacer las restricciones de las ecuaciones (39) y (53). En la mayoría de los casos, la restricción definida en la ecuación (39) es más estricta que la de la ecuación (53). Cuando se elige p_0 utilizando la igualdad en la ecuación (39), el 10% del margen de tiempo degradado se asigna a la interferencia. Si, por otra parte, la restricción definida en la ecuación (53) es más estricta y el valor resultante de p_0 es menor que el valor real hallado para la aplicación práctica, el sistema no tiene tolerancia a la interferencia o no se pueden cumplir los objetivos del sistema sin interferencia. En este caso, se deben revisar los parámetros del sistema.

Un método alternativo es definir un problema de minimización que puede ser solucionado con técnicas de programación lineal. El problema de optimización se convierte en:

Minimizar:

$$\alpha_0 = 1 - z_1 \alpha_2 - \alpha_1$$

con las siguientes restricciones:

$$\left. \begin{aligned}\alpha_0 \beta_1 + \alpha_1 \beta_0 + \alpha_1 \beta_1 + z_1 (\alpha_1 \beta_2 + \alpha_2 \beta_1) + \frac{1}{2} z_1^2 \alpha_2 \beta_2 &\leq p_1 \\ (z_1 - z_2) \left[\alpha_0 \beta_2 + \alpha_2 \beta_0 + \frac{1}{2} (z_1 + z_2) \alpha_2 \beta_2 \right] &\leq p_2 - p_1 \\ \alpha_0 &= 1 - z_1 \alpha_2 - \alpha_1 \\ \alpha_k &\geq 0, \quad k = 0, 1, 2\end{aligned}\right\}\tag{54}$$

Si se especifica una tercera degradación z_3 (donde $0 < z_3 < z_2 < z_1$), se debe añadir una restricción al problema de minimización definido en la ecuación (54). Dado que la degradación z_3 no puede ser rebasada durante una fracción de tiempo $> p_3$, la probabilidad de que la degradación esté en z_3 y z_2 viene dada por:

$$P_z(z_2 \geq z \geq z_3) \leq p_3 - p_2\tag{55}$$

Esta probabilidad se puede obtener de la Fig. 4 integrando de $z = z_3$ a $z = z_2$:

$$(z_2 - z_3) (\alpha_0 \beta_2 + \alpha_2 \beta_0 + \frac{1}{2} (z_2 + z_3) \alpha_2 \beta_2) \leq p_3 - p_2\tag{56}$$

Esta restricción, asociada con la tercera degradación z_3 , se debe añadir a las de la ecuación (54).

Con los valores para α_0 , α_1 y α_2 así determinados, los niveles permitidos de interferencia se pueden deducir como sigue.

2.5 Paso 5: Determinación de la plantilla de interferencia

Según la Fig. 3, la interferencia a corto plazo que produce una degradación de z_1 dB no puede ser rebasada durante más del $100 \alpha_1\%$ del tiempo, y la interferencia a corto plazo que produce una degradación de z_2 dB no puede ser rebasada durante más del $100(\alpha_1 + (z_1 - z_2)\alpha_2)\%$ del tiempo. Además, no debe haber degradaciones debidas a la interferencia a corto plazo durante el $100 \alpha_0\%$ del tiempo.

Las degradaciones de la C/N , z_i dB, pueden ser relacionadas con la interferencia permitida como una fracción del sistema de ruido:

$$\left(\frac{I}{N}\right)_i = 10^{z_i/10} - 1 \quad (57)$$

y la plantilla de interferencia puede ser definida, para este caso, en los términos siguientes:

$$\begin{aligned} P\left(\frac{I}{N} \geq 10^{z_1/10}\right) &\leq 100 \alpha_1 \quad \% \\ P\left(\frac{I}{N} \geq 10^{z_2/10}\right) &\leq 100 [\alpha_1 + (z_1 - z_2) \alpha_2] \quad \% \\ P\left(\frac{I}{N} \geq 0\right) &\leq 100 (1 - \alpha_0) \quad \% \end{aligned} \quad (58)$$

Esta determinación de los márgenes de interferencia a corto plazo se basa en que hay dos criterios que hay que satisfacer en relación con la degradación permitida de las relaciones C/N , z_1 y z_2 . Si se especifica otra degradación $z_3 < z_2 (< z_1)$, como la función de distribución de probabilidad integrada debe ser igual a la unidad, la probabilidad de que esta tercera degradación sea rebasada puede ser determinada integrando la función de densidad de probabilidad de 0 a z_3 (véase la Fig. 4), es decir:

$$P\left(\frac{I}{N} \geq 10^{z_3/10}\right) \leq 100 \left[1 - \left(\alpha_0 \beta_0 + z_3(\alpha_0 \beta_2 + \alpha_2 \beta_0) + \frac{z_3^2}{2} \alpha_2 \beta_2 \right) \right] \quad \% \quad (59)$$

2.6 Paso 6: Múltiples redes interferentes

Si hay más de una red interferente, los porcentajes de tiempo durante los cuales cada red puede rebasar los niveles permitidos de interferencia pueden ser evaluados, en una primera aproximación, dividiendo los porcentajes de tiempo obtenidos de las ecuaciones (58) y (59), cuando proceda, por el número de redes interferentes.

3 Posible refinamiento de la Metodología A'

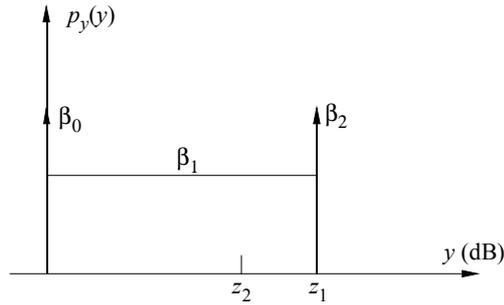
La Metodología A' puede ser refinada aún más modelando la función de densidad de probabilidad de desvanecimiento como sigue:

$$p_x(x) = p_0 \delta(x) + 0,01 \begin{cases} \exp(a_2 + b_2 x) & \text{para } x < z_3 \\ \exp(a_1 + b_1 x) & \text{para } x \geq z_3 \end{cases} \quad (60)$$

Se supone también que la función de densidad de probabilidad de interferencia puede representarse como se muestra en la Fig. 14.

FIGURA 14

Función de densidad de probabilidad de la degradación debida a la interferencia



1323-14

Se obtiene la siguiente fórmula para $p_z(z)$:

$$p_z(z) = \begin{cases} \beta_0 p_0 \delta(z) & \text{para } z = 0 \\ \beta_1 p_0 + 0,01 \beta_0 \exp(a_2 + b_2 z) + \frac{0,01}{b_2} \beta_1 \exp(a_2) (\exp(b_2 z) - 1) & \text{para } 0 < z < z_1 \\ \left[\beta_2 p_0 + 0,01 \beta_0 \exp(a_2 + b_2 z_1) + \frac{0,01}{b_2} \beta_1 \exp(a_2) (\exp(b_2 z) - 1) \right] \delta(z - z_1) & \text{para } z = z_1 \\ 0,01 \beta_2 \exp[a_2 + b_2 (z - z_1)] \\ + \frac{0,01}{b_2} \beta_1 \exp(a_2) [\exp(b_2 z) - \exp(b_2 (z - z_1))] \\ + 0,01 \beta_0 \exp(a_2 + b_2 z) & \text{para } z_1 < z \leq z_3 \\ 0,01 \beta_0 \exp(a_1 + b_1 z) + 0,01 \beta_2 \exp[a_2 + b_2 (z - z_1)] \\ + \frac{0,01}{b_1} \beta_1 \exp(a_1) [\exp(b_1 z) - \exp(b_1 z_3)] \\ + \frac{0,01}{b_2} \beta_1 \exp(a_2) [\exp(b_2 z_3) - \exp(b_2 (z - z_1))] & \text{para } z_3 < z < z_1 + z_3 \\ 0,01 \beta_0 \exp(a_1 + b_1 z) + 0,01 \beta_2 \exp[a_1 + b_1 (z - z_1)] \\ + \frac{0,01}{b_1} \beta_1 \exp(a_1) [\exp(b_1 z) - \exp(b_1 (z - z_1))] & \text{para } z \geq z_1 + z_3 \end{cases} \quad (61)$$

Los valores de a_1 , b_1 , a_2 y b_2 se obtienen utilizando el método de error medio cuadrático mínimo. Satisfaciendo las condiciones de $p_z(z)$, se obtienen los valores de β_0 , β_1 y β_2 .

Estas condiciones son:

$$p(z \geq z_1) \leq p_1$$

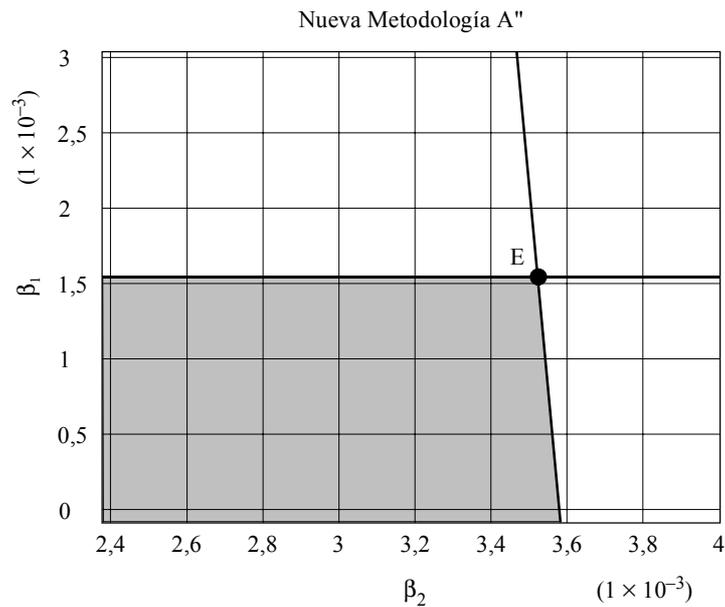
$$p(z_2 \leq z < z_1) \leq p_2 - p_1$$

y

$$\int_{-\infty}^{+\infty} p_y(y) dy = 1 \quad \beta_0 = 1 - z_1 \beta_1 - \beta_2$$

La Fig. 15 muestra la gama de respuestas para β_1 y β_2 . Eligiendo el punto E de dicha Figura, se obtienen los valores de β_1 y β_2 . El punto E se elige de manera que se minimice el valor de β_0 . Con la determinación de los valores de estos parámetros, se especifica completamente la función de densidad de probabilidad de la degradación debida a la interferencia.

FIGURA 15

Soluciones para β_1 y β_2 ($A_{0,01} = 12,5$ dB)

1323-15

PARTE 3

Metodología B

En la Metodología B los efectos de interferencia se consideran en forma separada del desvanecimiento, y los objetivos de calidad de funcionamiento se resumen por un solo valor umbral de la BER (o C/N) a corto plazo que no puede rebasarse durante un determinado porcentaje de tiempo. Como sólo interviene un único valor umbral de la BER (o C/N) (asociado con el *recomienda* 3.1, pero véase también el *recomienda* 3.2), la Metodología B considera apropiado distribuir $(1/n)$ del margen de tiempo de interferencia a corto plazo y $(1/n)$ de potencia de la señal interferente a largo plazo entre cada una de las n fuentes de interferencia consideradas y tratar separadamente cada una de ellas. Esta Metodología se considera apropiada para tratar la interferencia causada a los enlaces de conexión del SMS/no OSG (o del SFS/no OSG) y sistemas SFS/OSG que funcionan con procesamiento a bordo o con transpondedores transparentes en la banda de 20/30 GHz. La Metodología B se adapta al marco general de la Metodología A, pero teniendo en cuenta las anteriores consideraciones, la simplifica notablemente.

Para establecer completamente la relación entre las Metodologías A y B, se describe esta última utilizando las mismas pautas empleadas para describir la Metodología A, a saber: hipótesis básicas, datos de entrada, procedimiento propuesto.

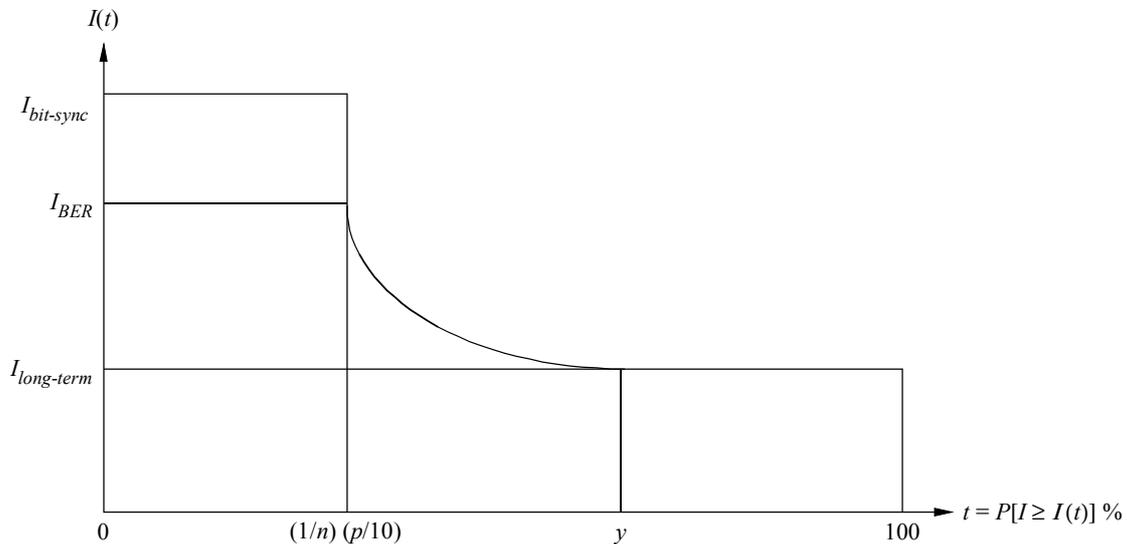
1 Hipótesis básicas

Hipótesis 1: Como el diseño del sistema se basa fundamentalmente en el control de potencia, se considera que la aparición conjunta de interferencia y desvanecimiento no completamente compensado por el control de potencia no es un hecho estadísticamente significativo. Por lo tanto, los márgenes de interferencia pueden determinarse suponiendo que la interferencia combinada por sí misma (sin degradación simultánea por desvanecimiento) puede utilizar el 10% de los márgenes de tiempo referidos en el *recomienda* 3.1. Además, para cumplir el requisito del *recomienda* 3.2 de que la interferencia no debe producir pérdida de sincronización en la red deseada más de una vez durante x días, la potencia de la señal interferente se debe mantener por debajo de un nivel que produciría un valor de C/N que es z_3 dB menor que el requerido para satisfacer la BER umbral.

Hipótesis 2a (interferencia a corto plazo): Si n sistemas comparten el mismo espectro de frecuencias con el sistema deseado al que pueden causar potencialmente interferencia, el margen de tiempo para cada sistema es $1/n$ del margen de tiempo de la interferencia combinada o $1/n$ del 10% del margen de tiempo total en los objetivos de calidad de funcionamiento. Además, se considera de forma separada el efecto de cada una de las fuentes interferentes.

La validez de este método se ilustra en la Fig. 16. Considérese la interferencia causada en un sistema LEO A por una red OSG como la OSG 13. Esta red OSG utiliza control de potencia adaptativo en el enlace ascendente y funciona con estaciones terrenas relativamente pequeñas (antenas de 66 cm de diámetro). Ambas redes tienen una estación terrena ubicada en una latitud de 33° Norte. En la simulación se calcula la probabilidad de interferencia acumulativa tomando como parámetro la longitud relativa del satélite OSG. Como puede observarse en la Fig. 16, los niveles de interferencia de cresta causada al sistema LEO A no dependen en gran medida de la longitud relativa del satélite OSG para una variación de unos $\pm 50^\circ$ del arco a esta latitud. El valor máximo de n para esta estación no OSG sería entonces $100^\circ/x$, siendo x la separación mínima en el arco para los OSG a 20/30 GHz en las bandas designadas para el funcionamiento del SFS no OSG y OSG.

FIGURA 16
Representación de la plantilla de interferencia procedente de una sola fuente



1323-16

Cabe señalar que el valor real de n probablemente no sería igual al valor máximo indicado. Las coordinaciones OSG a OSG entre administraciones vecinas probablemente reducirán el número de porciones de intervalos visibles con estaciones terrenas OSG ubicadas.

Hipótesis 2b (interferencia a largo plazo): Si hay n sistemas que comparten el mismo espectro con el sistema deseado que pueden causar interferencia potencialmente, durante un gran porcentaje de tiempo, el nivel de interferencia global se suma en potencia. Por consiguiente, es apropiado asignar a cada sistema $1/n$ del margen de potencia global para la interferencia a largo plazo que es $x\%$ de la potencia de ruido total del sistema con condiciones de cielo despejado. Este valor no debe ser rebasado durante más del $y\%$ del tiempo (véase la Nota 1).

NOTA 1 – Hay que determinar aún los valores para $x\%$ e $y\%$; los valores sugeridos fueron: $(x = 2, y = 4)$, $(x = 6, y = 10)$ y $(x = 6, y = 90)$.

Hipótesis 3: Como consecuencia de la Hipótesis 2, la degradación debida a la interferencia procedente de una sola fuente puede considerarse directamente. Siendo I la potencia de interferencia procedente de una sola fuente y N_T el ruido total del enlace, la degradación, y_{SE} , debida a la interferencia procedente de una sola fuente es:

$$y_{SE} = 10 \log Y \tag{62}$$

siendo:

$$Y = 1 + I/N_T \tag{63}$$

2 Datos de entrada

- Valor umbral de la BER_t (o C/N_t) y porcentaje del año, p , durante el cual la BER puede ser peor que BER_t .
- Relación portadora/ruido en condiciones de cielo despejable $(C/N)_{cs}$.
- El número n de redes interferentes que pueden provocar interferencia a corto plazo y que compartirán la misma banda de frecuencias con la red deseada. Para una red deseada no OSG, n es igual al número de otras redes no OSG más el número de posiciones orbitales OSG interferentes visibles, por encima del ángulo de elevación de funcionamiento mínimo, observadas por la estación terrena de la red no OSG. El número máximo de posiciones OSG interferentes visibles a la estación terrena no OSG es función de la latitud y de la separación orbital OSG mínima que puede lograrse para esa banda particular del SFS.

3 Procedimiento propuesto

Paso 1: A partir de a) y b) de los datos de entrada, calcular:

$$z_t = (C/N)_{cs} - (C/N)_t \quad \text{dB} \quad (64)$$

Paso 2: Calcular el margen de interferencia resultante del requisito de la BER umbral. A partir de las Hipótesis 1 y 2:

$$P(y_{SE} \geq z_t) \leq (1/n) (p/10) \quad \% \quad (65)$$

o a partir de las ecuaciones (62) y (63):

$$P[I \geq (10^{(z_t/10)} - 1) N_T] \leq (1/n) (p/10) \quad \% \quad (66)$$

Paso 3: Calcular el margen de interferencia resultante del requisito de sincronización. A partir de z_t , calcular:

$$z_{bit-sync} = z_t + z_s \quad \text{dB} \quad (67)$$

$$P(y_{SE} \geq z_{bit-sync}) = 0 \quad \% \quad (68)$$

o

$$P[I \geq (10^{(z_{bit-sync}/10)} - 1) N_T] = 0 \quad \% \quad (69)$$

Paso 4: Calcular el margen de interferencia resultante del requisito a largo plazo:

$$P[y_{SE} \geq 10 \log(1 + x/(100n))] \leq y \quad \% \quad (70)$$

o

$$P[I \geq (x/(100n)) N_T] \leq y \quad \% \quad (71)$$

Paso 5: Por tanto, la plantilla de nivel de interferencia admisible procedente de una sola fuente es (véase la Fig. 16):

$$I(t) = \begin{cases} I_{bit-sync} & 0 & \leq t < (1/n) (p/10) \\ I_{BER} - (I_{BER} - I_{long-term}) \frac{\log(t) - \log((1/n) (p/10))}{\log(y) - \log((1/n) (p/10))} & (1/n) (p/10) \leq t < y \\ I_{long-term} & y & \leq t < 100 \end{cases} \quad (72)$$

donde:

$I(t)$: (dBW)

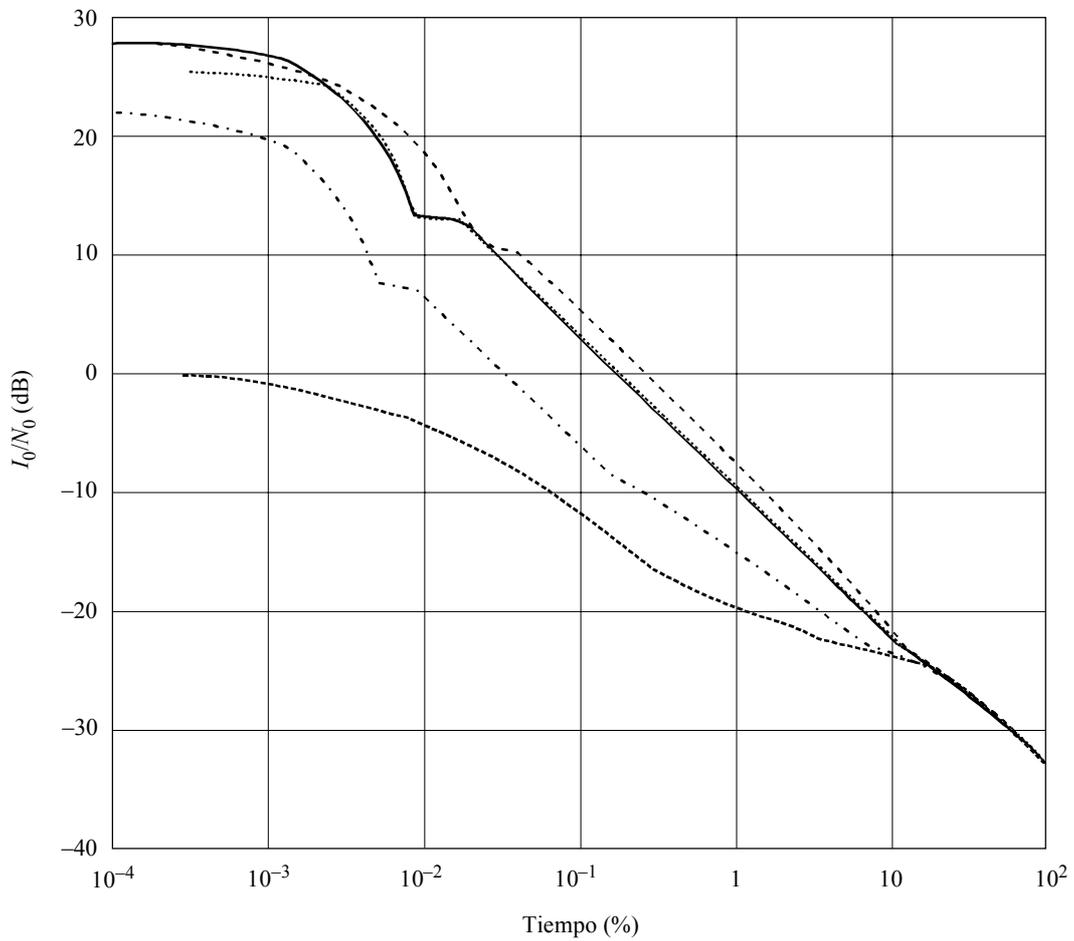
t : porcentaje de tiempo

$$I_{bit-sync} = 10 \log [(10^{(z_t + z_s)/10}) - 1] N_T \tag{73}$$

$$I_{BER} = 10 \log [(10^{(z_t/10)} - 1) N_T] \tag{74}$$

$$I_{long-term} = 10 \log [(x/(100 n)) N_T] \tag{75}$$

FIGURA 17
Interferencia del enlace ascendente de un sistema OSG 13 a un sistema LEO A



Longitud relativa	Elevación OSG
—	0°
- - - -	13°
· · · · ·	40°
- · - · -	60°
· · · · ·	70°
	53°
	50°
	33°
	18°
	8°

4 Ejemplo 1 de la Metodología B: (Sistema LEO A)

Las características del sistema LEO A figuran en la Recomendación UIT-R S.1328. En este ejemplo los márgenes de interferencia admisible se calculan para enlaces ascendentes OSG hipotéticos en la banda de 30 GHz. Los datos de entrada a efectos de determinar los márgenes de interferencia son los siguientes:

- a) $BER_t = 1 \times 10^{-5}$ con una $C/N = 6,4$ dB para los enlaces ascendente y descendente.

El objetivo de tiempo de interrupción combinado para estos dos enlaces es $p = 0,1\%$.

- b) $z_t = (C/N)_{cs} - (C/N)_t = 10,7 - 6,4 = 3,1$ dB.

- c) En consecuencia, los márgenes de interferencia procedentes de una sola fuente son, suponiendo que $z_s = 2$ dB:

$$P[I/N_T \leq 0,2 \text{ dB}] \geq (1/n) 0,01 \quad \%$$

$$P[I/N_T \geq 3,5 \text{ dB}] = 0 \quad \%$$

$$P[I/N_T \geq 0,2 \text{ dB}] \leq (1/n) 0,01 \quad \%$$

$$P[I/N_T \geq 10 \log(x/(100 n)) \text{ dB}] \leq y \quad \%$$

e

$$I(t)/N_T = \begin{cases} 3,5 & 0 \leq t < (1/n) 0,01 \\ 0,2 - [(0,2 - 10 \log(x/(100 n)))] \frac{\log(t) - \log((1/n) 0,01)}{\log(y) - \log((1/n) 0,01)} & (1/n) 0,01 \leq t < y \\ 10 \log[x/(100 n)] & y \leq t < 100 \end{cases}$$

- d) n debe determinarse. La Fig. 18 es un cálculo de muestra de la interferencia de enlace ascendente procedente de un terminal OSG 13 situado a 5° Sur de la estación terrena no OSG. La interferencia procedente de una sola red es menor que el margen de interferencia combinada ($I/N = 0,2$ dB no excedida durante más del 0,01% del tiempo).

5 Ejemplo 2 de la Metodología B: (Sistema LEO B)

Las características del sistema LEO B figuran en la Recomendación UIT-R S.1328. Los datos de entrada para calcular los márgenes de interferencia son los siguientes:

- a) $p = 0,1\%$

- b) $z_t = (C/N)_{cs} - (C/N)_t = 3$

- c) Debe determinarse n . Como resultado, los márgenes de interferencia procedente de una sola fuente son:

$$P[I/N_T \geq 3,3 \text{ dB}] = 0 \quad \%$$

$$P[I/N_T \geq 0,0 \text{ dB}] \leq (1/n) 0,01 \quad \%$$

$$P[I/N_T \geq 10 \log(x/(100 n)) \text{ dB}] \leq y \quad \%$$

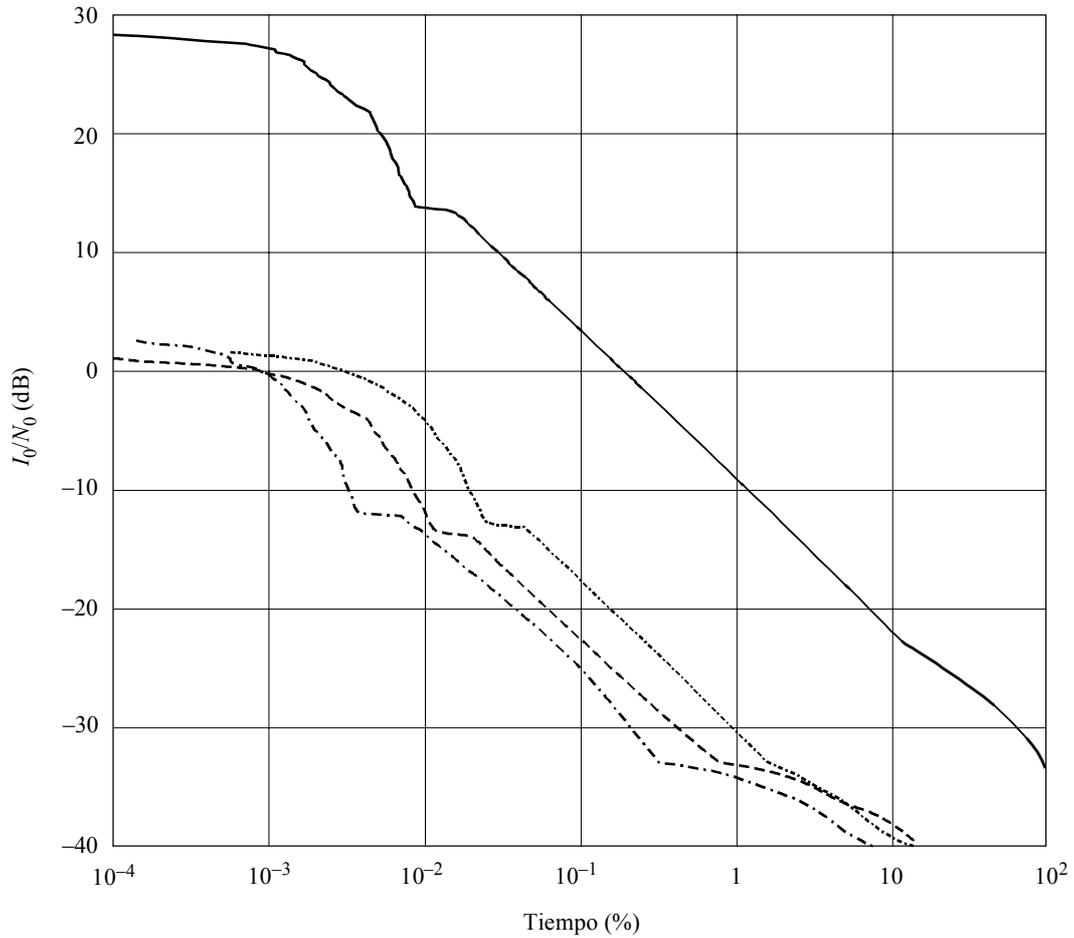
e

$$I(t)/N_T = \begin{cases} 3,3 & 0 \leq t < (1/n) 0,01 \\ 10 \log(x/(100 n)) \frac{\log(t) - \log((1/n) 0,01)}{\log(y) - \log((1/n) 0,01)} & (1/n) 0,01 \leq t < y \\ 10 \log(x/(100 n)) & y \leq t < 100 \end{cases}$$

En el Anexo 4 se describe un procedimiento para aplicar los principios de la Metodología B a la obtención de los límites de densidad de flujo de potencia equivalente (dfpe) propuestos.

FIGURA 18

Estadística de probabilidad acumulada de la interferencia de enlace ascendente de un sistema OSG 13 a un sistema LEO A



Longitud relativa	Elevación OSG	Terminal terreno no OSG
—	0°	53° Coubicado
- - -	0°	53° No OSG 5° N
· · · · ·	40°	33° No OSG 5° N
- · - · -	60°	18° No OSG 5° N

1323-18

APÉNDICE 1

AL ANEXO 1

Método para tener en cuenta el ruido térmico de enlace ascendente en sistemas de satélite con transpondedor transparente

Para un transpondedor de satélite transparente, una fracción del ruido del sistema en el receptor de la estación terrena provendrá del ruido térmico del enlace ascendente, y este ruido será reducido por el desvanecimiento del enlace descendente. Como resultado, se reducirá el margen permitido de atenuaciones debidas a la lluvia. Para estimar la degradación resultante se propone el siguiente procedimiento.

La potencia portadora del enlace descendente, con condiciones de cielo despejado, en el receptor de la estación terrena se determina a partir de:

$$C_{cs} = P_t + G_t^S - L_{BE} - 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) + G_r^E \quad \text{dBW} \quad (76)$$

donde:

- P_t : potencia de transmisión del satélite (dBW)
- G_t^S : ganancia máxima de la antena transmisora del satélite (dB)
- L_{BE} : pérdida en el borde del haz (dB)
- λ : longitud de onda (km)
- d : longitud del trayecto para el ángulo de funcionamiento más bajo (km)
- G_r^E : ganancia de la antena receptora de la estación terrena (dB).

La potencia de ruido del sistema de la estación terrena viene dada por:

$$N = 10 \log (k T_{sys} B) \quad \text{dBW} \quad (77)$$

donde:

- k : constante de Boltzman = $1,3807 \times 10^{-23}$ J/K
- B : anchura de banda ocupada de la portadora
- T_{sys} : temperatura de ruido del sistema e incluye el ruido del receptor de la estación terrena, T_{\downarrow} y la contribución del ruido térmico del enlace ascendente del satélite, T_{\uparrow} , reducida por la ganancia de transmisión, γ (dB):

$$T_{sys} = T_{\downarrow} + 10^{\gamma/10} T_{\uparrow} \quad (78)$$

y

$$\begin{aligned} T_{\downarrow} &= 10^{(G_r^E - (G/T)_E)/10} \\ T_{\uparrow} &= 10^{(G_t^S - (G/T)_S)/10} \end{aligned} \quad (79)$$

De acuerdo con las ecuaciones (77) y (78), la C/N con cielo despejado y sin desvanecimientos y la C/N reducida por una relación de desvanecimiento F pueden ser expresadas en términos lineales como sigue:

$$\begin{aligned} \left(\frac{C}{N} \right)_{sin \text{ desvanecimiento}} &= \frac{10^{C_{cs}/10}}{k T_{sys}^{sin \text{ desvanecimiento}} B} \\ \left(\frac{C}{N} \right)_{con \text{ desvanecimiento}} &= \frac{10^{C_{cs}/10} / F}{k T_{sys}^{con \text{ desvanecimiento}} B} \end{aligned} \quad (80)$$

donde:

$$\begin{aligned} T_{sys}^{sin \text{ desvanecimiento}} &= T_{\downarrow} + 10^{\gamma/10} T_{\uparrow} \\ T_{sys}^{con \text{ desvanecimiento}} &= T_{\downarrow} + 10^{\gamma/10} T_{\uparrow} / F \end{aligned} \quad (81)$$

Como la relación entre las C/N sin desvanecimiento y con desvanecimiento es la degradación Z_1 , expresada linealmente, el desvanecimiento (dB) que producirá esta relación de degradación Z_1 puede hallarse a partir de:

$$f = 10 \log \left(\frac{Z_1 T_{\downarrow} + (Z_1 - 1) 10^{\gamma/10} T_{\uparrow}}{T_{\downarrow}} \right) \quad (82)$$

La fracción de tiempo durante el cual una degradación de C/N debida a la lluvia de x_1 dB puede ser excedida, β_1 , se puede hallar a partir de la ecuación (39) de la Metodología A', es decir $\beta_1 = p_A$ con $A_p \equiv x_1 \equiv f$.

ANEXO 2

Procedimiento para evaluar los criterios de interferencia con respecto al *recomienda* 3.1 de esta Recomendación

1 Introducción

Se ha elaborado un procedimiento (Procedimiento D) para evaluar la repercusión de un conjunto dado de criterios de interferencia en la característica C/N de las portadoras de sistemas OSG. Conociendo las estadísticas de degradación por desvanecimientos debidos a la lluvia y las estadísticas de $dfpe_{\uparrow}$ y $dfpe_{\downarrow}$ (las estadísticas pueden ser los límites provisionales reales o la $dfpe$ generada por una red específica no OSG) se puede evaluar la repercusión sobre las características C/N reales y si la plantilla de interferencia satisface el *recomienda* 3.1. El método propuesto se puede utilizar para refinar la plantilla de interferencia real mediante ensayo y error para cumplir exactamente el *recomienda* 3.1 (véase la Nota 1). Se puede utilizar también para verificar que la plantilla permite que la portadora OSG cumpla sus requisitos de calidad de funcionamiento de C/N en función del porcentaje de tiempo.

Cabe señalar que el proceso de verificación no produce una forma única de la $dfpe_{\downarrow}$ o plantilla $dfpe_{\uparrow}$. Muchas formas diferentes pueden producir resultados que son aceptables y satisfacer los requisitos especificados en el *recomienda* 3. Por consiguiente, es importante tener esto en consideración cuando se elaboran plantillas $dfpe_{\downarrow}$ o $dfpe_{\uparrow}$.

NOTA 1 – El método de convolución directa del Procedimiento D se puede aplicar de diversas maneras además de la aplicación específica descrita en esta Recomendación. Por ejemplo, para obtener resultados para una familia de redes OSG que utilizan los mismos parámetros de enlace ascendente, antena del receptor de la estación terrena, zona hidrometeorológica y temperatura de ruido del sistema, pero con márgenes de potencia de enlace descendente variables, el nivel de potencia a la entrada de la antena supuesta para el satélite OSG podría ser variado y el margen de potencia del enlace descendente asociado podría ser considerado en conexión con los niveles de indisponibilidad de la red OSG que resultan de la aplicación del Procedimiento D. Esto proporcionaría una visión interna de la posible repercusión de los criterios de compartición de frecuencias en una familia de sistemas OSG (por ejemplo, sistemas que sólo difieren en el margen de potencia o disponibilidad del enlace descendente).

2 Hipótesis y notaciones

Las fuentes de interferencia tenidas en cuenta en este análisis son:

- interferencia interna a la red OSG considerada (ruido térmico, de intermodulación, polarización cruzada, aislamiento, ...);
- interferencia externa procedente de otras redes OSG y de sistemas del servicio fijo;
- atenuación debida a la lluvia en los enlaces ascendentes y descendentes y las variaciones de temperatura consiguientes;
- la interferencia del sistema no OSG considerado (para el cual las distribuciones de la densidad de flujo de potencia equivalente y de la densidad de flujo de potencia combinada han sido calculadas o medidas de la manera más exacta).

Se adopta la siguiente notación:

- las notaciones en mayúsculas denominan variables en un formato de dB;
- las notaciones en minúsculas denominan variables en formato lineal;
- b (kHz) es la anchura de banda de ruido de la portadora deseada;
- las características del enlace y de la estación terrena transmisora deseada de la red OSG son conocidas, de modo que se puede calcular la atenuación debida a la lluvia del enlace ascendente, A_{\uparrow} , y su función de densidad acumulada;
- $P_{\uparrow}(X) = P(A_{\uparrow} \leq X)$, es la función de distribución acumulada de la atenuación debida a la lluvia del enlace ascendente, y la función de densidad de probabilidad correspondiente es $p_{\uparrow}(X) = dP_{\uparrow}(X)/dX$, es decir, $P(X \leq A_{\uparrow} < X + dX) = p_{\uparrow}(X) dX$;

- las características del enlace y de la estación terrena receptora deseada de la red OSG son conocidas, de modo que se puede calcular la atenuación debida a la lluvia del enlace descendente, A_{\downarrow} , y su función de distribución acumulada;
- $P_{\downarrow}(X) = P(A_{\downarrow} \leq X)$, es la función de distribución acumulada de la atenuación debida a la lluvia del enlace descendente, y la función de densidad de probabilidad correspondiente es $p_{\downarrow}(X) = dP_{\downarrow}(X)/dX$, es decir, $P(X \leq A_{\downarrow} < X + dX) = p_{\downarrow}(X) dX$;
- las características de la red OSG deseada son conocidas, de modo que la potencia deseada de la portadora deseada de la red OSG a la entrada del demodulador de la estación terrena receptora, c (W) o C (dBW) = $10 \log(c)$ se puede calcular como sigue (véase la Metodología A, Anexo 1 a esta Recomendación):

$$C = F(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})$$

- las características de la red OSG deseada son conocidas, de modo que la potencia de ruido en la anchura de banda de ruido de la portadora deseada de la red OSG, a la entrada del demodulador de la estación terrena receptora, n (W) o N (dBW) = $10 \log(n)$, se puede calcular como sigue (véase la Metodología A, Anexo 1 a la presente Recomendación):

$$N = G(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})$$

- la función de distribución acumulada del ruido térmico generado por la conjunción del Sol, N_s (dBW), o la Luna: se puede expresar como sigue:

$$P(N_s \leq X) = P_s(X)$$

- la función de densidad de probabilidad correspondiente de la potencia de ruido generada por el Sol o la Luna se puede expresar como $p_s(X) = dP_s(X)/dX$, es decir, $P(X \leq N_s < X + dX) = p_s(X) dX$;
- las características de la red OSG deseada son conocidas, de modo que la ganancia de transmisión del enlace, γ o Γ = $10 \log(\gamma)$ entre la salida de la antena receptora de la estación espacial OSG y la salida de la estación terrena receptora deseada se puede calcular como sigue:

$$\Gamma = H(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})$$

- el sistema no OSG es tal que la potencia de interferencia a la salida de la antena receptora de la estación espacial del satélite OSG, I_{\uparrow} (dBW), o en un equivalente la densidad de flujo de potencia combinada correspondiente, $dfpe_{\uparrow}$ (dB(W/(m² · 4 kHz))), se puede considerar constante;
- se conoce la ganancia en el eje de la antena G_r de la estación terrena receptora deseada;
- se conoce la frecuencia del enlace descendente, f (GHz), de la portadora deseada;
- se conoce la función de distribución acumulativa (CDF), de la densidad de flujo de potencia equivalente, $dfpe_{\downarrow}$:

$$P(dfpe \leq X) = P_{dfpe}(X)$$

3 Procedimiento D

El procedimiento se basa en el cálculo de la disponibilidad de la red sin los niveles de potencia generados por sistemas no OSG, y con estos niveles de potencia y se calcula la diferencia entre ambas disponibilidades.

Esto se basa también en el hecho de que las fuentes de interferencia son independientes, pero se introduce un determinado nivel de correlación porque los desvanecimientos debidos a la lluvia actuarán en el trayecto de la señal deseada y en el trayecto de la señal interferente. De este modo, las variables aleatorias no pueden ser totalmente descorrelacionadas. Esta correlación no se tiene en cuenta en este caso y se supone que la señal interferente no sea afectada por el desvanecimiento debido a la lluvia.

Paso 1: De acuerdo con las características de las estaciones terrenas deseadas y de la estación espacial, y según el método propuesto en las distintas Recomendaciones UIT-R pertinentes:

- determinar la atenuación debida a la lluvia que es rebasada durante el 0,01% de un año medio en el enlace ascendente, $A_{\uparrow,0,01}$ (dB): $P(A_{\uparrow} > A_{\uparrow,0,01}) = 0,01\%$;
- determinar la atenuación debida a la lluvia que es rebasada durante el 0,01% de un año medio en el enlace descendente, $A_{\downarrow,0,01}$ (dB): $P(A_{\downarrow} > A_{\downarrow,0,01}) = 0,01\%$.

NOTA 1 – En el soporte lógico elaborado se han incluido también los algoritmos para el modelo Crane (un modelo alternativo para la atenuación debida a la lluvia).

Paso 2: De acuerdo con la Recomendación UIT-R P.618, determinar la CDF del desvanecimiento debido a la lluvia del enlace ascendente y del enlace descendente:

$$P_{A_{\uparrow}}(X) = P(A_{\uparrow} \leq X) = 1 - \frac{10^{11,628 \left(0,546 + \sqrt{0,298 + 0,172 \log(0,12 \times A_{\uparrow,0,01}/X)} \right)}}{100}$$

$$P_{A_{\downarrow}}(X) = P(A_{\downarrow} \leq X) = 1 - \frac{10^{11,628 \left(0,546 + \sqrt{0,298 + 0,172 \log(0,12 \times A_{\downarrow,0,01}/X)} \right)}}{100}$$

NOTA 1 – En el soporte lógico de cálculo se dispone también del modelo Crane (un modelo alternativo para la atenuación debida a la lluvia).

Paso 3: De acuerdo con el Paso 2, determinar la función de densidad de probabilidad de la atenuación debida a la lluvia de los enlaces ascendente y descendente:

$$p_{\uparrow}(X) = \frac{dP_{A_{\uparrow}}(X)}{dX} = \frac{1,000008}{100} \times \frac{10^{11,628 \left(-0,546 + \sqrt{0,298 + 0,172 \log(0,12 \times A_{\uparrow,0,001}/X)} \right)}}{\sqrt{0,298 + X \times 0,172 \log(0,12 \times A_{\uparrow,0,001}/X)}}$$

y

$$p_{\downarrow}(X) = \frac{dP_{A_{\downarrow}}(X)}{dX} = \frac{1,000008}{100} \times \frac{10^{11,628 \left(-0,546 + \sqrt{0,298 + 0,172 \log(0,12 \times A_{\downarrow,0,001}/X)} \right)}}{\sqrt{0,298 + X \times 0,172 \log(0,12 \times A_{\downarrow,0,001}/X)}}$$

Paso 4: Determinar la CDF, P_1 , de la C/N deseada (es decir, sin el nivel de interferencia generado por los sistemas no OSG), a partir de las características de la red OSG y el entorno de interferencia existente:

La relación potencia deseada/ruido total se puede expresar en función de la atenuación debida a la lluvia de los enlaces ascendente y descendente como:

$$(C/N)(A_{\uparrow}, A_{\downarrow}) = F(A_{\uparrow}, A_{\downarrow}) - 10 \log \left[10^{G(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})/10} + 10^{(N_s - A_{\downarrow})/10} \right]$$

Por tanto:

$$P_1(C/N \leq X) = 1 - P_1(C/N > X)$$

de modo que:

$$P_1(C/N \leq X) = 1 - \int_0^{A_{\uparrow,1}} p_{\uparrow}(U) \left[\int_0^{A_{\downarrow,1}(U)} p_{\downarrow}(V) \cdot P_S \left(10 \log \left[10^{(F(U,V) - X)/10} - 10^{G(U,V)/10} \right] + V \right) dV \right] dU$$

donde:

$A_{\uparrow,1}$ es tal que: $F(A_{\uparrow,1}, 0) - G(A_{\uparrow,1}, 0) = X$ (por ejemplo $C/N = X$ debido al desvanecimiento producido por la lluvia solamente en el trayecto del enlace ascendente, ningún desvanecimiento por lluvia en el enlace descendente y ninguna interferencia debida a cuerpos extraterrestres)

$A_{\downarrow,1}(U)$ es tal que: $F(U, A_{\downarrow,1}) - G(U, A_{\downarrow,1}) = X$ (por ejemplo $C/N = X$ debido al desvanecimiento producido por la lluvia solamente en el trayecto de enlace ascendente y en el trayecto de enlace descendente, y ninguna interferencia debida al Sol).

Paso 5: Determinar la función de densidad de probabilidad de la $dfpe_{\downarrow}$ y la $dfpe_{\uparrow}$ generadas por sistema(s) no OSG:

La potencia de interferencia I (dBW), debida a sistema(s) no OSG se puede expresar como:

$$I(A_{\uparrow}, A_{\downarrow}) = 10 \log \left[10^{(I_{\uparrow} + H(A_{\uparrow}, A_{\downarrow}))/10} + 10^{(dfpe + K_1 - A_{\downarrow})/10} \right]$$

donde:

$$K_1 = 10 \log (b/4) + G_r + 10 \log (\lambda^2/4 \pi): \text{ constante (dBm}^2\text{)}$$

$$\lambda = c/f: \text{ longitud de onda (m).}$$

Paso 6: Determinar la CDF P_2 del ruido más la relación de potencia de interferencia, $C/(N + I)$, es decir, incluida la presencia del sistema no OSG.

La relación potencia deseada/ruido más interferencia total se puede expresar en función de la atenuación debida a la lluvia de los enlaces ascendente y descendente como:

$$(C/(N + I))(A_{\uparrow}, A_{\downarrow}) = F(A_{\uparrow}, A_{\downarrow}) - 10 \log \left[10^{G(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})/10} + 10^{(N_s - A_{\downarrow})/10} + 10^{(I_{\uparrow} + \Gamma(A_{\uparrow}, A_{\downarrow}))/10} + 10^{(dfpe + K_1 - A_{\downarrow})/10} \right]$$

Por tanto:

$$P_2(C/(N + I) \leq X) = 1 - P_2(C/(N + I) > X)$$

de modo que:

$$P_2(C/N \leq X) = 1 - \int_0^{A_{\uparrow,1}} p_{\uparrow}(U) \left(\int_0^{A_{\downarrow,1}(U)} p_{\downarrow}(V) \left[\int_{-\infty}^{N_{s,1}(U,V)} p_s(N) \cdot P_{dfpe}(dfpe(U, V, N)) dN \right] dV \right) dU$$

donde:

$N_{s,1}(U, V) = 10 \log \left[10^{(F(U,V) - X)/10} - 10^{G(U,V)/10} \right] + V$: potencia de ruido extraterrestre que, para el desvanecimiento de enlace ascendente, U y el desvanecimiento de enlace descendente, V y sin interferencia de los sistemas no OSG, supondría $C/(N + I) = X$

$dfpe_{\downarrow}(U, V, N) = 10 \log \left[10^{(F(U,V) - X)/10} - 10^{G(U,V)/10} - 10^{(N - V)/10} - 10^{(I_{\uparrow} + H(U,V))/10} \right] - K_1 + V$:
dfpe de modo que $C/(N + I) = X$, conociendo la atenuación debida a la lluvia de los enlaces ascendente y descendente (U y V), y la potencia de interferencia de cuerpos extraterrestres (N).

Paso 7: Determinar el aumento de la indisponibilidad entre la situación sin el (los) sistema(s) no OSG y con el (los) sistema(s) no OSG:

$$\Delta X = P_2(X) - P_1(X)$$

Paso 8: Determinar la reducción relativa de disponibilidad debida a la introducción del (de los) sistema(s) no OSG, $R_v(X)$ (%):

$$R_v(X) = 100 \frac{\Delta(X)}{P_2(X)} = 100 \frac{P_2(X) - P_1(X)}{P_2(X)}$$

El algoritmo de soporte lógico que aplica los Pasos 1 a 8 se presenta en el Apéndice 1 a este Anexo.

3.1 Procedimiento D cuando se utiliza convolución directa

Las ecuaciones anteriores pueden ser simplificadas según determinadas hipótesis. La aplicabilidad de esta versión utilizando la convolución directa está limitada a determinados casos porque no puede tener en cuenta simultáneamente los desvanecimientos debido a la lluvia de los enlaces ascendente y descendente. La metodología puede dar resultados exactos para el procesamiento de satélites cuando las degradaciones de los enlaces ascendente y descendente pueden ser separadas. También puede producir resultados exactos para enlaces de satélites transparentes cuando el desvanecimiento

del enlace ascendente o del enlace descendente puede ser pasado por alto. Esto comprende los enlaces que tienen suficiente control de potencia de enlace ascendente o cuando el enlace por satélite utiliza una franja transversal de banda C de enlace ascendente. Se puede aplicar también a enlaces cuando la estación terrena de enlace ascendente o de enlace descendente está situada en una zona muy seca.

La siguiente ecuación representa la relación de potencia portadora/potencia de ruido del enlace descendente cuando hay desvanecimiento debido a la lluvia e interferencia:

$$\frac{C}{N_{\downarrow}} = \frac{C_a}{(T_s + T_r) \cdot k B + I b} = \frac{C}{\frac{1}{a}(T_s + T_r)k B + I \frac{b}{a}}$$

donde:

- a : atenuación debida a la lluvia en el enlace deseado
- b : atenuación debida a la lluvia en el enlace no deseado
- T_s : temperatura de ruido total del sistema receptor (K)
- T_r : temperatura de ruido de lluvia (K)
- k : constante de Boltzman
- B : anchura de banda (Hz)
- C : potencia de la señal deseada (W)
- I : potencia interferente (W).

La degradación debida a la interferencia y a la lluvia, Z , es la relación de la potencia de ruido con la interferencia y la lluvia (denominador en la ecuación anterior) y la potencia de ruido sin lluvia ni interferencia, T_s . La degradación resultante se muestra en la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{\frac{k B}{a}(T_s + T_r) + I \frac{b}{a}}{k B T_s} = \frac{1}{a} \left(1 + \frac{T_r}{T_s} \right) + \frac{I}{k B T_s} \frac{b}{a}$$

Esta degradación puede ser separada en un componente debido a la lluvia y en un componente debido a la interferencia, como se muestra a continuación:

$$X = \frac{1}{a} \left(1 + \frac{T_r}{T_s} \right)$$

$$Y = \frac{I \frac{b}{a}}{k B T_s}$$

donde X es la degradación causada por la lluvia e Y es el término debido a la interferencia. El análisis supone que X e Y son independientes, por lo que sus funciones de densidad de probabilidad no pueden combinarse como en la Metodología A.

La relación $b/a = 1$ cuando el desvanecimiento en la señal interferente, b , y la señal deseada, a , son iguales. Ésta es la hipótesis utilizada para el cálculo de la $dfpe_{\downarrow}$ cuando se produce un desvanecimiento importante en el enlace descendente. Es también la hipótesis utilizada para el cálculo de la $dfpe_{\uparrow}$.

Cuando no hay desvanecimiento de la señal de interferencia $b = 1$. Ésta es la hipótesis que se debe utilizar en el cálculo de la $dfpe_{\downarrow}$ cuando se produce desvanecimiento importante en el enlace ascendente.

La formulación anterior supone que las variables aleatorias X e Y tienen unidades de potencia. Esto es diferente de la formulación de la Metodología A, donde las variables aleatorias X e Y se expresan en dB. El motivo de hacer esta formulación en unidades de potencia es que resultaba en que la variable Y era una función de la relación b/a .

4 Ejemplo de aplicación

En este caso, se utilizó un método de tanteos para evaluar los límites de $dfpe_{\downarrow}$ propuestos. Se aplicó el soporte lógico a los límites de $dfpe$ provisionales indicados en el artículo S22 del RR. Después de comprobar la repercusión y comparar la C/N resultante con los criterios de calidad de funcionamiento de cada portadora OSG, se derivaron los límites de $dfpe_{\downarrow}$ que cumplen los criterios de la presente Recomendación. Este ejercicio se efectuó con dos portadoras de TELECOM2: una portadora AMDT y una portadora VSAT a computador central.

4.1 Comunicación VSAT – 153,6 kHz

La portadora del sistema OSG tiene los siguientes criterios de calidad de funcionamiento que figuran en el Cuadro 2 y una antena de 3,5 m para la recepción.

CUADRO 2

C/N deseada (dB)	4,4
Porcentaje de tiempo en que la C/N debe ser excedida	98
C/N deseada (dB)	3,8
Porcentaje de tiempo en que la C/N debe ser excedida	99,92
C/N deseada (dB)	1,9
Porcentaje de tiempo en que la C/N debe ser excedida	99,96

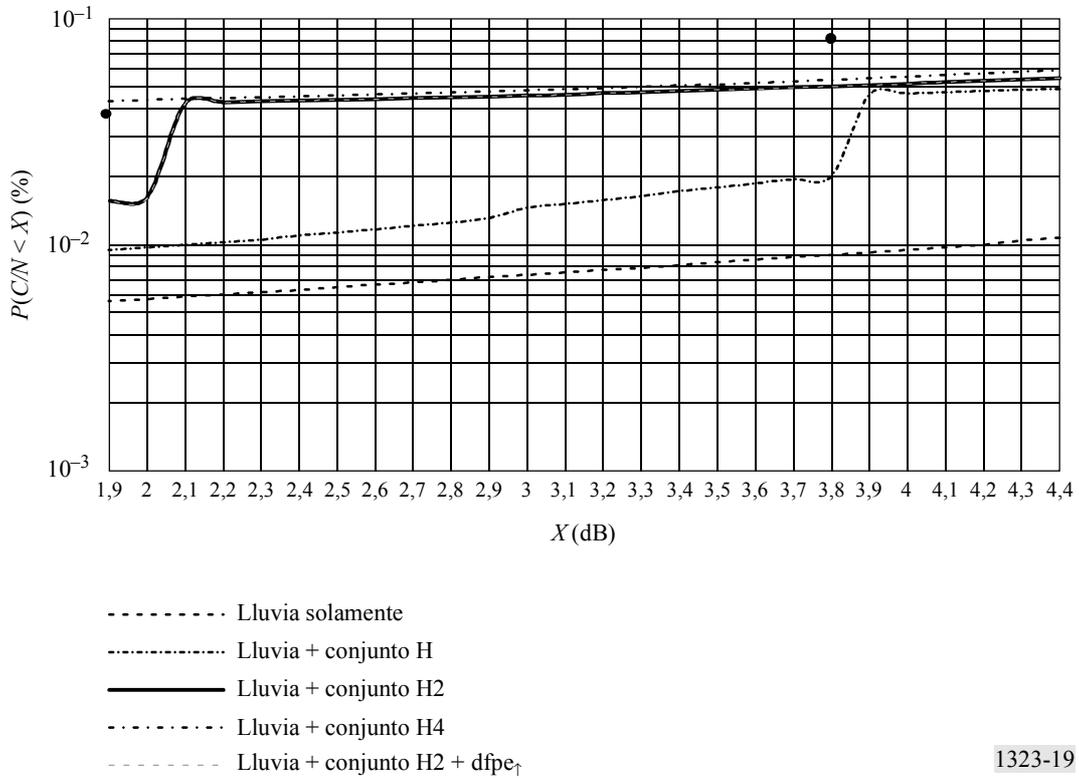
Se probaron varios conjuntos de límites de $dfpe_{\downarrow}$, que se resumen en el Cuadro 3.

CUADRO 3

Conjunto H		Conjunto H2		Conjunto H4	
$dfpe_{\downarrow}$ (dB(W/(m ² · 4 kHz)))	Porcentaje de tiempo que no se rebasa la $dfpe_{\downarrow}$	$dfpe_{\downarrow}$ (dB(W/(m ² · 4 kHz)))	Porcentaje de tiempo que no se rebasa la $dfpe_{\downarrow}$	$dfpe_{\downarrow}$ (dB(W/(m ² · 4 kHz)))	Porcentaje de tiempo que no se rebasa la $dfpe_{\downarrow}$
-175	99,9	-173	99,9	-172	99,9
-171	99,97	-169	99,97	-168	99,97
-161	99,999	-159	99,999	-158	99,999
-160	100	-158	100	-157	100

En la Fig. 19 se muestran los resultados de la aplicación de estos conjuntos de límites.

FIGURA 19
Repercusión de los límites de dfpe en la distribución de C/N, TELECOM2 - VSAT



1323-19

Para el conjunto de límites de dfpe_↓ que satisfacen la presente Recomendación, los resultados fueron los indicados en el Cuadro 4.

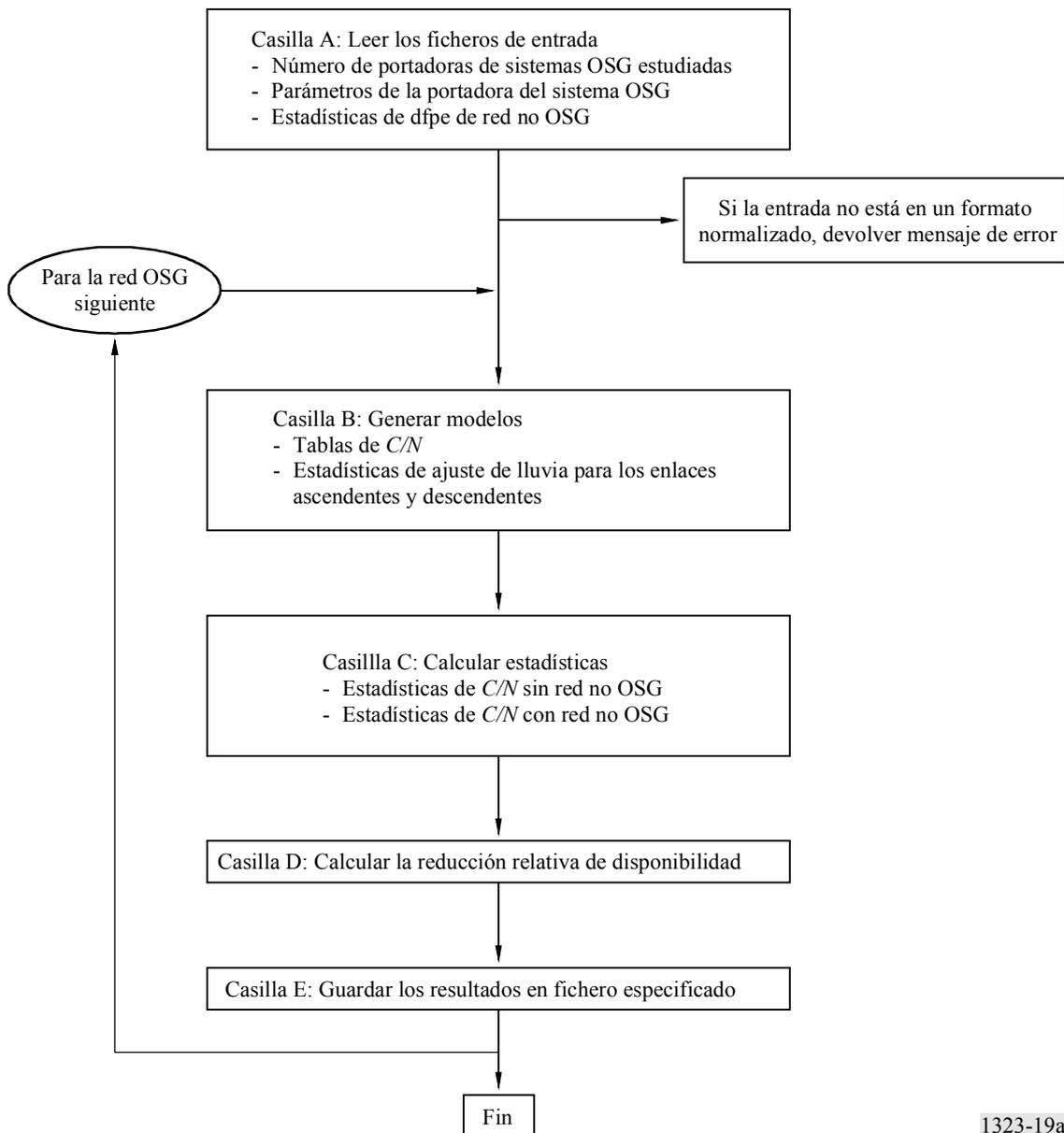
CUADRO 4

C/N	1,9	3,8	4,4
Porcentaje de tiempo autorizado	0,04	0,08	2
Resultados con lluvia solamente	0,00563534	0,00902573	0,01073518
Lluvia + conjunto H2 + dfpe _↑ del artículo S22 du RR	0,01558573	0,05011122	0,05456822

Algoritmo del soporte lógico

Este Apéndice contiene un algoritmo simplificado del soporte lógico proporcionado.

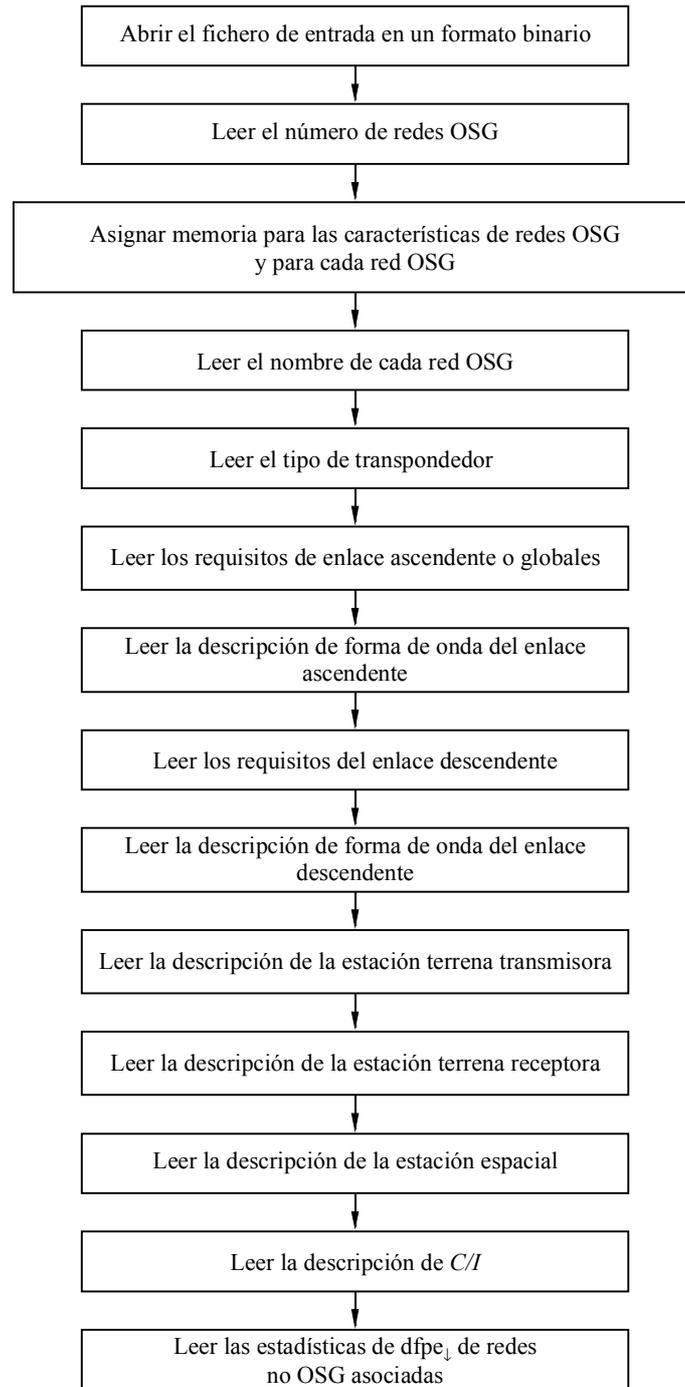
1 Algoritmo general

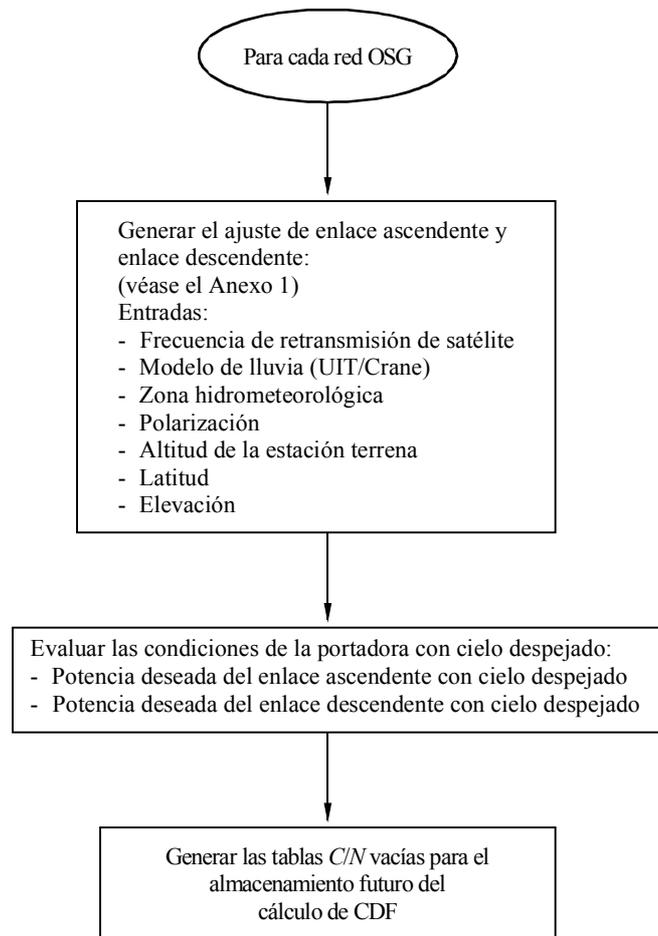


2 Descripción de las diferentes casillas

2.1 Casilla A: Leer los ficheros de entrada

Esta parte del soporte lógico lee y almacena los diferentes parámetros de las portadoras de sistemas OSG y los diferentes ficheros de $dfpe_{\downarrow}$ de sistemas no OSG. Comprueba también que se utilizan los parámetros normalizados.



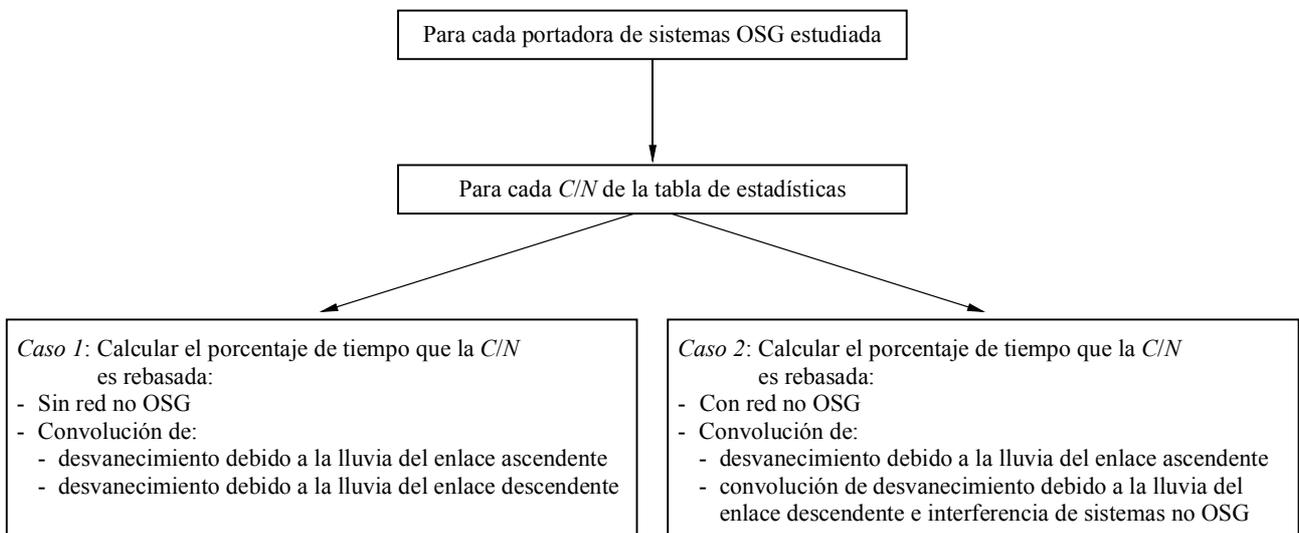


1323-19c

2.2 Casilla B: Generar modelos

La finalidad de este subprograma es generar todos los modelos que serán utilizados después para generar las estadísticas de C/N . En particular, se calcula una aproximación para las atenuaciones debidas a la lluvia. La descripción de la metodología utilizada para calcular el ajuste de lluvia se describe en el Anexo 1.

2.3 Casilla C: Calcular las estadísticas de $C/(N + I)$



1323-19d

Caso 1: Función de diversidad acumulada de C/N total sin sistemas no OSG

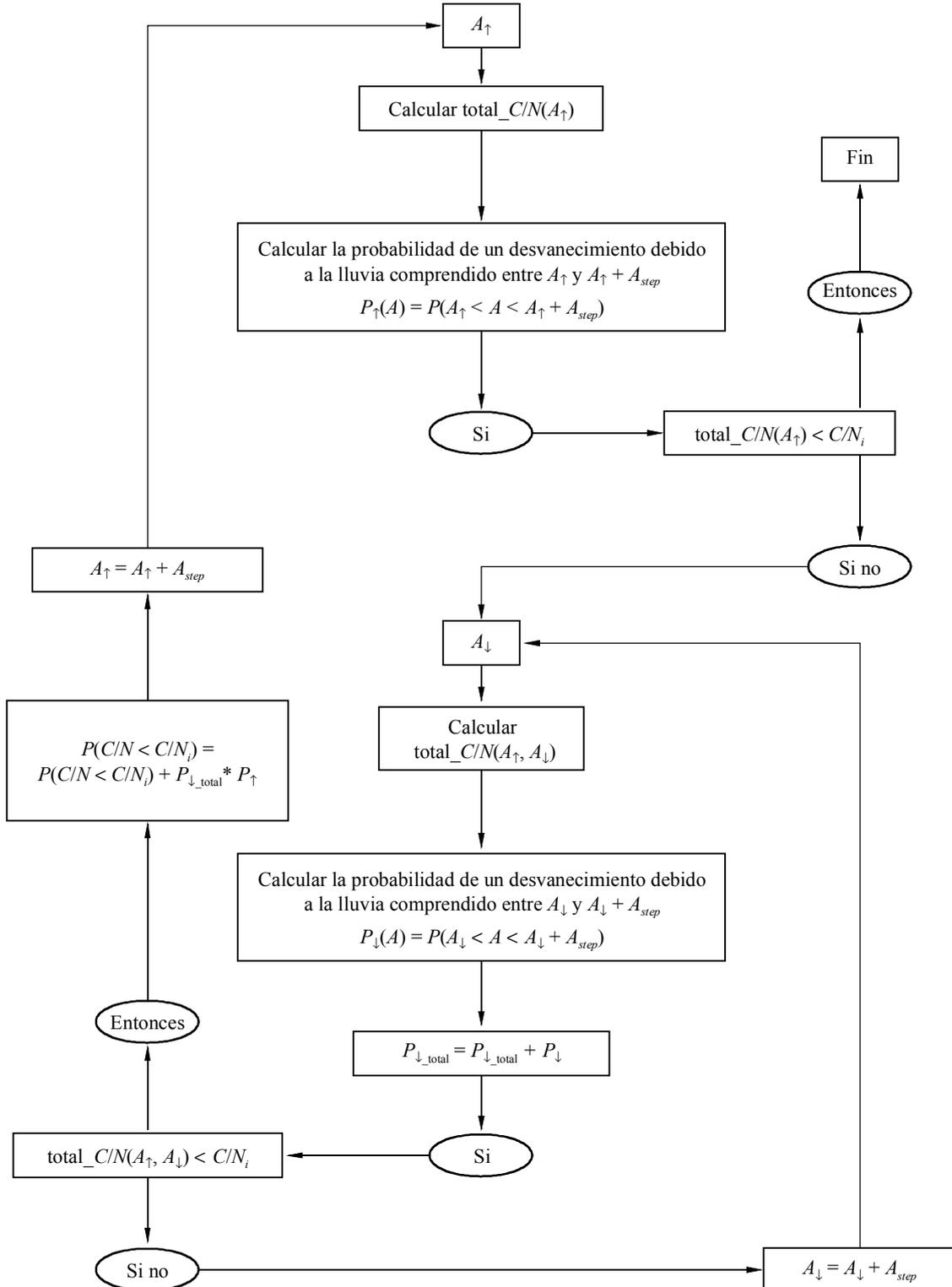
Para cada C/N probada de la tabla de estadísticas de C/N, con las siguientes notaciones:

total_C/N(A_↑): C/N total de la portadora con una atenuación debida a la lluvia del enlace ascendente de A_↑ y ninguna atenuación del enlace descendente;

total_C/N(A_↑, A_↓): C/N total de la portadora con una atenuación debida a la lluvia del enlace ascendente de A_↑ y una atenuación debida a la lluvia del enlace descendente de A_↓;

C/N_i: C/N para la cual se está calculando el porcentaje de tiempo;

A_{step}: paso del cálculo para la atenuación debida a la lluvia.



Caso 2: Función de densidad acumulada de C/N total con sistemas no OSG

Para cada C/N probada de la tabla de estadísticas de C/N, con las notaciones siguientes:

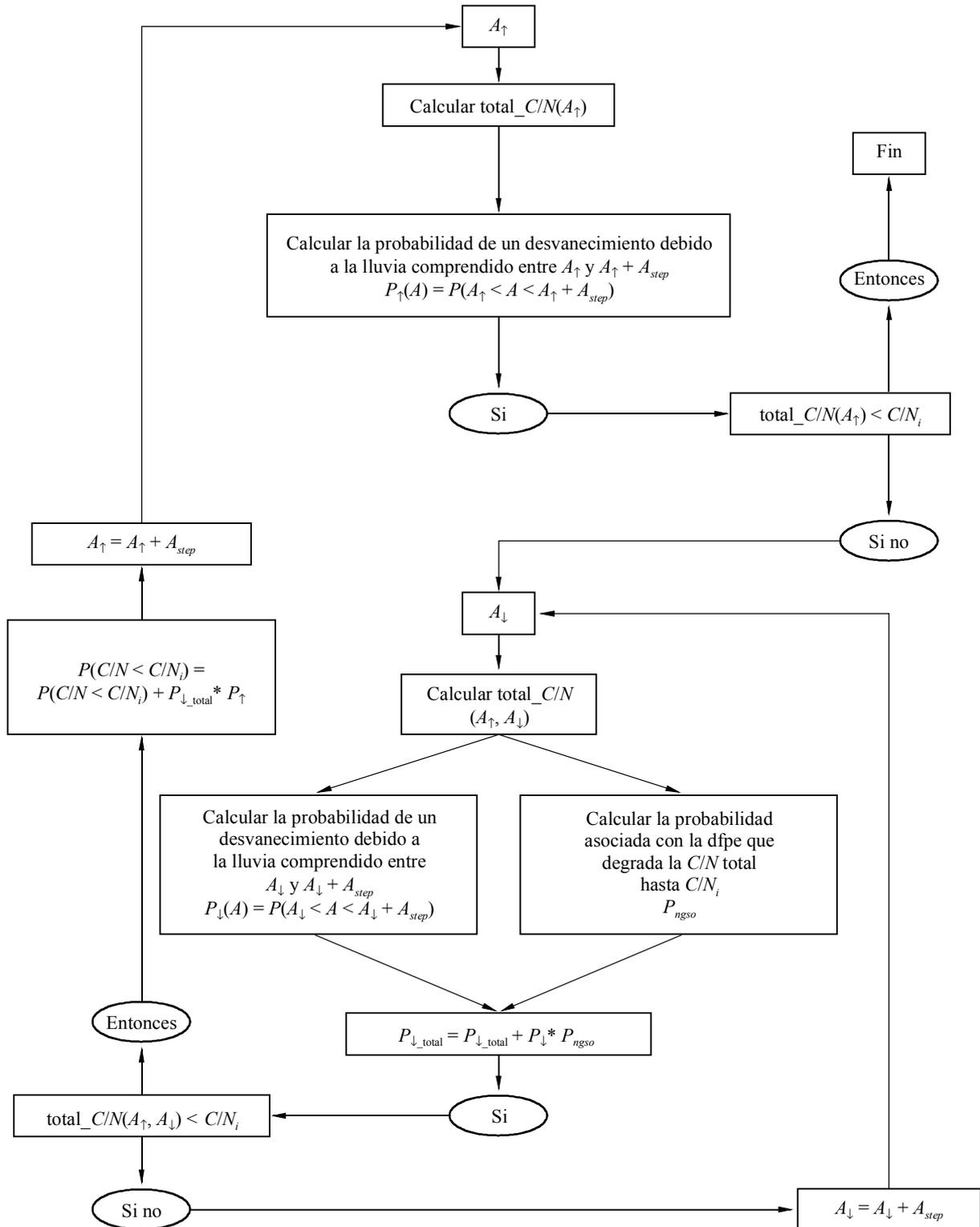
total_C/N(A_{\uparrow}): C/N total de la portadora con una atenuación debida a la lluvia del enlace ascendente de A_{\uparrow} y ninguna atenuación del enlace descendente;

total_C/N($A_{\uparrow}, A_{\downarrow}$): C/N total de la portadora con una atenuación debida a la lluvia del enlace ascendente de A_{\uparrow} y una atenuación debida a la lluvia del enlace descendente de A_{\downarrow} ;

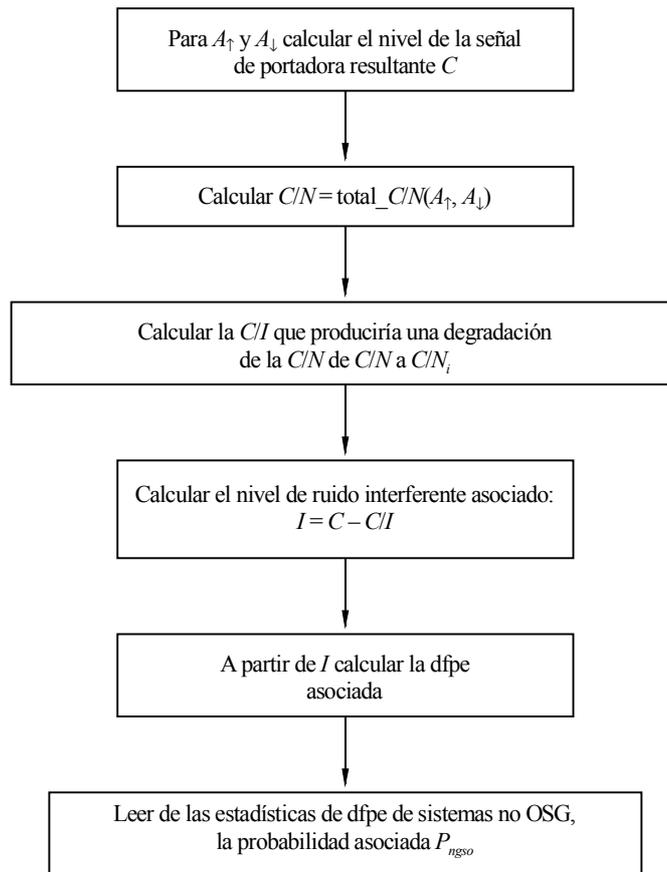
C/N_i : C/N para la cual se está calculando el porcentaje de tiempo asociado;

A_{step} : paso del cálculo para la atenuación debida a la lluvia.

El algoritmo utilizado es el siguiente:



El siguiente algoritmo detalla el cálculo de P_{ngso} con las mismas notaciones:



1323-19g

2.4 Casilla D: Cálculo de la reducción relativa de disponibilidad

Esta parte del soporte lógico determina el aumento relativo de indisponibilidad debida a la introducción de sistema(s) no OSG, $R_v(X)$ (%):

$$R_v(X) = 100 \frac{\Delta(X)}{P_2(X)} = 100 \frac{P_2(X) - P_1(X)}{P_2(X)}$$

donde P_1 es la probabilidad de estar por debajo de un determinado nivel de C/N sin sistemas no OSG y P_2 con sistemas no OSG.

3 Descripción de las funciones aplicadas

Este punto proporciona la descripción de las funciones aplicadas en el soporte lógico proporcionado.

3.1 Cálculo de las condiciones de la portadora con cielo despejado

3.1.1 Cálculo de la potencia deseada del enlace ascendente con cielo despejado

La potencia deseada del enlace ascendente con cielo despejado puede expresarse como:

$$C = e.i.r.p.\uparrow - L\uparrow + G_{rx-sat}$$

donde:

$e.i.r.p.\uparrow$: p.i.r.e. del enlace ascendente

$L\uparrow$: pérdida de propagación total del enlace ascendente

G_{rx-sat} : ganancia de la antena receptora del satélite en el sentido de la estación terrena.

La p.i.r.e. del enlace ascendente se deriva de los parámetros de entrada:

$e.i.r.p._{\uparrow}$: p.i.r.e. en el eje de la estación terrena transmisora-pérdida de puntería de la estación terrena transmisora

Las pérdidas de propagación totales del enlace ascendente se calculan como sigue:

$$L_{\uparrow} = L_{fs_{\uparrow}} + L_{ga_{\uparrow}}$$

donde:

$L_{fs_{\uparrow}}$: pérdida en el espacio libre del enlace ascendente:

$$20 \log (4 \pi (D_{\uparrow} 1000) \cdot (Rx \text{ Freq}/0,3))$$

$L_{ga_{\uparrow}}$: atenuación gaseosa del enlace ascendente, calculada según la Recomendación UIT-R P.676

D_{\uparrow} : distancia al satélite OSG

$$6378 (6,61 \sqrt{(1,0 - \text{pow}(\cos(E_{\uparrow}) / 6,61, 2,0))} - \text{sen}(E_{\uparrow}))$$

E_{\uparrow} : elevación del satélite visto desde la estación terrena considerada.

3.1.2 Cálculo de la potencia deseada del enlace descendente con cielo despejado

La potencia deseada del enlace descendente con cielo despejado puede expresarse como sigue:

$$C = e.i.r.p._{\downarrow} - L_{\downarrow} + G_{rx-es} - P_{rx}$$

donde:

P_{rx} : pérdida de puntería de la estación terrena receptora

G_{rx-es} : ganancia en el eje de la estación terrena receptora

L_{\downarrow} : pérdida de propagación total del enlace descendente

$e.i.r.p._{\downarrow}$: p.i.r.e. del enlace descendente. La p.i.r.e. del enlace descendente es un parámetro de entrada.

La pérdida de propagación total del enlace descendente se puede expresar como en el caso del enlace ascendente.

3.2 Cálculo de las condiciones de la portadora con lluvia

3.2.1 Generación del ajuste por lluvia

La finalidad de esta función es generar el ajuste de CDF del desvanecimiento debido a la lluvia para integrar después la función de densidad de probabilidad de las estadísticas de lluvia. El modelo se deriva del modelado del UIT-R:

A_{min} : atenuación mínima excedida durante el porcentaje de tiempo máximo autorizado:

– 1% para UIT-R,

– 5% para Crane.

X, Y, Z se utilizan para el modelo:

$$\log(CDF) = X + \sqrt{Y + Z \log(A)}$$

p : probabilidad en porcentaje (%) de que una atenuación dada A (dB) sea rebasada.

El ajuste se basa en el cálculo de los diferentes momentos de la distribución de p . En una notación de matriz se escribe:

$$[B] = [A] [X, Y, Z]T, [b] = [a][Y, Z]T$$

Las entradas requeridas para esta función son:

Frecuencia: frecuencia portadora (GHz)

Modelo: tipo de modelo de lluvia

Zona: región

$R_{0,01}$: intensidad de lluvia excedida durante el 0,01% del tiempo

Polar:	polarización de la portadora
Altitud:	altitud de la estación terrena por encima del nivel medio del mar (km)
Latitud:	latitud de la estación terrena (grados)
Elevación:	ángulo de elevación de la estación terrena (grados)
Ajuste:	puntero en la estructura que se ha de actualizar.

3.2.2 Cálculo de la potencia deseada del enlace ascendente

La finalidad de esta función es calcular la potencia deseada del enlace ascendente para una portadora dada en cualquier condición de lluvia.

Notaciones utilizadas:

A_{\uparrow} :	atenuación debida a condiciones de lluvia del enlace ascendente (dB)
L_{\uparrow} :	pérdida de propagación total del enlace ascendente
C :	potencia deseada en la estación espacial
$G_{a_{cs}_{\uparrow}}$:	atenuación gaseosa del trayecto del enlace ascendente con condiciones de cielo despejado
$G_{a_{rain}_{\uparrow}}$:	atenuación gaseosa del trayecto del enlace ascendente con condiciones de lluvia (atenuación A_{\uparrow} (dB))
UPC :	control de potencia del enlace ascendente (<i>uplink power control</i>)
$UPCA$:	exactitud de control de potencia del enlace ascendente (<i>uplink power control accuracy</i>)
RPC :	alcance de control de potencia del enlace ascendente.

El primer paso de esta función es verificar si la portadora está utilizando control de potencia de enlace ascendente y, en caso afirmativo, calcular el nivel del control de potencia. El valor del nivel de control de potencia se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$UPC = \text{floor}((A_{\uparrow} + G_{a_{rain}_{\uparrow}} - G_{a_{cs}_{\uparrow}}) / UPCA) UPCA$$

Si el control de potencia requerido por la atenuación debida a la lluvia del enlace ascendente es superior a la gama de control de potencia de enlace ascendente de la portadora dada, el control de potencia de enlace ascendente tendrá el valor posible máximo y entonces:

$$UPC = RPC$$

El segundo paso es calcular las pérdidas adicionales totales hacia el satélite debido a las condiciones de lluvia.

En este caso se tiene:

$$L_{\uparrow} = A_{\uparrow} + G_{a_{rain}_{\uparrow}}$$

Se puede calcular después la potencia deseada en la estación espacial OSG obteniéndola de la potencia deseada con cielo despejado calculada en la sección precedente. La potencia de enlace ascendente de la portadora del sistema OSG con condiciones de lluvia viene dada por la fórmula siguiente:

$$C_{\uparrow} = C_{cs_{\uparrow}} + UPC - L_{\uparrow}$$

3.2.3 Cálculo del nivel de ruido más potencia de interferencia del enlace ascendente

La finalidad de esta función es calcular el enlace ascendente ($N + I$) de la portadora de sistemas OSG considerando las contribuciones de todas las fuentes interferentes y con una atenuación debida a la lluvia de enlace ascendente de A_{\uparrow} dB.

Se utilizan las siguientes notaciones:

$I_{epfd_{\uparrow}}$:	C/I debida al límite de $dfpe_{\uparrow}$ considerado
$Xpol_{TxES}$:	C/I debida al aislamiento por polarización cruzada de la estación terrena transmisora
$Intermod_{ES}$:	C/I debida a la intermodulación de la estación terrena transmisora
$Xpol_{SS}$:	C/I debida al aislamiento por polarización cruzada de la estación espacial OSG
$I_{asi_{\uparrow}}$:	potencia de interferencia debida a la interferencia del satélite adyacente (ASI, <i>adjacent satellite interference</i>) de enlace ascendente
$I_{fs_{\uparrow}}$:	potencia de interferencia debida a compartición del servicio fijo de enlace ascendente
I_{reuse} :	potencia de interferencia debida a la reutilización de frecuencia

C_{cs} :	potencia deseada con cielo despejado en la estación terrena OSG
C :	potencia deseada del enlace ascendente
N_{th} :	potencia de ruido térmico del satélite OSG
I :	ruido total más potencia de interferencia
W_{\uparrow} :	anchura de banda de ruido
T_{sat} :	temperatura del sistema receptor del satélite.

La C/I debida al límite de $dfpe_{\uparrow}$ considerado sólo se tiene en cuenta si el cálculo incluye la $dfpe_{\uparrow}$.

El control de potencia del enlace ascendente debe cambiar la reducción de potencia del amplificador. Sin embargo, aquí se supone que el cambio de reducción de potencia de la estación terrena debido al posible control de potencia del enlace ascendente no tiene repercusión porque no se dispone de datos.

Se supone también que la estación terrena transmisora OSG transmite en la polarización opuesta con el mismo incremento de control de potencia, si lo hubiere. La potencia de interferencia no cambia.

El primer paso es calcular el nivel de interferencia de las variables dadas como C/I :

La potencia de interferencia en el satélite debida a las diversas C/I se calcula como sigue:

$$I_{C/I} = C + 10 \log (10^{-Intermod_{ES}/10} + 10^{-Xpol_{TxES}/10} + 10^{-Xpol_{SS}/10})$$

para $I_{asi_{\uparrow}}$, $I_{fs_{\uparrow}}$, I_{reuse} , se utiliza el nivel de la portadora con cielo despejado para obtener el nivel de potencia de interferencia.

Se calcula después la contribución de potencia de ruido térmico del satélite:

$$N_{th} = -228,6 + 10 \log (W_{\uparrow}) + 10 \log (T_{sat})$$

Se calcula la $N + I$ de enlace ascendente total: $epfd_{\uparrow}$

$$I = 10^{(I_{C/I}/10)} + 10^{(I_{asi_{\uparrow}}/10)} + 10^{(I_{fs_{\uparrow}}/10)} + 10^{(I_{reuse}/10)} + 10^{(I_{epfd_{\uparrow}}/10)} + 10^{(N_{th}/10)}$$

$$I_{dB} = 10 \log (I)$$

3.2.4 Cálculo de la potencia deseada del enlace descendente con condiciones de lluvia

La finalidad de esta función es calcular la potencia deseada del enlace descendente de una portadora dada en cualquier condición, suponiendo atenuación debida a la lluvia en los enlaces descendente y ascendente.

Se utilizan las siguientes notaciones:

A_{\uparrow} :	atenuación debida a la lluvia de enlace ascendente (dB)
A_{\downarrow} :	atenuación debida a la lluvia de enlace descendente (dB)
$C_{cs_{\uparrow}}$:	potencia deseada de enlace ascendente con cielo despejado
$C_{cs_{\downarrow}}$:	potencia deseada enlace descendente con cielo despejado
C_{\uparrow} :	potencia deseada de enlace ascendente con una atenuación debida a la lluvia de A_{\uparrow} (dB)
var_{ibo} :	variación de reducción de potencia de entrada (IBO, <i>input back-off</i>)
var_{obo} :	variación de reducción de potencia de salida (OBO, <i>output back-off</i>)
IBO, OBO :	IBO y OBO total con cielo despejado
ibo, obo :	ibo y obo en condiciones de lluvia
a :	pendiente de OBO en función de la variación de IBO
$Ga_{cs_{\downarrow}}$:	atenuación gaseosa con cielo despejado en el trayecto de enlace descendente
Ga_{\downarrow} :	atenuación gaseosa real
L_{\downarrow} :	pérdida de propagación total del enlace descendente
C :	potencia deseada en la estación terrena OSG
ALC :	control automático de nivel (<i>automatic level control</i>).

Para los satélites OSG transparentes, el primer paso es calcular la OBO real. La variación de la IBO viene dada por:

$$var_{ibo} = C_{cs_{\uparrow}} - C_{\uparrow}$$

Para el funcionamiento con múltiples portadoras, se supone que la variación de obo sea igual a la variación de ibo. En general, esta variación entre ibo y obo es apropiada, pero en determinados casos puede producir resultados erróneos que subestiman la calidad de funcionamiento del enlace. Para los transpondedores que funcionan en la región no lineal con 2-4 portadoras por transpondedor, cuando no se utiliza control de potencia en el enlace ascendente, y cuando las portadoras están enlazadas desde la misma ubicación, la variación en obo debida al aumento en ibo debido a la lluvia no es igual. Para estos casos se requiere una mejor representación de las características de transferencia de ganancia del amplificador del satélite.

Si se aplica control automático de nivel, se supone un acceso único desde la estación terrena deseada. En este caso, se modifica IBO. Si la variación de ibo es menor que la gama ALC (ALC Range), se supone que la variación de ibo es nula. Si la variación de ibo rebasa la gama ALC, entonces:

$$var_{ibo} = var_{ibo} - ALC_{Range}$$

Se supone IBO de 0 dB para OBO de 0 dB, por lo que la variación de IBO implica una variación de OBO. La p.i.r.e. se ajusta en consecuencia.

La pendiente de la variación de OBO en función de IBO se define como sigue:

$$a = OBO/IBO$$

ibo se calcula añadiendo la variación de ibo calculada anteriormente a IBO.

$$ibo = IBO + var_{ibo}$$

El conocimiento de la pendiente de obo en función de la variación de ibo proporciona la obo:

$$obo = a \cdot ibo$$

Por último la variación de obo para funcionamiento con una sola portadora se obtiene como sigue:

$$var_{obo} = obo - OBO$$

El siguiente paso es calcular la atenuación gaseosa del enlace descendente con condiciones de cielo despejado y de lluvia. Se calculan entonces las pérdidas adicionales totales hacia la estación terrena.

$$L_{\downarrow} = A_{\downarrow} + Ga_{\downarrow} - Ga_{cs_{\downarrow}} + var_{obo}$$

Es sencillo entonces calcular la potencia deseada en la estación terrena:

$$C = C_{cs_{\downarrow}} - L_{\downarrow}$$

3.2.5 Cálculo del ruido más el nivel de potencia de interferencia del enlace descendente

La finalidad de esta función es calcular el enlace descendente ($N+I$) teniendo en cuenta las contribuciones de todas las fuentes interferentes, salvo las de redes no OSG.

Se utilizan las siguientes notaciones:

A_{\uparrow} :	atenuación debida a la lluvia de enlace ascendente (dB)
A_{\downarrow} :	atenuación debida a la lluvia de enlace descendente (dB)
I_{xpol} :	interferencia debida a polarización cruzada
I_{asi} :	potencia de interferencia debida a ASI
I_{fs} :	potencia de interferencia debida a la compartición del servicio fijo
I_{reuse} :	potencia de interferencia debida a la reutilización de frecuencia
I_{adj} :	interferencia debida a transpondedores adyacentes
$I_{intermod}$:	potencia de ruido de interferencia de intermodulación del satélite
C/I_{im} :	C/I de intermodulación del satélite
C_{cs} :	potencia deseada de enlace ascendente con cielo despejado en la estación terrena
C :	potencia deseada del enlace descendente
N_{th} :	potencia de ruido térmico de la estación terrena

- A : atenuación gaseosa y atenuación debida a la lluvia
 I : ruido total más potencia de interferencia
 var_{obo} : variación de obo
 $OBO, C/I, a$: OBO con cielo despejado, C/I de intermodulación y pendiente
 T_{es} : temperatura de ruido del sistema receptor de la estación terrena incluida la absorción atmosférica.

El primer paso es calcular la variación de OBO del satélite:

$$var_{obo} = C_{cs} - (C + A)$$

Se supone una C/I de intermodulación del satélite de 11 dB para OBO de 0 dB. Siempre que se aplique el control automático de nivel, la potencia de ruido de interferencia generada por la intermodulación viene dada por:

$$a = (C/I_{im} - 11)/OBO$$

$$I_{intermod} = C - (OBO + var_{obo}) a + 11$$

A continuación se proporciona el cálculo de las diferentes fuentes de potencia de ruido interferente:

- cálculo de la interferencia debida a la reutilización de frecuencia:

$$I_{reuse} = C_{cs} - C/I_{reuse} - A$$

- cálculo de la interferencia debida a transpondedores adyacentes:

$$I_{adj} = C_{cs} - C/I_{adjacent_transponder} - A$$

- cálculo de la potencia de interferencia debida a polarización cruzada:

$$I_{Xpol} = C + 10 \log \left(10^{(-C/I_{srp}/10)} + 10^{(-C/I_{erp}/10)} \right)$$

con:

C/I_{srp} : C/I de polarización cruzada en recepción del satélite

C/I_{erp} : C/I de polarización cruzada en recepción de la estación terrena

- cálculo de la potencia de interferencia debida a ASI:

$$I_{asi} = C - C/I_{asi_d}$$

con:

C/I_{asi_d} : C/I debida a ASI en el trayecto el enlace descendente

- cálculo de la potencia de interferencia debida a la compartición del servicio fijo del enlace descendente:

$$I_{fs} = C - C_{fs_d}$$

- cálculo de la contribución de potencia de ruido térmico de atenuación de la estación terrena:

$$N_{th} = -228,6 + 10 \log (W_{\uparrow}) + 10 \log (T_{es} + 290 (1 - 10^{(A/10)}))$$

La $N + I$ de enlace ascendente total se calcula añadiendo todas las contribuciones.

3.2.6 Cálculo de la C/N del enlace ascendente

La finalidad de esta función es calcular la C/N del enlace ascendente de la portadora del sistema OSG.

Se utilizan las siguientes notaciones:

A_{\uparrow} : atenuación debida a la lluvia del enlace ascendente

C_{\uparrow} : potencia deseada del enlace ascendente

I_{\uparrow} : potencia de interferencia y potencia térmica total de enlace ascendente.

El cálculo de C_{\uparrow} e I_{\uparrow} ha sido explicado en los puntos precedentes. Se calcula la C/N resultante para el trayecto del enlace ascendente:

$$C/N_{\uparrow} = C_{\uparrow} - I_{\uparrow}$$

3.2.7 Cálculo de la C/N del enlace descendente

La finalidad de esta función es calcular la C/N del enlace descendente. Se utilizan las siguientes notaciones:

- A_{\uparrow} : atenuación debida a la lluvia del enlace ascendente
- A_{\downarrow} : atenuación debida a la lluvia del enlace descendente
- C_{\downarrow} : potencia deseada del enlace descendente
- I_{\downarrow} : potencia de interferencia y potencia térmica total del enlace descendente.

El cálculo de C_{\downarrow} e I_{\downarrow} ha sido explicado en los puntos precedentes. El cálculo de la C/N del enlace descendente es entonces:

$$C/N_{\downarrow} = C_{\downarrow} - I_{\downarrow}$$

3.2.8 Cálculo de la C/N total

La finalidad de esta función es calcular la C/N total.

Si sólo se estudia el enlace ascendente para transpondedores regenerativos:

$$C/N = C/N_{\uparrow}$$

Si sólo se estudia el enlace descendente para transpondedores regenerativos:

$$C/N = C/N_{\downarrow}$$

Si el transpondedor es transparente, se efectúa la combinación de ascendente y descendente:

$$C/N = -10 \log 10^{-(C/N_{\uparrow})/10} + 10^{-(C/N_{\downarrow})/10}$$

3.2.9 Cálculo de la $dfpe_{\downarrow}$ máxima

La finalidad de esta función es calcular la $dfpe_{\downarrow}$ máxima para determinadas A_{\uparrow} y A_{\downarrow} que darán al enlace OSG una C/N dada. Tras calcular el nivel de $dfpe_{\downarrow}$, se comprobará el porcentaje de tiempo durante el cual se obtiene esta $dfpe_{\downarrow}$.

Se utilizan las siguientes notaciones:

- C/N_{wanted} : C/N deseada
- A_{\uparrow} : atenuación debida a la lluvia del enlace ascendente
- A_{\downarrow} : atenuación debida a la lluvia del enlace descendente
- C/N : C/N vigente del enlace OSG con la atenuación debida a la lluvia A_{\downarrow} y A_{\uparrow}
- $C, I, C/I$
- K
- lambda
- gain
- temp
- epfd_max
- h
- p

El primer paso es calcular la C/N real de la portadora OSG dada la atenuación debida a la lluvia A_{\downarrow} y A_{\uparrow} . Este cálculo se ha indicado en los puntos precedentes. Si la C/N es superior a la C/N_{wanted} :

$$C/I = -10 \log (10^{-(C/N)_{wanted}/10} - 10^{-(C/N)/10})$$

El nivel de señal del enlace descendente de la portadora OSG se calcula aplicando lo indicado en los puntos precedentes. Conociendo la C/I que producirá la C/N real para el valor C/N estudiado, y conociendo el valor de C , se puede obtener el valor que se necesita de la señal interferente:

$$I = C - C/I$$

El nivel de $dfpe_{\downarrow}$ asociado con la potencia de interferencia I se obtiene de la siguiente fórmula:

$$epfd_{max} = I + 10 \log (4\pi/\lambda^2) - G + 10 \log (W_{ngso}/W_{gso})$$

donde:

$$\lambda = 0,3/F \quad \text{y} \quad G = G_{m\acute{a}x} - P$$

con:

F : frecuencia de transmisión del satélite OSG

P : pérdidas de puntería (dB)

$G_{m\acute{a}x}$: ganancia en el eje.

ANEXO 3

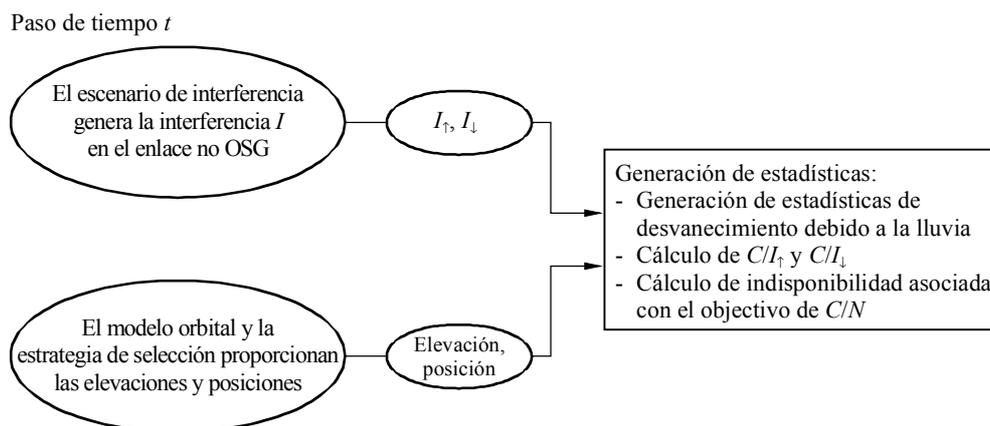
Procedimiento para evaluar la interferencia a enlaces con ángulo de elevación variable

1 Introducción

El método adoptado aquí es incluir un modelo dinámico en el Procedimiento D descrito en el Anexo 2. En cada paso de tiempo, se evalúa la configuración geométrica del sistema no OSG, a saber: posición del satélite que da servicio, elevación de este satélite con respecto a las estaciones terrenas no OSG transmisoras y receptoras. Para esta configuración espacial de la constelación no OSG, la interferencia combinada de un escenario OSG dado se puede calcular para el enlace ascendente y el enlace descendente.

El Procedimiento D se puede aplicar para el paso de tiempo dado, evaluando la repercusión sobre la indisponibilidad de I_{\uparrow} e I_{\downarrow} dadas generadas por redes OSG.

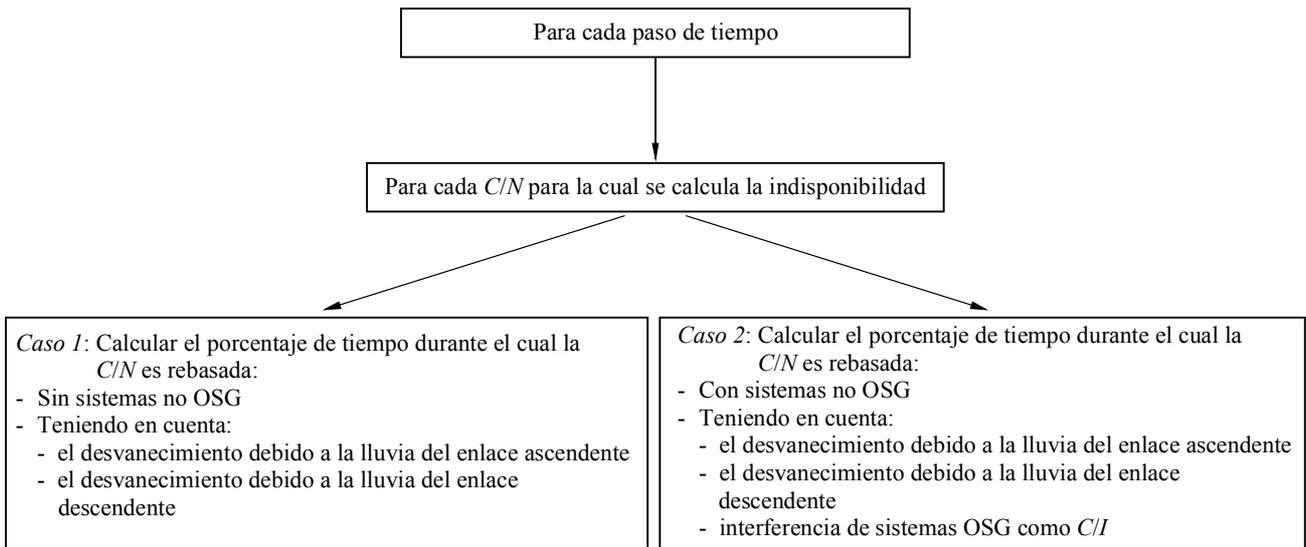
El siguiente flujograma describe los diferentes pasos de esta metodología:



1323-19h

En cada paso, la primera acción es generar la potencia de ruido de interferencia generada por el entorno de interferencia y la elevación y posición del satélite no OSG que da servicio a la estación terrena no OSG.

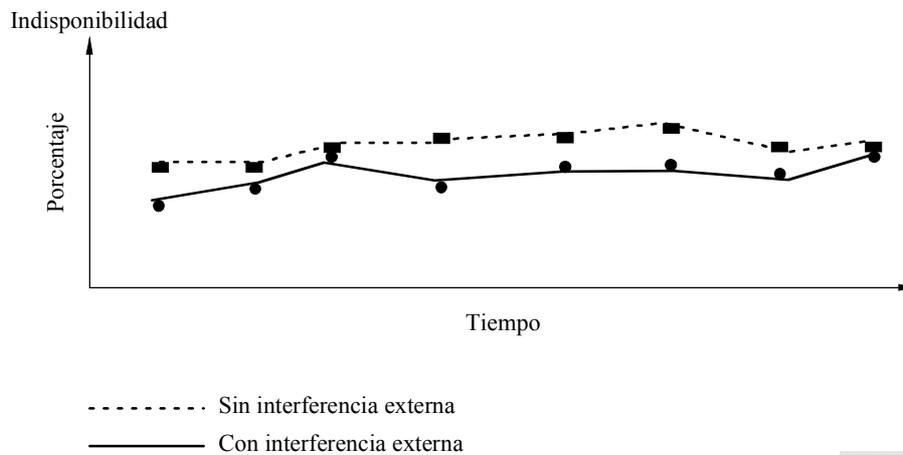
Después de esta primera acción, para cada paso, es posible aplicar el Procedimiento D, teniendo en cuenta la interferencia como una C/I constante (una para el enlace ascendente y otra para el enlace descendente).



1323-19i

Al final (Fin), para cada paso se genera una estadística de (C/N, disponibilidad asociada) y de (C/N + I, disponibilidad asociada).

FIGURA 20



1323-20

Para una C/N dada, aplicación de D'.

Caso 1: Función de densidad acumulada de C/N total sin sistemas OSG

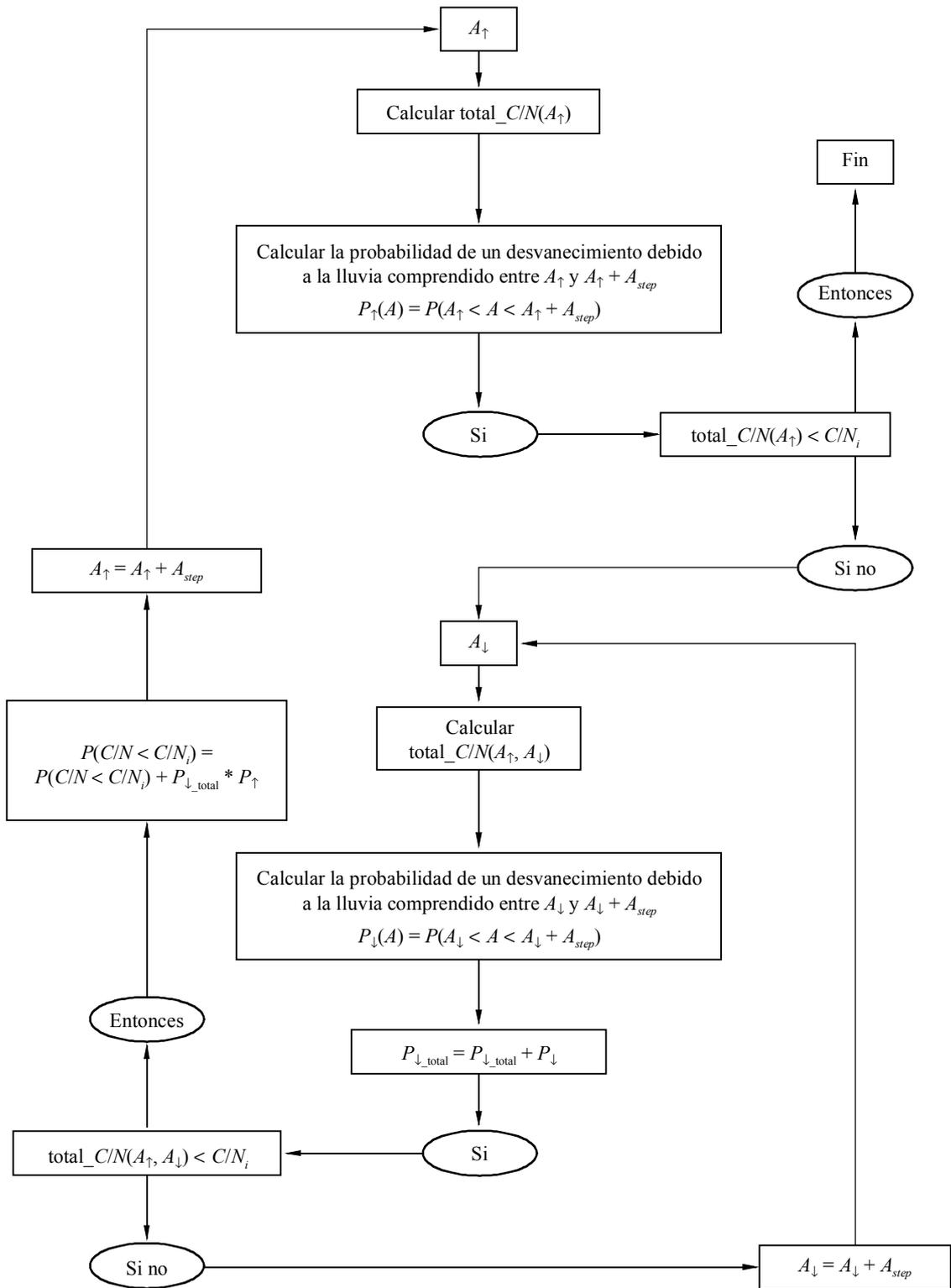
Para cada C/N probada para la cual se calcula la indisponibilidad, con las notaciones siguientes:

total_C/N(A_↑): C/N total de la portadora con una atenuación debida a la lluvia del enlace ascendente de A_↑ y ninguna atenuación del enlace descendente;

total_C/N(A_↑, A_↓): C/N total de la portadora con una atenuación debida a la lluvia del enlace ascendente de A_↑ y una atenuación debida a la lluvia del enlace descendente de A_↓;

C/N_i: C/N para la cual se está calculando el porcentaje de tiempo asociado

A_{step}: paso de cálculo para la atenuación debida a la lluvia.



1323-20a

Caso 2: Función de densidad acumulada de la C/N total con sistemas OSG

Para cada C/N probada para la cual se calcula la indisponibilidad, con las notaciones siguientes:

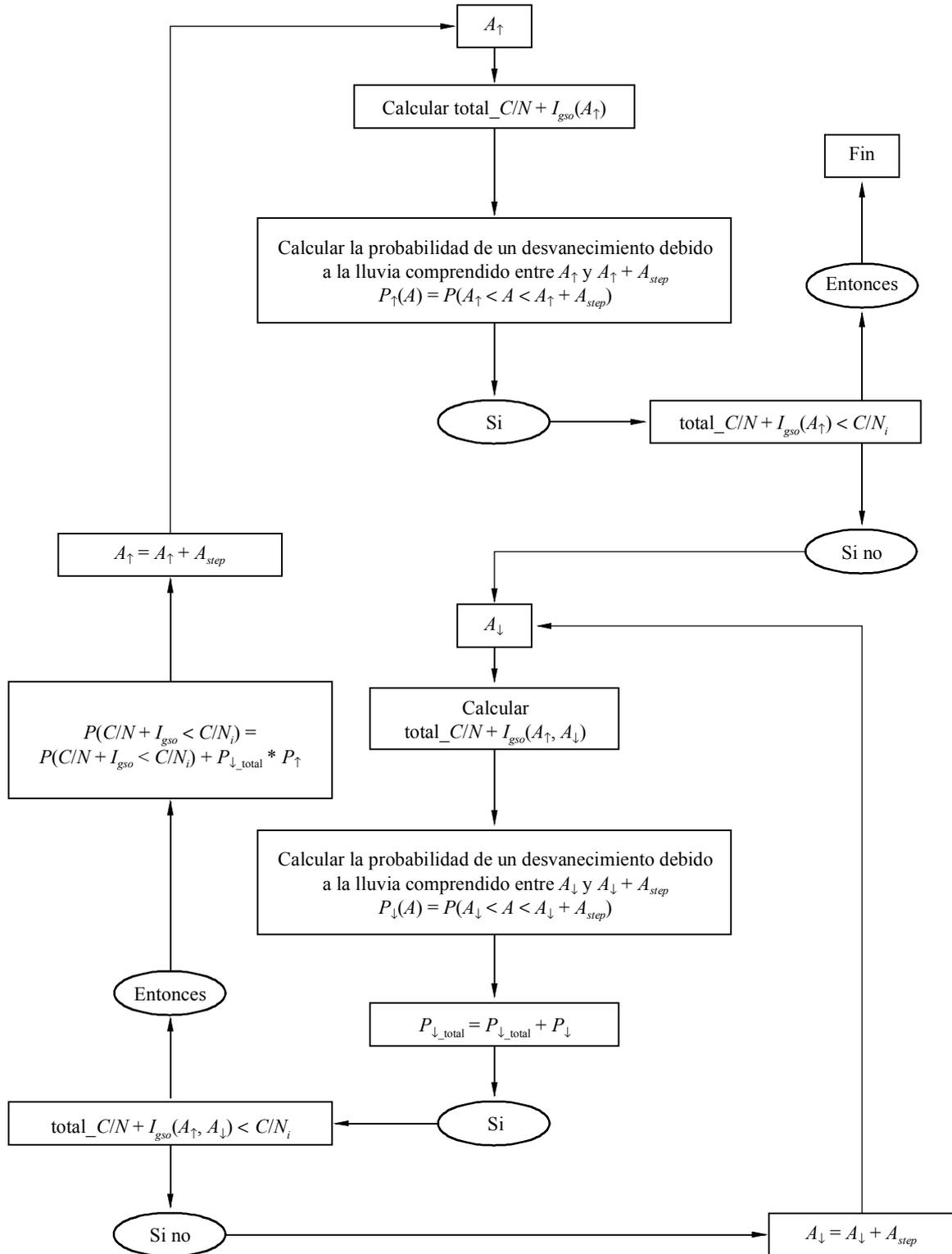
$total_C/N + I_{gso}(A_{\uparrow})$:

C/(N + I) total de la portadora con una atenuación debida a la lluvia de enlace ascendente de A_{\uparrow} , con inclusión de potencia de ruido de interferencia I_{\uparrow} e I_{\downarrow} generada por el escenario de interferencia de sistemas OSG y sin atenuación de enlace descendente;

$total_C/N + I_{gso}(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})$: $C/(N + I)$ total de la portadora con una atenuación debida a la lluvia de enlace ascendente de A_{\uparrow} , una atenuación debida a la lluvia de enlace descendente de A_{\downarrow} , y con inclusión de potencia de ruido de interferencia I_{\uparrow} e I_{\downarrow} generada por el escenario de interferencia de sistemas OSG;

C/N_i : C/N para la cual se está calculando el porcentaje de tiempo;

A_{step} : paso de cálculo para la atenuación debida a la lluvia.



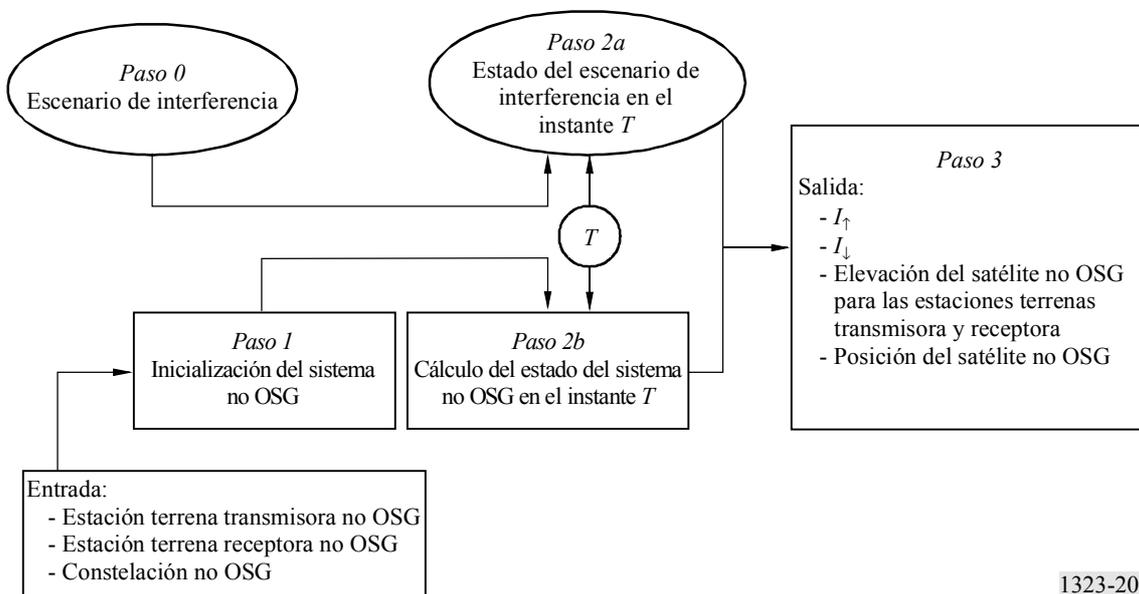
Esto se hace para cada paso durante un periodo de la constelación no OSG. Promediando las diferentes indisponibilidades para la C/N asociada con los objetivos de calidad de funcionamiento de sistemas no OSG, se obtiene la indisponibilidad total.

Es posible entonces evaluar el aumento relativo de indisponibilidad debida al escenario OSG elegido.

2 Aplicación de la metodología

A continuación se describe una aplicación de la metodología indicada. Se proporcionan flujogramas del soporte lógico y las distintas fórmulas utilizadas para derivar las simulaciones.

2.1 Algoritmo general



1323-20c

El procedimiento considera la protección de un enlace dado entre la estación terrena transmisora no OSG y la estación terrena no OSG receptora en el caso de un satélite transparente (o sólo los casos de enlace ascendente y enlace descendente para el transpondedor regenerativo).

2.1.1 Paso 0: Identificación de un escenario de interferencia de referencia

Una entrada al procedimiento es el entorno de interferencia del sistema no OSG. En caso de repercusión de los sistemas OSG en una red SFS no OSG, el primer paso será el establecimiento de un entorno OSG realista.

Esta base de datos tendrá la forma de una lista de enlaces (estación espacial OSG/estación terrena no OSG). Los parámetros radioeléctricos serán el diagrama de radiación de la p.i.r.e. de la estación terrena OSG (en el eje y fuera del eje) y la d_{fp} en la función terrenal del ángulo de elevación de los satélites OSG. Para la p.i.r.e., se considerarán la p.i.r.e. en el eje y fuera del eje.

El formato de la d_{fp} y de la p.i.r.e. fuera del eje se indica a continuación para la banda 14/11 GHz:

Enlace descendente: función de d_{fp} del ángulo de elevación.

Los límites de dfp propuestos en una contribución se repiten en el Cuadro 5.

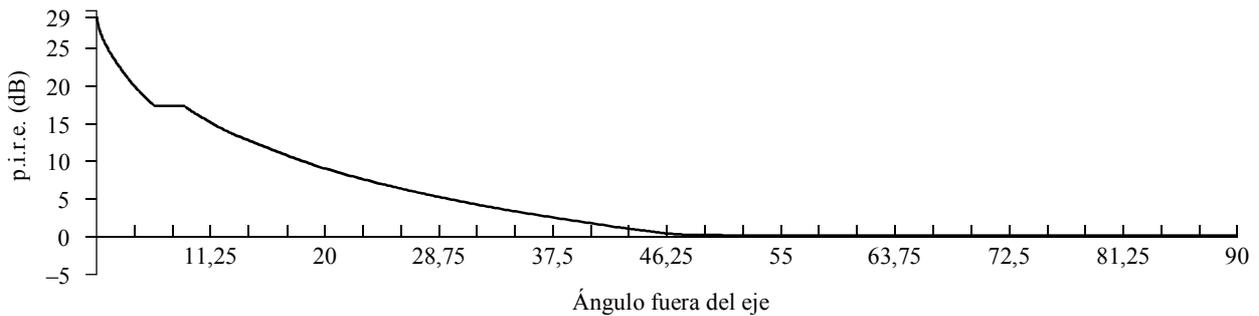
CUADRO 5

Banda de frecuencias	Servicio	Límite (dB(W/m ²)) para el ángulo de llegada (δ) por encima del plano horizontal			Anchura de banda de referencia
		0°-5°	5°-25°	25°-90°	
11,7-12,2 GHz (Région 2) y 12,5-12,75 GHz (Région 1)	Fijo por satélite (espacio-Tierra)	-114	-114 + 0,5 (δ - 5)	-104	10 MHz

Enlace ascendente: p.i.r.e. fuera del eje

Todas las estaciones terrenas OSG tienen una p.i.r.e. correspondiente a la plantilla descrita más adelante. La Fig. 21 muestra la plantilla de p.i.r.e. fuera del eje utilizada para todas las estaciones terrenas OSG. Corresponde con la plantilla de p.i.r.e. fuera del eje de la sección VI del artículo S22 del RR.

FIGURA 21



1323-21

o:

Ángulo fuera del eje	p.i.r.e. máxima por 40 kHz
$2,5^\circ \leq \varphi \leq 7^\circ$	$(53 - 25 \log \varphi)$ dB(W/40 kHz)
$7^\circ < \varphi \leq 9,2^\circ$	32 dB(W/40 kHz)
$9,2^\circ < \varphi \leq 48^\circ$	$(56 - 25 \log \varphi)$ dB(W/40 kHz)
$48^\circ < \varphi \leq 180^\circ$	14 dB(W/40 kHz)

2.1.2 Paso 1: Inicialización de los parámetros del sistema no OSG en el paso de tiempo, t

El primer paso del procedimiento es inicializar los diferentes segmentos del sistema no OSG. El segmento terrenal será modelado por una estación terrena receptora y una estación terrena transmisora, ambas identificadas por su latitud y longitud y sus parámetros radioeléctricos. La constelación no OSG será inicializada también.

Se necesita después una estrategia de conmutación para identificar cuál de los satélites de la constelación no OSG dará servicio a las dos estaciones terrenas no OSG (denominado el satélite no OSG activo) en un paso de tiempo dado.

2.1.3 Paso 2: Cálculo de las elevaciones y posición del satélite no OSG activo

Para un paso dado, el Paso 1 ha proporcionado el satélite de la constelación no OSG que está dando servicio a la estación terrena transmisora (en inglés: TES) y a la estación terrena receptora (en inglés: RES). El siguiente paso es calcular las elevaciones (E_{TES} y E_{RES}) del satélite con respecto a la estación terrena receptora y la estación terrena transmisora.

En este paso se calculará también la posición del satélite no OSG activo (X_a, Y_a, Z_a).

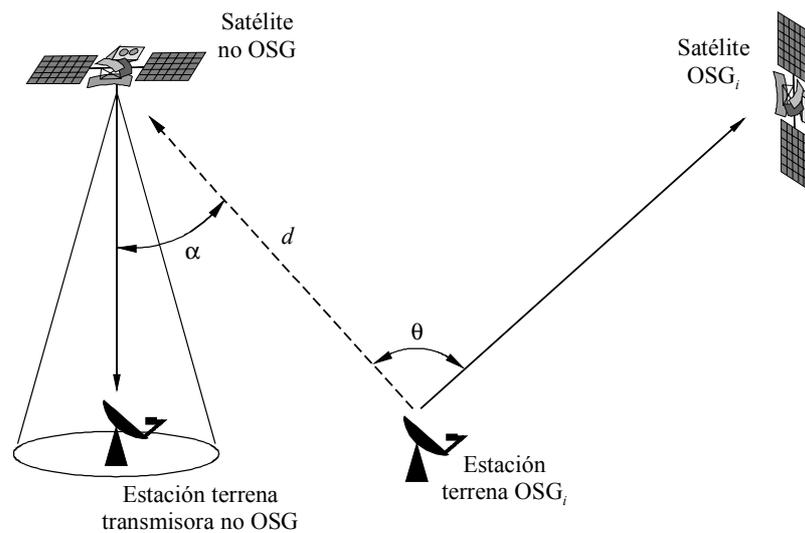
2.1.4 Paso 3: Cálculo de la interferencia del enlace ascendente, I_{\uparrow} , y de la interferencia del enlace descendente, I_{\downarrow}

El siguiente paso de la metodología es calcular la potencia de ruido del enlace ascendente y del enlace descendente debida al escenario de interferencia OSG elegido.

- Cálculo de la potencia de ruido del enlace ascendente.

En la Fig. 22 se muestra la interferencia procedente de una estación terrena OSG:

FIGURA 22



1323-22

La potencia de ruido de interferencia generada por la i -ésima estación terrena OSG en el trayecto de enlace ascendente viene dada por:

$$(I_{\uparrow})_i = p.i.r.e.(\theta) - 20 \log(4\pi d/\lambda) + G_{no\ osg}(\alpha) + 10 \log(B_{no\ osg})$$

donde:

$p.i.r.e.(\theta)$: p.i.r.e. fuera del eje en la dirección del satélite no OSG

d : distancia entre el satélite no OSG y la estación terrena OSG

λ : longitud de onda

$G_{no\ osg}(\alpha)$: ganancia en recepción del satélite no OSG en la dirección de la estación terrena OSG

$B_{no\ osg}$: anchura de banda del cálculo.

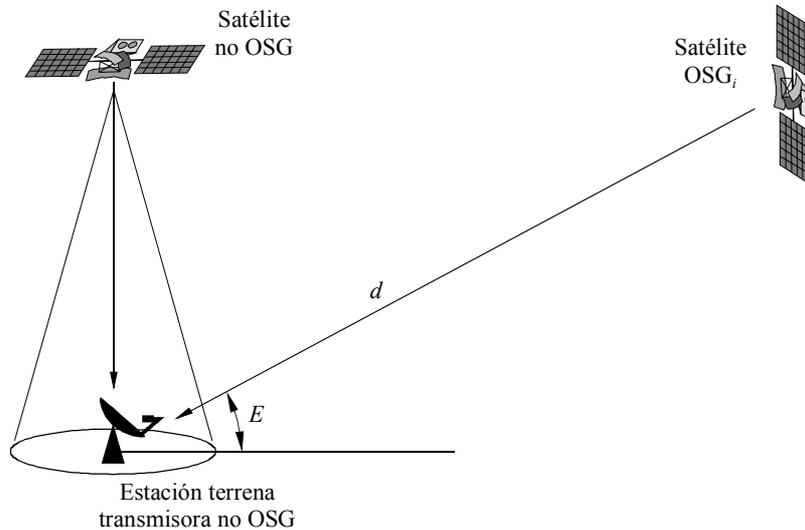
La potencia de ruido de interferencia de enlace ascendente combinada viene dada por la suma de las contribuciones individuales:

$$(I_{\uparrow}) = \sum (I_{\uparrow})_i = \sum (p.i.r.e.(\theta) - 20 \log(4\pi d/\lambda) + G_{no\ osg}(\alpha) + 10 \log(B_{no\ osg}))$$

- Cálculo del ruido del enlace descendente.

En la Fig. 23 se muestra la geometría de interferencia en el trayecto del enlace descendente.

FIGURA 23



1323-23

El primer paso es calcular la dfpe generada por la constelación OSG equivalente, que viene dada por:

$$dfpe_{\downarrow} = 10 \log \left[\sum_{i=1}^{N_s} 10^{dfp_i/10} \frac{G_r(\theta_i)}{G_{m\acute{a}x}} \right]$$

donde:

- N_s : número de estaciones espaciales OSG
- dfp_i : dfp generada por la i -ésima estación espacial OSG
- $G_r(\theta)$: ganancia de la estación terrena no OSG en la dirección del satélite OSG interferente
- $G_{m\acute{a}x}$: ganancia máxima de la estación terrena no OSG.

La potencia de ruido de interferencia se calcula mediante:

$$I_{\downarrow} = dfpe_{\downarrow} + 10 \log (\lambda^2/4 \pi) + G_{m\acute{a}x_RES} + 10 \log (B_{no\ osg})$$

donde:

- $dfpe_{\downarrow}$: dfp en el suelo de la constelación OSG
- λ : longitud de onda
- $G_{m\acute{a}x_RES}$: ganancia de antena receptora máxima de la estación terrena no OSG
- $B_{no\ osg}$: anchura de banda de referencia.

2.1.5 Paso 4: Aplicación del Procedimiento D en el paso de tiempo dado

El siguiente paso es aplicar el procedimiento descrito en el Anexo 2 de esta Recomendación. El Procedimiento D, con un presupuesto de enlace asociado con el sistema no OSG, permite calcular, para el paso de tiempo dado, la indisponibilidad asociada con los objetivos de calidad de funcionamiento (C/N) y la reducción relativa debida al escenario de interferencia OSG.

2.1.6 Paso 5: Obtención de la repercusión del escenario OSG

Una vez realizado el Paso 4 para toda la constelación no OSG, un promedio de todos los pasos de tiempo proporcionan la característica de disponibilidad de la C/N del sistema y la repercusión del escenario OSG.

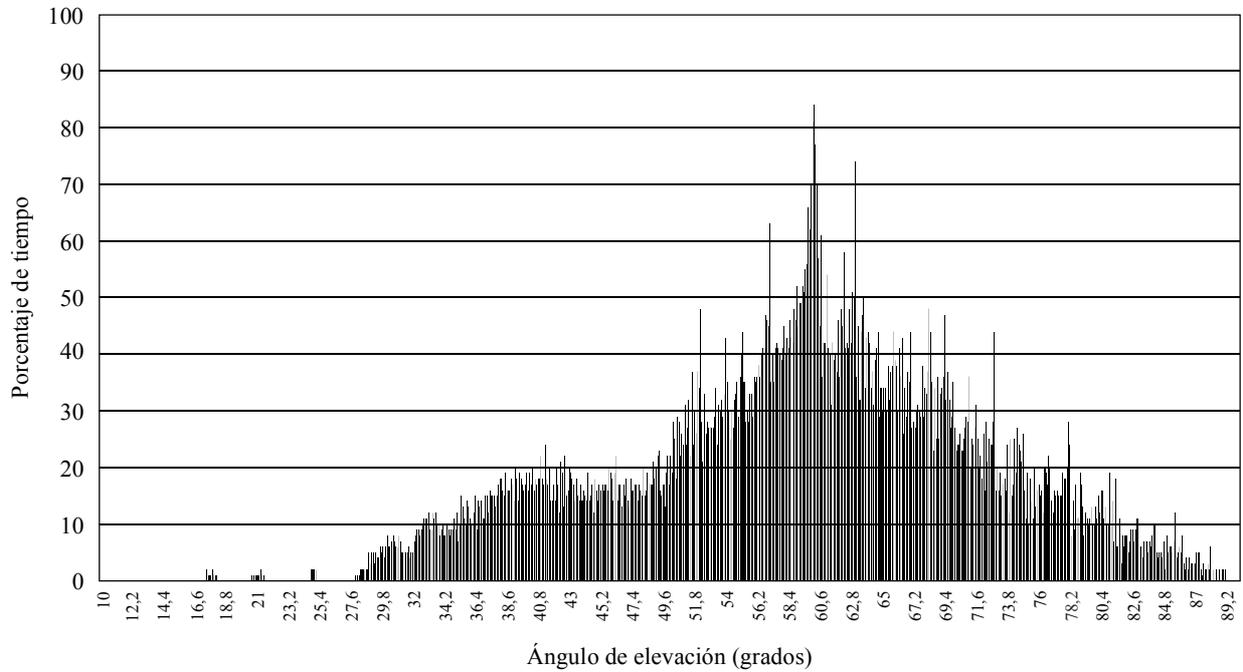
2.2 Ejemplo de aplicación

Este ejemplo se da con el siguiente escenario de interferencia:

Nombre_OSG	Longitud	Nombre estación terrena	Latitud	Longitud
GSO0	0	ES0	55	-20
GSO1	3	ES1	55	-10
GSO2	6	ES2	55	0
GSO3	9	ES3	55	10
		ES4	55	20
		ES5	45	-20
		ES6	45	-10
		ES7	45	0
		ES8	45	10
		ES9	45	20
		ES10	35	-20
		ES11	35	-10
		ES12	35	0
		ES13	35	10
		ES14	35	20
		ES15	25	-20
		ES16	25	-10
		ES17	25	0
		ES18	25	10
		ES19	25	20
		ES20	15	-20
		ES21	15	-10
		ES22	15	0
		ES23	15	10
		ES24	15	20
		ES25	5	-20
		ES26	5	-10
		ES27	5	0
		ES28	5	10
		ES29	5	20

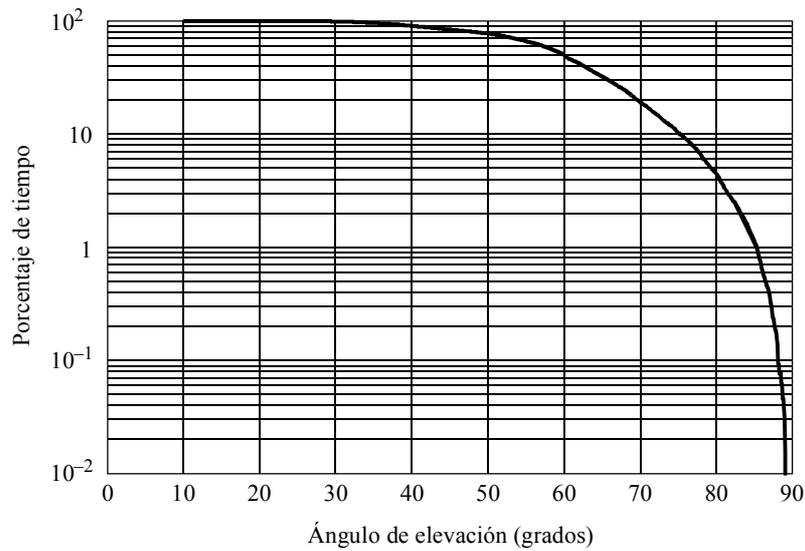
Todas las estaciones terrenas OSG apuntan a cada estación espacial OSG. La simulación se ha efectuado durante 13 000 s con un paso de tiempo de 1 s. Se dispone de los siguientes resultados:

FIGURA 24
Función de densidad de probabilidad de la elevación del satélite no OSG activo



1323-24

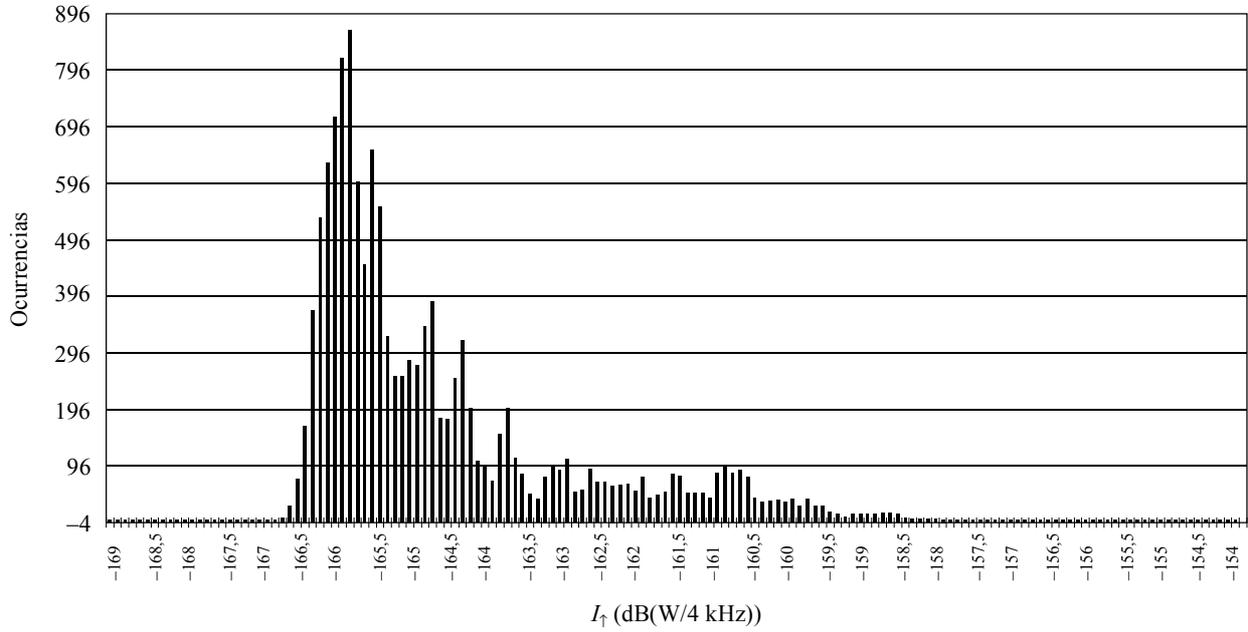
FIGURA 25
CDF de la elevación del satélite no OSG activo



1323-25

FIGURA 26

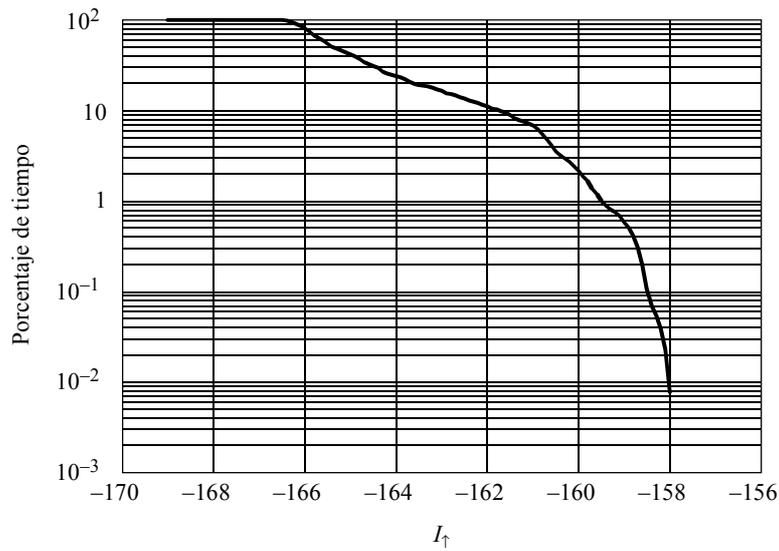
Función de densidad de probabilidad del ruido de interferencia del enlace ascendente



1323-26

FIGURA 27

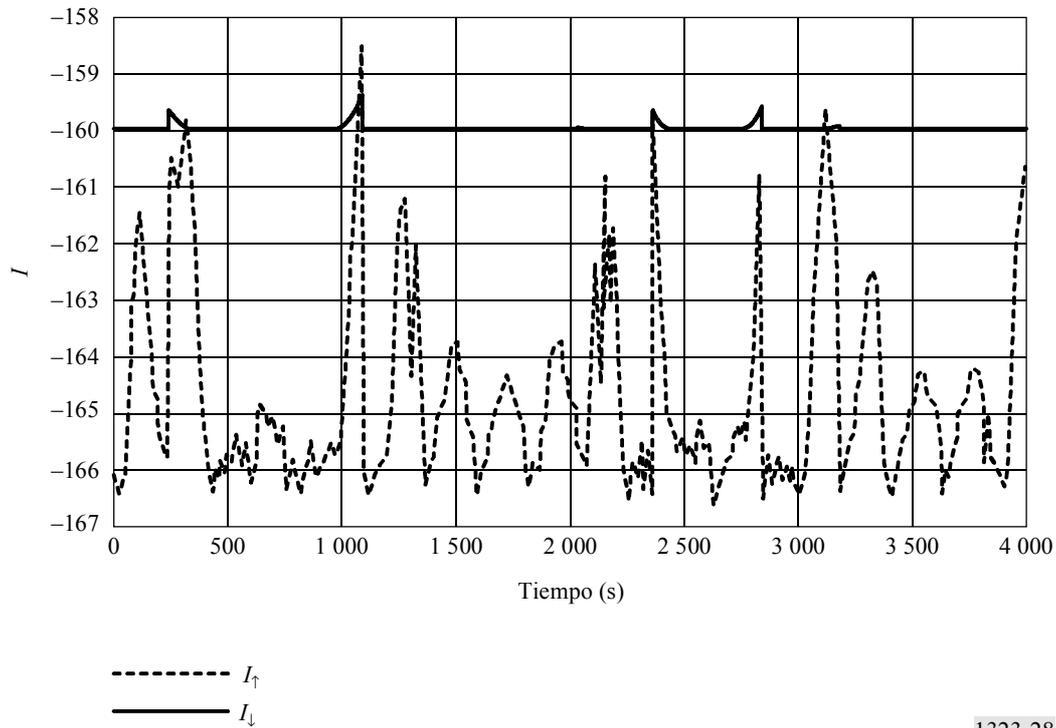
CDF del ruido de interferencia del enlace ascendente



1323-27

FIGURA 28

Variación de la potencia de ruido de interferencia de los enlaces ascendente y descendente en función del tiempo



1323-28

El segundo paso de la metodología es una aplicación del Procedimiento D.

ANEXO 4

Procedimiento para determinar los niveles aceptables de $dfpe_{\downarrow}$ mediante la Metodología B

1 Introducción

Este Anexo presenta un procedimiento para determinar los niveles aceptables de $dfpe_{\downarrow}$ en las redes de satélite OSG en el SFS producida por los sistemas de satélite no OSG del SFS, a partir de las relaciones I/N .

2 Escenarios de interferencia previstos

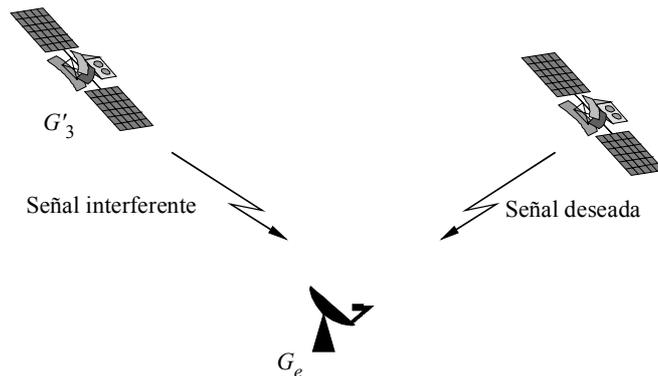
Se puede producir interferencia entre dos redes de satélite cuando hay superposición de frecuencias en uno o más enlaces de transmisión. En el caso de interferencia entre redes de satélite, hay hasta cinco escenarios distintos para la superposición de frecuencias, para los cuales es posible determinar la relación de I/N del sistema. En los puntos siguientes se describen estos casos y las ecuaciones resultantes para calcular el nivel de interferencia de la dfp.

2.1 Escenario 1

Superposición en el enlace descendente solamente, es decir, la señal deseada se origina en el satélite deseado como una señal de telemetría o transmisiones de enlace descendente desde un satélite con procesamiento a bordo (véase la Fig. 29).

$$dfpe_{\downarrow} = 10 \log \left(\frac{I_e}{N_e} \right) - G_{e \text{ máx}} + 10 \log (T_e) + 10 \log (B) + G(1 \text{ m}^2) - 228,6 \quad \text{dB(W/m}^2) \quad (83)$$

FIGURA 29



1323-29

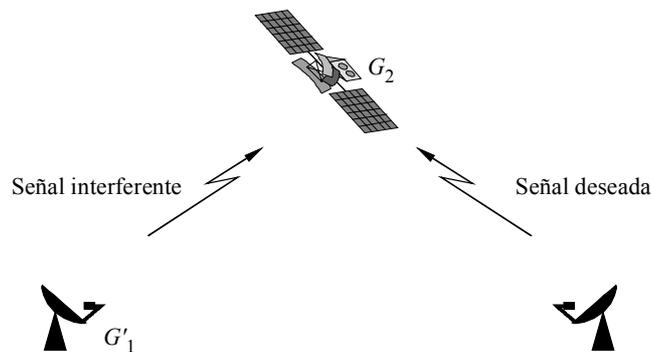
2.2 Escenario 2

Superposición en el enlace ascendente solamente, es decir, la señal deseada se origina en una estación terrena y termina en el satélite deseado. El ejemplo es una señal de telemetría de un satélite con procedimiento a bordo (véase la Fig. 30).

$$dfpe_{\uparrow} = 10 \log \left(\frac{I_s}{N_s} \right) - G_s + 10 \log (T_s) + 10 \log (B) + G(1 \text{ m}^2) - 228,6 \quad \text{dB(W/m}^2) \quad (84)$$

$$G_s = G_{2 \text{ máx}}$$

FIGURA 30



1323-30

2.3 Escenario 3

Superposición en el enlace ascendente solamente, es decir, la señal deseada se origina en un terminal terreno y termina en una estación terrena deseada. Un ejemplo es una red de satélite transparente (guíaondas acodado) (véase la Fig. 31).

$$dfpe_{\uparrow} = 10 \log \left(\frac{\left(\frac{I_s}{N} \right) \times \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right) k (T_e + \gamma T_s) B}{G_s \times \gamma} \right) =$$

$$= \frac{I_s}{N} - 10 \log (G_s) + 10 \log \left(\frac{T_e}{\gamma} + T_s \right) + 10 \log (B) + G(1 \text{ m}^2) - 228,6 \quad \text{dB(W/m}^2) \quad (85)$$

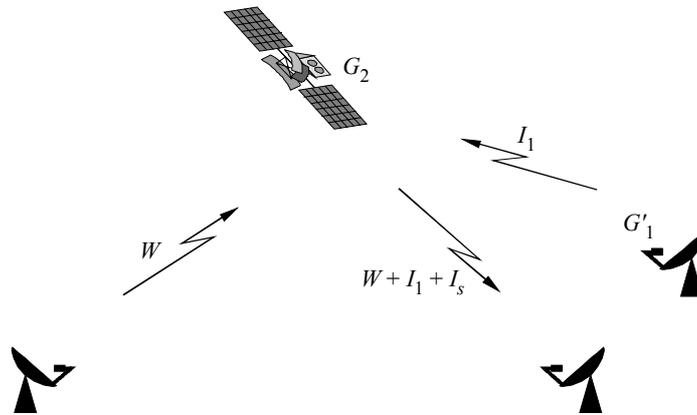
donde:

$$G_s = G_2 \text{ máx}$$

$$T = T_e + \gamma T_s \quad (85a)$$

$$\gamma = \frac{\left(\frac{C}{N} \right)_{\downarrow} T_e}{\left(\frac{C}{N} \right)_{\downarrow} T_s}$$

FIGURA 31



I_1 : señal interferente
 I_s : señal interferente de enlace ascendente retransmitida desde el satélite
 W : señal deseada

1323-31

2.4 Escenario 4

Superposición en el enlace descendente solamente. La señal deseada se origina en una estación terrena y termina en una estación terrena deseada. Un ejemplo es una transmisión de satélite transparente (guíaondas acodado) (véase la Fig. 32).

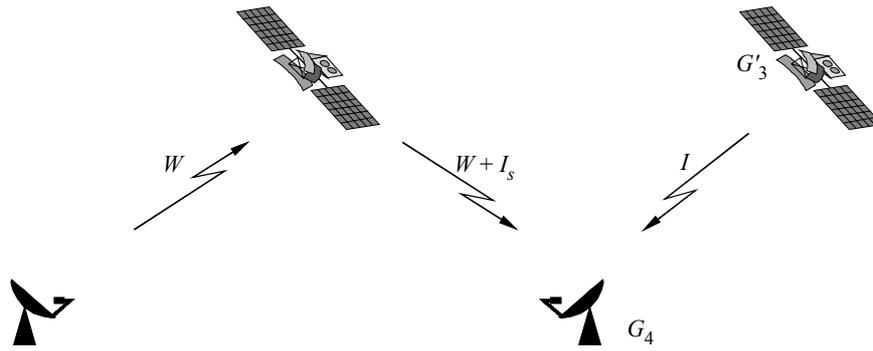
$$dfpe_{\downarrow} = 10 \log \left(\frac{I_e}{N} \right) + 10 \log (T) - G_e + 10 \log (B) + G(1 \text{ m}^2) - 228,6 \quad \text{dB(W/m}^2) \quad (86)$$

donde:

$$G_e = G_4 \text{ máx}$$

$$T = T_e + \gamma T_s \quad (86a)$$

FIGURA 32



I : señal interferente
 I_s : señal interferente generada en un vehículo espacial de guíaondas acodado
 W : señal deseada

1323-32

2.5 Escenario 5

Superposición en ambos enlaces. La señal deseada se origina y termina en una estación terrena, es decir, red de guíaondas acodado (véase la Fig. 33).

$$\frac{I_{\downarrow}}{N} = dfpe_{\downarrow} \times \frac{\lambda^2}{4\pi} \times \frac{G_4 \text{ máx}}{k T B}$$

$$dfpe_{\downarrow} = \frac{\frac{I_{\downarrow}}{N} \times k T B \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right)}{G_e}$$

$$\frac{I_{\uparrow}}{N} = \gamma dfpe_{\uparrow} \times \frac{\lambda^2}{4\pi} \times \frac{G_2}{k T B}$$

$$dfpe_{\uparrow} = \frac{\frac{I_{\uparrow}}{N} \times k T B \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right)}{G_s \lambda}$$

$$dfpe_{\downarrow} = \left(\frac{I_{\downarrow}}{N} \right) + 10 \log (T_e + \gamma T_s) - G_e + 10 \log (B) + G(1 \text{ m}^2) - 228,6 \quad \text{dB(W/m}^2) \quad (87)$$

$$dfpe_{\uparrow} = \left(\frac{I_{\uparrow}}{N} \right) + 10 \log \left(\frac{T_e}{\gamma} + T_s \right) - G_s + 10 \log (B) + G(1 \text{ m}^2) - 228,6 \quad \text{dB(W/m}^2) \quad (88)$$

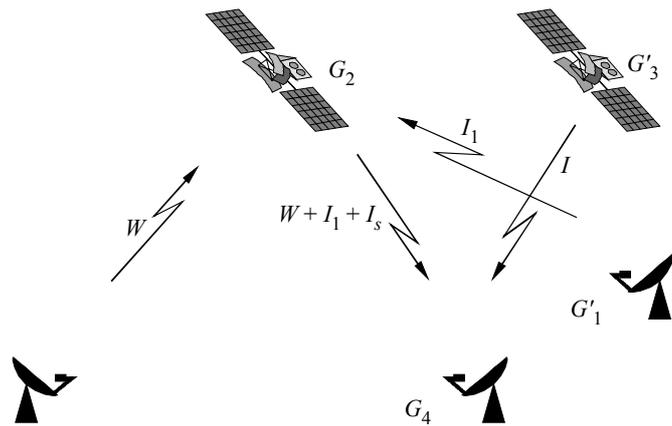
donde:

$$\frac{I_{\downarrow}}{N} = \frac{I_e}{N} = \frac{\Delta T_e}{T}$$

$$\frac{I_{\uparrow}}{N} = \frac{I_s}{N} = \frac{\Delta T_s}{T} \quad (88a)$$

$$T = T_e + \gamma T_s$$

FIGURA 33



I_1 e I : señal interferente
 I_s : señal interferente devuelta desde un satélite de guiondas acodado
 W : señal deseada

1323-33

3 Efecto de la ganancia de transmisión, γ

En las ecuaciones (85) a (88), aunque similares a las ecuaciones (83) y (84), aparece el término para la ganancia de transmisión, γ . A continuación se considera la repercusión de la ganancia de transmisión y cómo tenerla en cuenta de la mejor manera posible.

Según la Recomendación UIT-R S.738, la ganancia de transmisión, γ , se define como:

« γ : ganancia en transmisión de un enlace por satélite específico sometido a interferencia, evaluada desde la salida de la antena receptora de la estación espacial S hasta la salida de la antena receptora de la estación terrena e_R (relación numérica de potencia, generalmente inferior a 1).»

La ganancia de transmisión, γ , se puede expresar como:

$$\gamma = \frac{\left(\left(\frac{C}{N_0} \right)_{\downarrow} \right)}{\left(\left(\frac{C}{N_0} \right)_{\uparrow} \right)} \left(\frac{T_e}{T_s} \right) \tag{89}$$

$$T = \frac{\left(\left(\frac{C}{N_0} \right)_{\downarrow} \right)}{\left(\left(\frac{C}{N_0} \right)_{\uparrow} \right)} T_e$$

donde:

- $(C/N_0)_{\uparrow}$: relación portadora/densidad de ruido de enlace ascendente que sólo incluye el ruido térmico y otros ruidos de fondo (relación numérica)
- $(C/N_0)_{\downarrow}$: relación portadora/densidad de ruido de enlace descendente que sólo incluye el ruido térmico y otros ruidos de fondo (relación numérica)
- $(C/N_0)_T$: relación portadora/densidad de ruido equivalente del enlace total que incluye las degradaciones dentro del satélite (interferencia dentro del satélite, intermodulación), ruido térmico y otros ruidos de fondo (relación numérica).

Como el nivel de protección de dfp se ha de obtener a partir de criterios definidos como un porcentaje de la temperatura de ruido de sistema, el nivel de dfp resultante aumentará o disminuirá con el valor de la ganancia de transmisión, γ . Para ser efectivo, el nivel de dfp seleccionado para proteger a una red del SFS OSG debe tener en cuenta las temperaturas de ruido de sistema más bajas de la red, en función de la ganancia de transmisión, γ . Por consiguiente, la selección de la γ más pequeña, $(T_e + \gamma T_s)$ para cada tamaño de estación terrena específica (ganancia de antena) determinaría el valor de dfp aceptable máximo requerido para proteger a todas las redes SFS/OSG cuando funcionan en bandas compartidas con redes SFS/no OSG.

En la ecuación (89) se observa que el valor numérico de la ganancia del transpondedor (γ) depende de los valores de C/N de los enlaces ascendente y descendente y de los valores de T_e y T_s . A su vez, las relaciones C/N , dependen de los niveles de saturación del transpondedor; de los niveles de reducción de potencia de la señal de transpondedor, del tamaño de antena de la estación terrena, de las bandas de frecuencias específicas y de los requisitos de calidad de funcionamiento de cada portadora. Se puede mostrar que las diferentes portadoras que utilizan simultáneamente el mismo transpondedor pueden tener diferentes valores de ganancia de transmisión. Se puede mostrar también que la ganancia de transmisión para transmisiones de portadoras similares que utilizan los mismos transpondedores variará dependiendo, entre otras cosas, de los márgenes de lluvia necesarios para la zona servida y de la distancia oblicua a la superficie de la Tierra que ha de ser servida. En consecuencia, es difícil determinar valores normalizados para la ganancia de transmisión, γ . Sin embargo, es razonable prever que los enlaces de redes que utilizan estaciones terrenas más pequeñas presentarán por lo general valores más pequeños de ganancia de transmisión que las grandes estaciones terrenas, que en algunos casos podrán exceder de 15 dB. No obstante, las redes con grandes estaciones terrenas, especialmente las utilizadas para el funcionamiento con multiportadoras estrechas, pueden tener relaciones de ganancia de transmisión mínimas, algunas de las cuales se aproximan a menos 20 (–20) dB.

4 Selección de la ecuación de dfp

Durante el periodo de elaboración de la presente Recomendación (casi el año 2000), los valores de temperatura de ruido térmico previstos para los receptores de estaciones terrenas y estaciones espaciales que funcionan en las bandas 10–14 GHz son aproximadamente 150 K y 500 K respectivamente. Como la temperatura de ruido térmico del receptor para diferentes tamaños de antena es aproximadamente constante mientras que el valor mínimo de γ aumenta con el tamaño de la antena, es adecuado considerar el efecto de γ en las redes que utilizan grandes estaciones terrenas aplicando las mejores temperaturas de ruido de sistema previstas. Dados los valores mínimos anteriores, es decir, $T_e = 150$ K, $T_s = 500$ K y $\gamma = 0,01$, según la ecuación (85a), (86a) u (88a) la temperatura de ruido del sistema para una red con estos parámetros es:

$$T = (150 + 0,01 (500)) = 155 \text{ K}$$

Es evidente que el efecto de la ganancia de transmisión, γ , en las temperaturas de ruido del sistema del enlace descendente de redes incluso con grandes estaciones terrenas puede ser mínimo, por lo que puede ser pasado por alto aún en el caso de redes con guías acodadas. El efecto de, γ , es aún mínimo cuando T_e y T_s aumentan en algún factor (digamos 20%) para tener en cuenta la propia interferencia dentro de la red. Este valor se ha de reexaminar sobre la base de los parámetros de enlace suministrados como parte de los estudios del UIT-R en relación con la revisión de los límites provisionales de dfp.

Cuando las hipótesis anteriores son válidas, se pueden utilizar las ecuaciones (83) y (84) (que son equivalentes) para determinar los límites de dfp propuestos ($dfpe_{\uparrow}$ o $dfpe_{\downarrow}$) necesarios para proteger a las redes del SFS/OSG con respecto a las redes del SFS/no OSG.

4.1 Valores de parámetro para calcular la $dfpe_{\downarrow}$ y la $dfpe_{\uparrow}$

A continuación se reproducen las ecuaciones (87) y (88) con revisiones de los parámetros que tienen en cuenta los aumentos recomendados de la temperatura de ruido del sistema (33%) debidos a fuentes de interferencia térmica y dentro del sistema.

$$dfpe_{\downarrow} = 10 \log \left(\frac{\Delta T_e}{T_e} \right) - G_{e \text{ máx}} + 10 \log (1,33 T_e) + 10 \log (B) + G(1 \text{ m}^2) - 228,6 \quad \text{dB(W/m}^2) \quad (90)$$

$$dfpe_{\uparrow} = 10 \log \left(\frac{\Delta T_s}{T_s} \right) - G_s + 10 \log (1,33 T_s) + 10 \log (B) + G(1 \text{ m}^2) - 228,6 \quad \text{dB(W/m}^2) \quad (91)$$

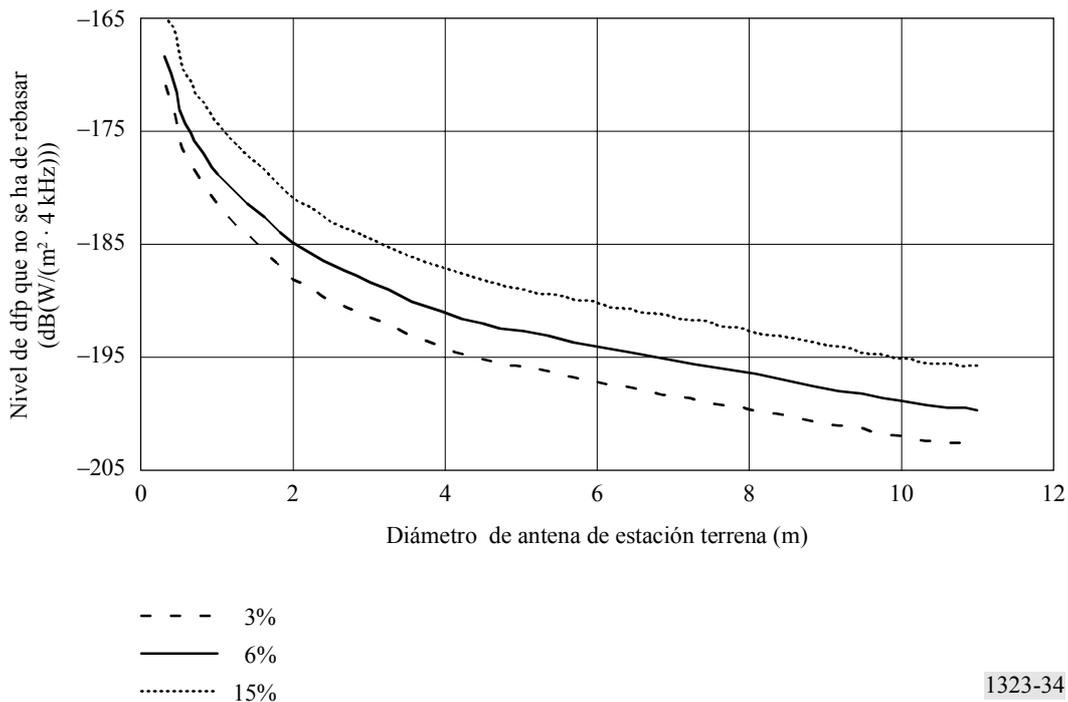
Los valores $1,33 T_e$ y $1,33 T_s$ representan las temperaturas de ruido del sistema de los enlaces ascendente y descendente que existirían en una banda atribuida al SFS. Las anteriores ecuaciones representan los niveles de dfp que permitirían un aumento por incrementos de la temperatura de ruido del enlace (ascendente/descendente) de $100 \cdot \Delta T/T\%$. El aumento de la relación $\Delta T/T$ causará una degradación de las C/N del enlace (ascendente/descendente) de:

$$Degradación = 10 \log \left(1 + \frac{\Delta T}{T} \right) \tag{92}$$

El Cuadro 6 presenta un cálculo de resumen típico de los niveles de $dfpe_{\downarrow}$ del SFS/no OSG en los enlaces descendentes del SFS/OSG para diversas degradaciones de las temperaturas de ruido del sistema para tamaños y frecuencias de estación terrenas representativas en la banda de 11 GHz. Se supone que la temperatura de ruido del receptor de la estación terrena sea 150 K, y se supone también que otras fuentes de ruido, es decir, interferencia propia y dentro de la red, añade un 33% de ruido adicional para todos los casos. Obsérvese que utilizando de manera adecuada los valores de la columna Degradación admisible, es posible obtener los valores de $dfpe_{\downarrow}$ correspondientes a diferentes porcentajes de tiempo.

La Fig. 34 reduce la información requerida para especificar los límites de $dfpe_{\uparrow}$ y $dfpe_{\downarrow}$ para proteger a las redes SFS/OSG durante su disponibilidad a varias gamas, es decir, 3%, 6% y 15% (se ha de determinar la interferencia procedente de una sola fuente, de múltiples fuentes del SFS/no OSG) y la presenta en un formato gráfico, permitiendo así determinar los límites de protección para un continuum de amplia gama de tamaños de antena. Los requisitos de indisponibilidad a corto plazo requieren ulterior estudio.

FIGURA 34
Límites de dfpe interferente de enlace descendente en la banda de 12 GHz



CUADRO 6

Ejemplo de cálculos de $dfpe$ para diversos tamaños de antena de estación terrena

Frecuencia del enlace descendente:		11,82 GHz					Anchura de banda de referencia:					4 kHz			
Temperatura de ruido del receptor:		150 K					Ganancia de antena de referencia de 1 m:					42,9 dB			
Aumento de ruido debido a interferencia dentro del sistema y entre sistemas:		25%					T_{\downarrow} propia y T_{\downarrow} de otros sistemas OSG = 25% ($T_{Rx-terrena}$)								
Temperatura de ruido total del sistema, T_s :		187,5 K													
Tamaño de antena de estación terrena (m)		0,3	0,6	0,8	1,0	1,2	1,8	2,4	3,0	4,5	10,0	11,0			
Anchura de haz de antena de estación terrena (grados)		5,91	2,95	2,21	1,77	1,48	0,98	0,74	0,59	0,39	0,18	0,16			
Eficacia de la antena de estación terrena (%)		72,00	72,00	72,00	72,00	70,00	68,00	65,00	65,00	63,00	62,00	60,00			
Ganancia de antena de estación terrena (dBi)		30,0	36,0	38,5	40,4	41,9	45,3	47,6	49,5	52,9	59,8	60,5			
G/T_e de estación terrena (dB/K)		7,2	13,3	15,8	17,7	19,2	22,6	24,9	26,8	30,2	37,0	37,7			
$\Delta T_s/T_s$ (%)	I/N (dB)	Desvanecimiento debido a lluvia admisible (dB)	Degradación G/T (dB)	Degradación admisible (dB)	dfpe máxima de sistemas no OSG (dB(W/(m ² · 4 kHz)))										
0,9	-20,46	0,02	0,01	0,04	-177,4	-183,4	-185,9	-187,8	-189,3	-192,7	-195,0	-196,9	-200,3	-207,2	-207,9
1	-20,00	0,03	0,01	0,04	-176,9	-182,9	-185,4	-187,4	-188,8	-192,2	-194,5	-196,5	-199,9	-206,7	-207,4
3	-15,23	0,06	0,07	0,13	-172,1	-178,2	-180,7	-182,6	-184,1	-187,5	-189,8	-191,7	-195,1	-202,0	-202,6
6	-12,22	0,11	0,14	0,25	-169,1	-175,2	-177,7	-179,6	-181,1	-184,4	-186,8	-188,7	-192,1	-198,9	-199,6
10	-10,00	0,27	0,14	0,41	-166,9	-172,9	-175,4	-177,4	-178,8	-182,2	-184,5	-186,5	-189,9	-196,7	-197,4
15	-8,24	0,33	0,27	0,61	-165,2	-171,2	-173,7	-175,6	-177,1	-180,5	-182,8	-184,7	-188,1	-195,0	-195,6
25	-6,02	0,45	0,52	0,97	-162,9	-169,0	-171,5	-173,4	-174,9	-178,3	-180,6	-182,5	-185,9	-192,7	-193,4
35	-4,56	0,67	0,63	1,30	-161,5	-167,5	-170,0	-171,9	-173,4	-176,8	-179,1	-181,0	-184,4	-191,3	-192,0
45	-3,47	0,77	0,85	1,61	-160,4	-166,4	-168,9	-170,8	-172,3	-175,7	-178,0	-179,9	-183,3	-190,2	-190,9
50	-3,01	0,82	0,94	1,76	-159,9	-165,9	-168,4	-170,4	-171,8	-175,2	-177,5	-179,5	-182,9	-189,7	-190,4
60	-2,22	1,00	1,04	2,04	-159,1	-165,2	-167,7	-169,6	-171,1	-174,4	-176,8	-178,7	-182,1	-188,9	-189,6
70	-1,55	1,17	1,13	2,30	-158,5	-164,5	-167,0	-168,9	-170,4	-173,8	-176,1	-178,0	-181,4	-188,3	-189,0
80	-0,97	1,25	1,30	2,55	-157,9	-163,9	-166,4	-168,3	-169,8	-173,2	-175,5	-177,4	-180,8	-187,7	-188,4
90	-0,46	1,41	1,38	2,79	-157,4	-163,4	-165,9	-167,8	-169,3	-172,7	-175,0	-176,9	-180,3	-187,2	-187,9
100	0,00	1,56	1,46	3,01	-156,9	-162,9	-165,4	-167,4	-168,8	-172,2	-174,5	-176,5	-179,9	-186,7	-187,4
200	3,01	2,64	2,13	4,77	-153,9	-159,9	-162,4	-164,4	-165,8	-169,2	-171,5	-173,5	-176,8	-183,7	-184,4
300	4,77	3,51	2,51	6,02	-152,1	-158,2	-160,7	-162,6	-164,1	-167,5	-169,8	-171,7	-175,1	-182,0	-182,6
400	6,02	4,21	2,78	6,99	-150,9	-156,9	-159,4	-161,4	-162,8	-166,2	-168,5	-170,5	-173,8	-180,7	-181,4
500	6,99	4,85	2,94	7,78	-149,9	-155,9	-158,4	-160,4	-161,8	-165,2	-167,5	-169,5	-172,9	-179,7	-180,4
600	7,78	5,40	3,05	8,45	-149,1	-155,2	-157,7	-159,6	-161,1	-164,4	-166,8	-168,7	-172,1	-178,9	-179,6
700	8,45	5,88	3,15	9,03	-148,5	-154,5	-157,0	-158,9	-160,4	-163,8	-166,1	-168,0	-171,4	-178,3	-179,0
800	9,03	6,31	3,23	9,54	-147,9	-153,9	-156,4	-158,3	-159,8	-163,2	-165,5	-167,4	-170,8	-177,7	-178,4
900	9,54	6,70	3,30	10,00	-147,4	-153,4	-155,9	-157,8	-159,3	-162,7	-165,0	-166,9	-170,3	-177,2	-177,9
1000	10,00	7,08	3,34	10,41	-146,9	-152,9	-155,4	-157,4	-158,8	-162,2	-164,5	-166,5	-169,9	-176,7	-177,4

5 Principios generales para el establecimiento de los límites de df_{pe} propuestos mediante la Metodología A'

La selección de los límites de df_{pe} propuestos para proteger a las redes SFS/OSG deben tener en cuenta una gama genérica de parámetros que caracterizan al enlace SFS/OSG, para las redes existentes y proyectadas. Los límites deben también permitir la mejora tecnológica evolutiva de los receptores de satélite y de estación terrena, en particular en las frecuencias más altas, donde hay grandes posibilidades de mejorar las temperaturas de ruido del receptor.

La interferencia procedente de redes del SFS/no OSG difiere de la de las redes del SFS/OSG en cuanto a que su naturaleza es variable en el tiempo y no tiene un carácter estático como sucede con una red SFS/OSG interferente. Es coherente con el *recomienda 6* permitir que las redes SFS/no OSG compartan el espectro con las redes OSG a condición de que el conjunto de toda la red no OSG limite su efecto en las temperaturas de ruido del sistema de todas las redes OSG a un aumento del 6% o menos durante el 90% del tiempo como mínimo.

El *recomienda 3.1* indica también que todas las redes no OSG que comparten la banda no deben contribuir con más del 10% al periodo de indisponibilidad a corto plazo de cualquier red OSG.
