

RECOMENDACIÓN UIT-R BO.1444*

Protección del SRS en la banda de 12 GHz y de los enlaces de conexión asociados en la banda de 17 GHz de la interferencia causada por sistemas del SFS no OSG

(Cuestión UIT-R 223/11)

(2000)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que las bandas 11,7-12,5 GHz en la Región 1, 12,2-12,7 GHz en la Región 2 y 11,7-12,2 GHz en la Región 3 están atribuidas al SRS;
- b) que el SRS en las bandas mencionadas está sujeto a los Planes del Apéndice 30 del RR;
- c) que las bandas 17,3-17,8 GHz en la Región 2 y 17,3-18,1 GHz en las Regiones 1 y 3 están atribuidas a los enlaces de conexión del SRS;
- d) que los enlaces de conexión del SRS en las bandas anteriores están sujetos a los Planes del Apéndice 30A del RR;
- e) que la banda 12,5-12,75 GHz en la Región 3 está asimismo atribuida al SRS;
- f) que la banda 17,8-18,1 GHz en la Región 2 está asimismo atribuida a los enlaces de conexión del SRS;
- g) que la CMR-97 ha atribuido las bandas 11,7-12,5 GHz en la Región 1, 12,2-12,7 GHz en la Región 2, 11,7-12,2 GHz y 12,5-12,75 GHz en la Región 3 al SFS no OSG (espacio-Tierra) y 17,3-17,8 GHz en las Regiones 1 y 3 y 17,8-18,1 GHz en las Regiones 1, 2 y 3 al SFS no OSG (Tierra-espacio) sujeto a las provisiones de la Resolución 538 (CMR-97);
- h) que las emisiones desde las estaciones de los sistemas de satélite no OSG pueden dar lugar a interferencias en las redes del SRS y en los enlaces de conexión asociados cuando dichas redes funcionan en las mismas bandas de frecuencias;
- j) que el número 22.2 del RR establece que los sistemas de satélites no OSG no deberán causar interferencias inaceptables a los sistemas de satélites OSG del SFS y SRS explotados de conformidad con las disposiciones del RR;
- k) que la CMR-97 adoptó límites provisionales de la densidad de flujo de potencia equivalente (dfpe) para cuantificar el nivel de interferencia no OSG inaceptable y solicitó al UIT-R que revisara dichos límites a fin de asegurar una protección adecuada de los Planes y de sus futuras modificaciones;
- l) que existen criterios para proteger las redes del SRS y los enlaces de conexión asociados de otras redes que funcionen al amparo del mismo Plan Regional o de otro Plan Regional (Anexo 1 al Apéndice 30 y Anexo 1 al Apéndice 30A del RR);

* La Comisión de Estudio 6 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2001 de conformidad con la Resolución UIT-R 44.

- m) que existen criterios para proteger las redes del SRS de las redes del SFS de otra Región (Anexo 4 al Apéndice 30 del RR) y para proteger los enlaces de conexión asociados de las redes del SFS de la misma o de otra Región (Anexo 4 al Apéndice 30A del RR);
- n) que es necesario definir criterios para proteger una red del SRS y los enlaces de conexión asociados de las interferencias causadas por sistemas SFS no OSG;
- o) que el desarrollo armonizado de sistemas SFS no OSG y de sistemas SRS OSG y los enlaces de conexión asociados requiere que se identifiquen cuanto antes las condiciones en las que es posible la compartición;
- p) que debe asegurarse la integridad de los Planes de los Apéndices 30 y 30A del RR y de sus modificaciones futuras,

considerando además

- a) que el diseñador de sistemas SRS y los enlaces de conexión asociados debe poder controlar la calidad global de una red y proporcionar una calidad de servicio que cumpla sus objetivos de calidad en términos de C/N ;
- b) que para permitir que un operador ejerza el control sobre la calidad de servicio, es necesario que exista un límite de interferencia agregada que una red debe poder tolerar por las emisiones procedentes de todas las demás redes;
- c) que para facilitar la introducción de sistemas SFS no OSG conforme a las provisiones del Artículo 22 del RR, es necesario establecer criterios de compartición aplicables individualmente a los sistemas SFS no OSG;
- d) que en las bandas de frecuencia situadas por encima de 10 GHz en las que se puede producir una atenuación de propagación muy alta durante cortos periodos de tiempo, puede ser conveniente que los sistemas OSG y no OSG utilicen alguna forma de compensación de atenuación;
- e) que en situaciones de interferencia en las que intervienen sistemas no OSG, las redes del SRS y los enlaces de conexión asociados están potencialmente expuestos a altos niveles de interferencia durante cortos periodos de tiempo que pueden afectar a la calidad o disponibilidad de dichas redes;
- f) que los eventos de interferencia a corto plazo pueden causar la pérdida de la continuidad de la imagen de vídeo u otras condiciones inestables en las transmisiones del SRS digital que pueden causar una degradación o pérdida del servicio durante periodos más prolongados que los propios eventos de interferencia;
- g) que en situaciones de interferencia en las que intervienen sistemas no OSG, las redes del SRS y los enlaces de conexión asociados están potencialmente expuestos a bajos niveles de interferencia durante largos periodos de tiempo que pueden degradar la calidad o la disponibilidad de dichas redes;
- h) que la calidad y la disponibilidad de un sistema SRS OSG y los enlaces de conexión asociados se degradan por efecto de contribuciones de ruido interferente externas que pueden presentarse en un régimen estacionario o bien ser de naturaleza estadística;
- j) que dichas degradaciones pueden deberse a anomalías de la propagación, a otras redes OSG y a otros sistemas, incluyendo sistemas del SFS no OSG que comparten la misma banda;

k) que las emisiones procedentes de las estaciones terrenas y de la estación espacial de una red por satélite (del SRS OSG y los enlaces de conexión asociados o del SFS no OSG) en dichas bandas, pueden dar lugar a interferencia sobre una red de ese tipo cuando ambas funcionan en las mismas bandas de frecuencia;

l) que se necesita una metodología que permita evaluar de forma precisa el efecto de las variaciones en el tiempo de los límites de la dfpe y de densidad de flujo de potencia combinada (dfpc) de las redes SFS no OSG sobre la calidad de las redes del SRS OSG y los enlaces de conexión asociados;

m) que dicha metodología facilitaría la determinación de los límites de dfpe y dfpc que proporcionarían una protección adecuada al SRS OSG y enlaces de conexión asociados,

recomienda

1 que para una red SRS OSG en la banda de 12 GHz y sus enlaces de conexión asociados en la banda de 17 GHz, la interferencia agregada entre redes causada por las emisiones de las estaciones terrenas y espaciales de todas las redes de satélites SFS no OSG que trabajan en la misma banda de frecuencias deben:

1.1 ser responsables como máximo del 10% del tiempo o tiempos de indisponibilidad del valor o valores de C/N tal como se especifica en los objetivos de calidad de las redes en cuestión, donde N es el nivel de ruido total en la anchura de banda de ruido asociada con la portadora deseada, incluyendo todas las demás fuentes de interferencia que no varían con el tiempo;

1.2 no dar lugar a una pérdida de continuidad de la imagen de vídeo (véase la Nota 1) en la red del SRS OSG digital deseado y los enlaces de conexión asociados en condiciones de cielo despejado (véase la Nota 2);

2 que los límites de la dfpe, tal como se definen en el Artículo 22 del RR, y que se aplican respectivamente a sistemas SFS no OSG en las bandas de 12 GHz compartidas con el SRS y en las bandas de frecuencia de 17 GHz compartidas con los enlaces de conexión del SRS, se obtengan y se especifiquen de tal forma:

2.1 que se satisfagan los criterios de los *recomienda* 1.1 y 1.2 cuando se apliquen a un conjunto de características representativas de los sistemas SRS OSG y enlaces de conexión asociados, tal como se señala en el Anexo 1 a esta Recomendación;

2.2 que la distribución de la interferencia permitida agregada especificada en los *recomienda* 1.1 y 1.2 utilizada para obtener los límites asociados a una única fuente, se base en el número efectivo de sistemas SFS no OSG que se prevé compartan las mismas bandas de frecuencias;

2.3 que dichos límites se especifiquen mediante curvas continuas de la función de densidad acumulada para una gama de tamaños representativos de antenas de recepción OSG (véase la Nota 3);

3 que se apliquen las metodologías que se presentan en los Anexos 2 y 3 a esta Recomendación, junto con el número estimado de sistemas SFS no OSG, a fin de evaluar el impacto sobre el SRS OSG en la banda de 12 GHz y en los enlaces de conexión asociados en la banda de 17 GHz de los límites de dfpe y dfpc aplicables a los sistemas SFS no OSG (véase la Nota 4);

4 que se utilice la metodología descrita en el Anexo 4 a esta Recomendación para evaluar si se cumple lo dispuesto en el *recomienda* 1.2;

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

NOTA 1 – La pérdida de continuidad de la imagen de vídeo MPEG tiene lugar cuando la BER del tren de bits de vídeo MPEG demodulados es lo suficientemente alta como para que el decodificador MPEG de vídeo asociado deje de proporcionar una o más imágenes. Esta condición da lugar normalmente a que se comiencen a utilizar técnicas de ocultación de errores por parte del decodificador de vídeo, tales como la presentación de la última imagen MPEG disponible (trama congelada), la presentación de una imagen completamente en negro u otras técnicas.

NOTA 2 – Se solicita a las administraciones que indiquen la diferencia (dB) entre el $C/(N + I)$ requerido en el umbral de operación que se encuentra en la línea 13 de la hoja de cálculo que incluye la base de datos, y el punto de pérdida de la calidad de continuidad de la imagen de vídeo de cada enlace. Si la Administración responsable no facilita esta información, se supone un valor por defecto de 1,5 dB.

NOTA 3 – Se requieren trabajos adicionales para asegurar que estos límites son, en la medida de lo posible, consistentes con los niveles de protección que actualmente figuran en los Planes de los Apéndices 30 y 30A del RR y sus modificaciones futuras.

NOTA 4 – Se han realizado cálculos para establecer la consistencia entre los resultados que producen ambas metodologías. Se ha comprobado que ambos métodos producen resultados consistentes.

Sin embargo, se ha determinado que en algunos casos existen diferencias significativas en la indisponibilidad calculada mediante ambos programas. Los estudios detallados realizados han demostrado que existen diferencias entre los dos programas cuando se analizan enlaces que utilizan antenas de estación terrena de gran tamaño (por ejemplo, de 120 cm o mayores). La causa de esta diferencia puede estar relacionada con la degradación del enlace producido porque durante el 100% del tiempo, el límite de dfpe esté cercano al nivel de degradación disponible en el enlace. Las administraciones que utilicen estos paquetes de soporte lógico deben prestar especial atención a este hecho.

ANEXO 1

Características de un sistema del SRS

La base de datos de este Anexo contiene las características de las redes SRS OSG existentes y planificadas así como de sus enlaces de conexión asociados que han sido recopiladas gracias a las contestaciones a las Cartas circulares CR-92 y CR-116 con el objeto de llegar a un acuerdo sobre las máscaras de la dfpe recomendadas que contribuyan a los estudios de compartición entre sistemas SRS OSG y SFS no OSG.

Esta base de datos está disponible en formato Excel en el Sitio Web de la UIT:
<http://www.itu.int/itudoc/itu-r/sg11/docs/sg11/1998-00/contrib/138e2.html>.

ANEXO 2

Metodología para el análisis de los límites de la $dfpe_{ascendente}$ y $dfpe_{descendente}$ para las bandas del SRS y enlaces de conexión asociados**1 Principio general**

Las portadoras de los sistemas OSG funcionan sobre la base de un umbral operacional que se expresa en términos de la relación C/N . Este umbral operacional define la C/N necesaria para ese enlace. Determinados fenómenos que varían con el tiempo y que afectan al enlace pueden hacer que la C/N caiga por debajo del umbral operacional durante un determinado porcentaje de tiempo. Esta variación puede ser producida por la lluvia, pero también por sistemas SFS no OSG. La metodología que se describe a continuación tiene por objeto ayudar en el cálculo del porcentaje del tiempo adicional de interrupción en el que C/N cae por debajo del umbral operacional debido a la interferencia procedente de sistemas SFS no OSG.

A tal fin, la aplicación del *recomienda* 1.1 de esta Recomendación preconiza el cálculo del aumento relativo de indisponibilidad debido a sistemas SFS no OSG. Ello requiere calcular la indisponibilidad sin sistemas no OSG y la indisponibilidad con sistemas no OSG a fin de comparar ambos. Los dos tipos de indisponibilidad deben calcularse siguiendo exactamente el mismo proceso para que la comparación tenga sentido.

2 Necesidad de un enfoque estadístico

Las degradaciones del enlace debidas a la interferencia producida por la lluvia y por sistemas no OSG son eventos aleatorios en el tiempo que pueden modelarse utilizando una función de densidad de probabilidad (fdp) (la fdp para la lluvia, es decir, la probabilidad de que la atenuación debida a la lluvia alcance un determinado valor, puede obtenerse de la Recomendación UIT-R P.618). Si dichos fenómenos no se modelasen de acuerdo con su naturaleza variable con el tiempo sino dándoles un valor constante igual al caso peor, el resultado estimaría en exceso la degradación del enlace.

Por lo tanto, es necesario combinar estadísticamente las degradaciones variables con el tiempo que pueden hacer que C/N quede por debajo del umbral operacional, es decir:

- la atenuación debida a la lluvia en el enlace ascendente y en el enlace descendente (en la Recomendación UIT-R P.618 se incluye su descripción estadística);
- la interferencia procedente de sistema(s) SFS no OSG (la máscara de la $dfpe_{descendente}$ refleja su descripción estadística).

Se supone que las fuentes de degradación son estadísticamente independientes unas de otras. Ello significa que la ocurrencia de un fenómeno no tiene correlación alguna con la ocurrencia simultánea de otro.

3 Principios detallados

Paso 1: Se determinan todas las posibles combinaciones de fuentes de degradación individuales y se calcula la probabilidad de ocurrencia asociada a cada una de dichas combinaciones; por ejemplo, una combinación incluirá:

- atenuación por la lluvia en el enlace ascendente = 1 dB (probabilidad individual de ocurrencia = 0,25% del tiempo);
- atenuación por la lluvia en el enlace descendente = 0,5 dB (probabilidad individual de ocurrencia = 0,15% del tiempo);
- $dfp_{\text{descendente}} = -175 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ (probabilidad individual de ocurrencia = 1% del tiempo);
- probabilidad de ocurrencia combinada = $0,25\% \times 0,15\% \times 1\%$.

Paso 2: Calcúlese, para cada una de las combinaciones anteriores, la C/N utilizando los balances de enlaces del Anexo 1, incluyendo las fuentes de degradación.

Paso 3: Compárese la C/N obtenida con el umbral operacional a fin de determinar si el enlace está disponible o no.

Paso 4: Súmense todas las probabilidades combinadas de ocurrencia correspondientes a cada combinación del Paso 1 que no hacen que la C/N quede por debajo del umbral operacional. La suma representa la probabilidad de que el enlace esté disponible cuando se consideran los sistemas no OSG y la lluvia.

Paso 5: Repítase el proceso sin utilizar la $dfp_{\text{descendente}}$, de forma que se calcule la disponibilidad del enlace OSG sin interferencia procedente de sistemas no OSG.

ANEXO 3

Metodología de evaluación mediante el método de Monte Carlo

1 Introducción y resumen

Los efectos de la lluvia aumentan la indisponibilidad en comparación con el funcionamiento en condiciones de cielo despejado, aumentando la temperatura de ruido del sistema. La presencia de interferencia procedente de sistemas no OSG aumenta aún más la temperatura de ruido del sistema y, por lo tanto, la indisponibilidad del mismo. Estos y otros muchos factores deben de ser tenidos en cuenta al evaluar la disponibilidad del sistema en presencia de sistemas no OSG.

Este Anexo proporciona información detallada sobre la metodología de Monte Carlo propuesta para evaluar el aumento de indisponibilidad en sistemas SRS causada por la interferencia no OSG. En primer lugar, se calcula una ecuación completa pero compleja para la indisponibilidad. A continuación, dicha ecuación se simplifica mediante algunas aproximaciones. Se presenta un procedimiento para la evaluación mediante simulación de Monte Carlo y se analiza el resultado de

un ejemplo utilizando dicha simulación. Finalmente, se proporciona la forma de obtener la pendiente del régimen transitorio (B) para las máscaras de dfpe propuestas. En este análisis se considera que la interferencia no OSG esté atenuada por la lluvia. En el Apéndice 1 a este Anexo se presentan las ecuaciones de degradación correspondientes al caso en que la interferencia no OSG esté atenuada por la lluvia.

2 Metodología de evaluación propuesta

2.1 Cálculo de las ecuaciones de degradación con interferencia no OSG no atenuada por la lluvia

En este Anexo, el ruido, N , de una relación portadora/ruido, C/N , hace referencia a la suma de todas las potencias no deseadas que se producen en una situación particular, tales como ruido térmico, aumento de temperatura de ruido debido a la lluvia, interferencia OSG y/o interferencia no OSG.

La C/N total se ve afectada por el enlace ascendente y descendente de la forma siguiente:

$$C/N = \frac{(C/N)_U \cdot (C/N)_D}{(C/N)_U + (C/N)_D} = \frac{(C/N)_D}{1 + \frac{(C/N)_D}{(C/N)_U}} \quad (1)$$

donde $(C/N)_U$ y $(C/N)_D$ son la C/N ascendente y la C/N descendente, respectivamente. A su vez, la $(C/N)_U$ se expresa como:

$$\begin{aligned} (C/N)_U &= (C/N)_{UC} DG_U \\ &= \frac{(C/N)_{UC} \alpha_U}{1 + \frac{T_{\alpha_U}}{T_U} + \frac{I_{UG} + I_{UN}}{N_U}} \\ &= \frac{(C/N)_{UC}}{\alpha_U \left(1 + \frac{T_{\alpha_U}}{T_U} + \frac{I_{UG} + I_{UN}}{N_U} \right)} \end{aligned} \quad (2)$$

Las notaciones que se utilizan en la ecuación (2) se definen de la forma siguiente:

- $(C/N)_{UC}$: relación portadora/ruido del enlace ascendente en condiciones de cielo despejado (sólo T_U)
- DG_U : factor degradación del enlace ascendente
- α_U : atenuación debida a la lluvia en el enlace ascendente ($0 < \alpha_U < 1$) (variable aleatoria)
- I_{UN} : potencia de la interferencia procedente de sistemas no OSG en el enlace ascendente (variable aleatoria)
- I_{UG} : potencia de la interferencia recibida de otros sistemas OSG en el enlace ascendente
- T_{α_U} : aumento de la temperatura de ruido en el enlace ascendente debida a la lluvia
- T_U : temperatura de ruido del sistema de recepción en el enlace ascendente (≈ 617 K)
- N_U : potencia de ruido térmico en el receptor del enlace ascendente.

$N_U = k T_U B$, donde k es la constante de Boltzmann y B es la anchura de banda de ruido del receptor. La atenuación debida a la lluvia α_U reduce directamente la potencia portadora recibida. El denominador de la ecuación (2) representa el ruido efectivo, relativo a T_U , incluyendo la temperatura de ruido de la lluvia y las contribuciones de interferencia procedentes de sistemas OSG y no OSG. Al igual que la portadora, las contribuciones de interferencia se ven atenuadas por la lluvia en un factor α_U .

Igualmente, la ecuación de la C/N del enlace descendente se expresa como:

$$\begin{aligned} (C/N)_D &= (C/N)_{DC} DG_D \\ &= \frac{(C/N)_{DC}}{\alpha_D \left(1 + \frac{T_{\alpha_D}}{T_D} + \frac{I_{DG} + I_{DN}}{N_D} \right)} \end{aligned} \quad (3)$$

donde:

$$N_D = k T_D B$$

$(C/N)_{DC}$: relación portadora/ruido del enlace descendente en condiciones de cielo despejado (sólo T_D)

DG_D : factor de degradación del enlace descendente

α_D : atenuación debida a la lluvia en el enlace descendente ($0 < \alpha_D < 1$) (variable aleatoria)

I_{DN} : potencia de la interferencia procedente de sistemas no OSG en el enlace descendente (variable aleatoria)

I_{DG} : potencia de la interferencia recibida de sistemas OSG en el enlace descendente

T_{α_D} : aumento de la temperatura de ruido en el enlace descendente debida a la lluvia

T_D : temperatura de ruido del sistema en el enlace descendente (≈ 125 K)

N_D : potencia de ruido térmico en el receptor del enlace descendente.

Por lo tanto, la C/N total es:

$$\begin{aligned} C/N &= \frac{(C/N)_{DC} DG_D}{1 + \frac{(C/N)_{DC} DG_D}{(C/N)_{UC} DG_U}} \\ &= \frac{(C/N)_{DC}}{\alpha_D \left(1 + \frac{T_{\alpha_D}}{T_D} + \frac{I_{DG} + I_{DN}}{N_D} \right)} \left[1 + \frac{(C/N)_{DC}}{(C/N)_{UC}} \frac{\frac{1}{\alpha_U} \left(1 + \frac{T_{\alpha_U}}{T_U} + \frac{I_{UG} + I_{UN}}{N_U} \right)}{\frac{1}{\alpha_D} \left(1 + \frac{T_{\alpha_D}}{T_D} + \frac{I_{DG} + I_{DN}}{N_D} \right)} \right]^{-1} \end{aligned} \quad (4)$$

La ecuación (4) incluye DG , un factor de degradación de $(C/N)_{DC}$, la C/N del enlace descendente en condiciones de cielo despejado. Nótese que $(C/N)_{DC}$ es también el factor de calidad con respecto al cual se evalúan todas las degradaciones en la Metodología A de la Recomendación UIT-R S.1323. $DG_U \leq 1$, $DG_D \leq 1$, $DG \leq 1$, definiéndose el factor de degradación positivo (dB) como $DG_{dB} = -10 \log_{10}(DG) \geq 0$. El factor de degradación de la ecuación (4) utiliza un método de integración de la fdp para calcular la indisponibilidad. El factor de degradación del enlace descendente DG_D aparece dos veces en la ecuación, pero sólo es necesario calcularlo una vez.

Tal como se recoge en la Recomendación UIT-R S.1323, se supone que las interferencias debidas a la lluvia y a los sistemas no OSG ocurren de forma independiente. Sin embargo, el impacto de la interferencia en la degradación depende de la lluvia. Específicamente, la lluvia aumenta la temperatura de ruido del sistema y atenúa la interferencia así como la portadora. Por lo tanto, la interferencia no OSG ejerce un nivel de degradación menor con lluvia que en condiciones de cielo despejado. Esto constituye una diferencia importante entre la metodología aquí propuesta y la Metodología A de la Recomendación UIT-R S.1323.

La ecuación (4) puede simplificarse mediante una serie de aproximaciones adecuadas. En la primera aproximación se ignora todo salvo el ruido térmico del enlace ascendente en condiciones de cielo despejado (N_U). Con $\alpha_U = 1$, $T_{\alpha_U} = 0$ y $I_{UN} = I_{UG} = 0$ en la ecuación (2), DG_U resulta ser 1 (no hay degradación) y, por lo tanto:

$$(C/N)_U = (C/N)_{UC} DG_U = (C/N)_{UC} \quad (5)$$

La ecuación (4) se convierte entonces en:

$$C/N = \frac{(C/N)_{DC}}{\frac{1}{\alpha_D} \left(1 + \frac{T_{\alpha_D}}{T_D} + \frac{I_{DG} + I_{DN}}{N_D} \right)} \left[1 + \frac{(C/N)_{DC}}{(C/N)_{UC}} \frac{1}{\frac{1}{\alpha_D} \left(1 + \frac{T_{\alpha_D}}{T_D} + \frac{I_{DG} + I_{DN}}{N_D} \right)} \right]^{-1} \quad (6)$$

La siguiente aproximación va un paso más allá, ignorándose la contribución del enlace ascendente a la degradación del enlace total. De esta forma, al tomar la parte recíproca o inversa de la ecuación (6) el valor 1, la expresión de la C/N total se simplifica de la forma siguiente :

$$C/N = \frac{(C/N)_{DC}}{\frac{1}{\alpha_D} \left(1 + \frac{T_{\alpha_D}}{T_D} + \frac{I_{DG} + I_{DN}}{N_D} \right)} \quad (7)$$

El aumento de la temperatura de ruido del sistema de la ecuación (7) puede evaluarse mediante:

$$T_{\alpha_D} = T_{D_m} \left(1 - 10^{\frac{-\alpha_{D_{dB}}}{10}} \right) \quad (8)$$

donde T_{D_m} es la temperatura de ruido (≈ 290 K) y $\alpha_{dB} = -10 \log_{10}(\alpha) \geq 0$ es la atenuación de la lluvia (dB). La ecuación (8) también se aplica a las ecuaciones (4) y (6).

El modelo cuasi-completo de la ecuación (7) es válido si la $(C/N)_U$ del enlace ascendente es muy superior a la $(C/N)_D$ del enlace descendente, lo cual es cierto en situaciones típicas, particularmente cuando se aplica el control de potencia en el enlace ascendente para compensar la atenuación debida a la lluvia. Sin embargo, en relación con la ecuación (7) debe tenerse en cuenta que α_U es menor que α_D debido a la frecuencia más elevada del enlace ascendente. El menor valor de α_U tiende a hacer que la parte recíproca de la ecuación (4) sea más significativa.

Los resultados que se recogen en esta Recomendación se basan en la ecuación (7).

Tal como se ha mencionado anteriormente, el método de Monte Carlo permite que el nivel de atenuación debida a la lluvia y el nivel de interferencia no OSG varíen con el tiempo de acuerdo con sus estadísticas específicas. Todos los restantes parámetros se suponen constantes. Los experimentos de Monte Carlo modelan los parámetros variables en el tiempo como variables aleatorias a fin de evaluar la degradación de C/N , tal como se hace con la ecuación (7). Más aún, las estadísticas de la degradación del sistema debidas a la lluvia y a la interferencia procedente de sistemas no OSG son producidas por variables aleatorias de acuerdo a sus funciones de densidad acumulativas (CDF). (En esta versión del algoritmo de simulación, la CDF para la lluvia se obtiene a partir de la Recomendación UIT-R P.618 con el modelo de lluvia de la UIT o el modelo de lluvia de Crane, y la CDF de sistemas no OSG se obtiene a partir de su máscara de dfpe). Para evaluar la ecuación (4), se necesita una variable aleatoria para cada uno de los factores, es decir, la lluvia en el enlace ascendente, la interferencia no OSG en el enlace ascendente (dfpc), la lluvia en el enlace descendente, y la interferencia no OSG en el enlace descendente (dfpe). Para evaluar las ecuaciones (6) o (7), son suficientes dos variables aleatorias que representan la lluvia y la interferencia no OSG en el enlace descendente.

El complemento de CDF (CDF_C) para una atenuación dada debida a la lluvia α_{dB} está relacionado con $A_{0,01}$, atenuación mínima debida a la lluvia (dB) para el 0,01% del tiempo. De la Recomendación UIT-R P.618, se obtiene que:

$$CDF_C(\alpha_{dB}) = 10 \left[-0,546 + \sqrt{0,298 + 0,172 \log_{10} \left(0,12 \frac{A_{0,01}}{\alpha_{dB}} \right)} \right] / 100 \quad (9)$$

lo cual tiene validez para todos los valores de CDF_C que no excedan el 1%.

Para cada muestra de las variables aleatorias que se generan de forma independiente para la interferencia debida a la lluvia y para la interferencia no OSG, la metodología de Monte Carlo calcula su efecto combinado conforme a la correspondiente ecuación (por ejemplo, la ecuación (7)) obteniéndose así el valor de degradación del sistema. Este proceso se repite para un número grande de muestras. Con los valores de degradación obtenidos se construye un histograma para conformar la distribución estadística de la degradación. La distribución se convierte en una curva de disponibilidad del sistema basada en las características de degradación debidas a la lluvia de la ecuación (9). El proceso de simulación se repite para los casos con y sin interferencia no OSG. La reducción de la disponibilidad que produce la interferencia no OSG se calcula restando la cifra de indisponibilidad sin interferencia no OSG de la obtenida con interferencia no OSG. El procedimiento se resume a continuación.

2.2 Procedimiento de simulación de Monte Carlo

Paso 1: Constrúyase un cuadro en el que se represente el efecto de la lluvia, en el que los valores de CDF_C se expresan en función de la degradación debida a la lluvia. Constrúyase asimismo un cuadro en el que se represente el efecto de la interferencia no OSG en el que los valores de CDF_C se expresen en función de la degradación debida a la interferencia.

Paso 2: Tóme una muestra del valor de degradación del cuadro correspondiente a la lluvia. Tóme también una muestra del valor de degradación del cuadro correspondiente a la interferencia no OSG.

Paso 3: Calcúlese la degradación total mediante las ecuaciones (7) y (8).

Paso 4: Repítase el Paso 2 para todas las muestras, las de lluvia y las de interferencia no OSG.

Paso 5: Constrúyase un histograma de la degradación total basado en los resultados del Paso 3.

Paso 6: Repítanse los Pasos 1 a 5 para los casos con y sin interferencia no OSG. Dibújen los histogramas con y sin interferencia no OSG.

Paso 7: Identifíquense los valores de CDF_C para el margen de condiciones de cielo despejado para los casos con y sin interferencia no OSG.

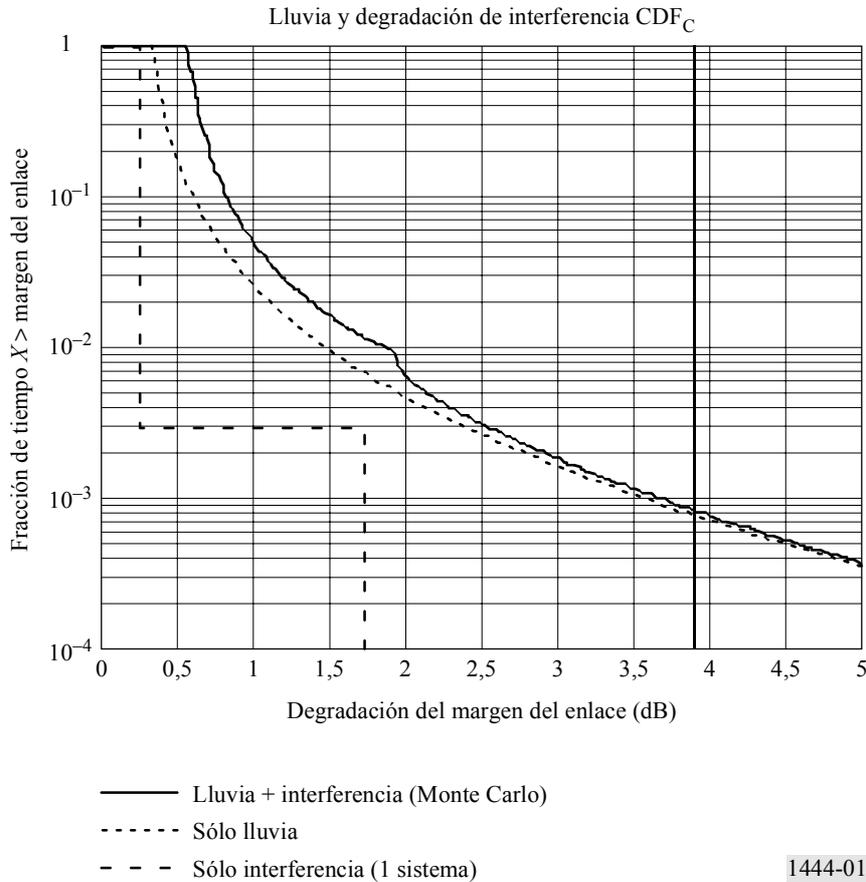
Paso 8: Calcúlese el aumento de indisponibilidad debido a interferencia no OSG.

A partir de la hoja de cálculo del Anexo 1 pueden calcularse otros parámetros necesarios para calcular la degradación de C/N de la ecuación (7) para el escenario correspondiente a un enlace dado. T_D de la ecuación (7) es el mismo que el que figura en las filas 27 ó 28 de la hoja de cálculo. El valor de T_{D_m} es 290 K, y se utiliza para calcular la fila 38. I_{DG}/N_D se calcula combinando C/I_{DG} y C/N_D . Nótese que C/I_{DG} se obtiene combinando las filas 10 y 11, y C/N_D se obtiene combinando la fila 13, la fila 15 y C/I_{DG} .

2.3 Análisis del resultado de la simulación de muestras

La Fig. 1 muestra un ejemplo de representación de la indisponibilidad a partir de una simulación de Monte Carlo utilizando la ecuación (7). En este ejemplo, el cálculo se realiza con la interferencia no OSG atenuada por la lluvia; los cálculos correspondientes al caso en que la interferencia no OSG no esté atenuada por la lluvia deben realizarse de la misma forma. El sistema del SRS evaluado es un sistema típico que da servicio a la zona continental de los Estados Unidos de América. La antena de recepción simulada se encuentra en Seattle, Washington, que se localiza en la zona de lluvia D del UIT-R. La máscara de interferencia es la correspondiente a los límites provisionales de la CMR-97 para una antena receptora de 45 cm.

FIGURA 1
Ejemplo de representación de la indisponibilidad



El eje horizontal del diagrama representa la degradación en relación con el ruido térmico (N_D) (dB) y el eje vertical representa la fracción de tiempo. La curva en forma de escalera representa la CDF_C de los límites provisionales de la dfpe (o la CDF en ausencia de la dfpe). Tal como puede apreciarse, los límites provisionales producen una degradación de 0,25 dB durante el 99,7% del tiempo (a partir de $I_{DN}/N_D = -12,3$ dB) y una degradación de 1,67 dB durante el 0,3% restante del tiempo (a partir de $I_{DN}/N_D = -3,3$ dB).

Las otras dos curvas del diagrama tienen formas similares. Cada curva representa una CDF_C de degradación, es decir, la indisponibilidad en función de la degradación. La fracción de tiempo por encima de la curva es la CDF de la degradación, o la disponibilidad en función de la degradación. Aunque la ecuación (9) que representa la degradación debida a la lluvia sólo es válida para fracciones de tiempo inferiores al 1%, se ha utilizado, por conveniencia, para representar todas las fracciones de tiempo. La ampliación artificial hasta el 100% de la fracción de tiempo no es un problema de cara a los resultados reales, ya que la mayoría de las situaciones de indisponibilidad de interés se encuentran por debajo del 1%. La curva inferior no incluye la interferencia no OSG y, por lo tanto, tiene valores menores de indisponibilidad. La curva superior corresponde al caso en que se añade la interferencia no OSG.

La parte correspondiente a largo plazo de la interferencia no OSG, hace que la curva de indisponibilidad se encuentre desplazada hacia la derecha 0,25 dB para el valor correspondiente al 100% del tiempo. El desplazamiento se reduce conforme aumenta la degradación. Ello se debe a que, tal como se ha expuesto anteriormente, una mayor atenuación debida a la lluvia reduce el impacto de la interferencia. El desplazamiento representa el incremento de potencia de la portadora que sería necesaria para compensar el efecto de la interferencia a largo plazo si fuera necesario.

Ambas curvas de indisponibilidad incluyen un valor constante de interferencia OSG. La interferencia OSG hace que las curvas de CDF_C comiencen aproximadamente a 0,28 dB para el valor correspondiente al 100% del tiempo. El valor de degradación de 0,28 dB procede de un valor de $I_{DG}/N_D = -11,8$ dB.

El punto característico que aparece en la curva superior está causado por la interferencia a corto plazo. La fracción de tiempo en dicho punto es aproximadamente la suma de las fracciones de tiempo correspondiente a lluvia y a interferencia no OSG para el nivel de degradación. (Dado que a dicho nivel de degradación la lluvia y la interferencia son eventos con una baja probabilidad, la probabilidad de que se produzca alguno de ellos es la suma de las dos probabilidades). El punto característico se encuentra desplazado hacia la derecha respecto al valor de degradación a corto plazo en 0,28 dB debido, tal como se ha mencionado anteriormente, a la interferencia constante OSG. Conforme nos desplazamos hacia la derecha del punto característico a lo largo de la curva con interferencia no OSG, la fracción de tiempo de indisponibilidad disminuye rápidamente, acercándose cada vez más a los valores de la curva sin interferencia no OSG. Por lo tanto, el hecho de disponer de un pequeño margen más allá del punto característico asegura un aumento relativamente beneficioso de la indisponibilidad causada por interferencia no OSG. Estos factores deberán tenerse en cuenta cuando se diseñen las máscaras de dfpe.

La barra vertical situada al nivel de degradación de 3,9 dB representa el margen en condiciones de cielo despejado del sistema (CSM, *clear sky margin*) antes de considerar los efectos de la interferencia de sistemas SRS OSG adyacentes, de sistemas SFS OSG adyacentes y los efectos del enlace ascendente. A partir de este punto las indisponibilidades del sistema se obtienen de ambas curvas. La diferencia entre los dos valores en el punto de CSM representa el aumento de indisponibilidad debido a la interferencia no OSG. La relación de aumento de indisponibilidad es el aumento de indisponibilidad dividido por la indisponibilidad existente sin interferencia no OSG. El ejemplo de la Fig. 1 muestra una relación de aumento de aproximadamente el 8,7%. Nótese que los intervalos menor y mayor en la escala logarítmica del eje vertical representan un aumento del 10% y del 100% de la indisponibilidad respectivamente.

APÉNDICE 1

AL ANEXO 3

En este Apéndice se desarrollan las ecuaciones de la degradación del método de Monte Carlo para el caso de interferencia no OSG atenuada por la lluvia. El ruido, N , en la relación portadora/ruido, C/N , hace referencia a la suma de todas las potencias indeseadas que se producen en una situación específica, tales como ruido térmico, aumento de la temperatura de ruido debido a la lluvia, interferencia OSG y/o interferencia no OSG.

La C/N total está afectada por la situación del enlace ascendente y descendente de la forma siguiente:

$$C/N = \frac{(C/N)_U \cdot (C/N)_D}{(C/N)_U + (C/N)_D} = \frac{(C/N)_D}{1 + \frac{(C/N)_D}{(C/N)_U}} \quad (10)$$

donde $(C/N)_U$ y $(C/N)_D$ son la C/N del enlace ascendente y la C/N del enlace descendente respectivamente. A su vez, $(C/N)_U$ se expresa como:

$$\begin{aligned} (C/N)_U &= (C/N)_{UC} DG_U \\ &= \frac{(C/N)_{UC} \alpha_U}{1 + \frac{T_{\alpha_U}}{T_U} + \alpha_U \left(\frac{I_{UG} + I_{UN}}{N_U} \right)} \\ &= \frac{(C/N)_{UC}}{\alpha_U \left(1 + \frac{T_{\alpha_U}}{T_U} \right) + \left(\frac{I_{UG} + I_{UN}}{N_U} \right)} \end{aligned} \quad (11)$$

Las notaciones que se utilizan en la ecuación (11) se definen de la forma siguiente:

$(C/N)_{UC}$: relación portadora/ruido del enlace ascendente en condiciones de cielo despejado (sólo T_U)

DG_U : factor degradación del enlace ascendente

α_U : atenuación debida a la lluvia en el enlace ascendente ($0 < \alpha_U < 1$) (variable aleatoria)

I_{UN} : potencia de la interferencia procedente de sistemas no OSG en el enlace ascendente (variable aleatoria)

I_{UG} : potencia de la interferencia recibida de otros sistemas OSG en el enlace ascendente

T_{α_U} : aumento de la temperatura de ruido en el enlace ascendente debida a la lluvia

T_U : temperatura de ruido del sistema de recepción en el enlace ascendente (≈ 617 K)

N_U : potencia de ruido térmico en el receptor del enlace ascendente.

$N_U = k T_U B$, donde k es la constante de Boltzmann y B es la anchura de banda de ruido del receptor. La atenuación debida a la lluvia α_U reduce directamente la potencia portadora recibida. El denominador de la ecuación (11) representa el ruido efectivo, relativo a T_U , incluyendo la temperatura de ruido de la lluvia y las contribuciones de interferencia procedentes de sistemas OSG y no OSG. Al igual que la portadora, las contribuciones de interferencia se ven atenuadas por la lluvia en un factor α_U .

Igualmente, la ecuación de la C/N del enlace descendente se expresa como:

$$(C/N)_D = (C/N)_{DC} DG_D$$

$$= \frac{(C/N)_{DC}}{\frac{1}{\alpha_D} \left(1 + \frac{T_{\alpha_D}}{T_D} \right) + \left(\frac{I_{DG} + I_{DN}}{N_D} \right)} \quad (12)$$

donde:

$$N_D = k T_D B$$

$(C/N)_{DC}$: relación portadora/ruido del enlace descendente en condiciones de cielo despejado (sólo T_D)

DG_D : factor de degradación del enlace descendente

α_D : atenuación debida a la lluvia en el enlace descendente ($0 < \alpha_D < 1$) (variable aleatoria)

I_{DN} : potencia de la interferencia procedente de sistemas no OSG en el enlace descendente (variable aleatoria)

I_{DG} : potencia de la interferencia recibida de sistemas OSG en el enlace descendente

T_{α_D} : aumento de la temperatura de ruido en el enlace descendente debida a la lluvia

T_D : temperatura de ruido del sistema en el enlace descendente (≈ 125 K)

N_D : potencia de ruido térmico en el receptor del enlace descendente.

Por lo tanto, la C/N total es:

$$C/N = \frac{(C/N)_{DC} DG_D}{1 + \frac{(C/N)_{DC} DG_D}{(C/N)_{UC} DG_U}} \quad (13)$$

$$= \frac{(C/N)_{DC}}{\frac{1}{\alpha_D} \left(1 + \frac{T_{\alpha_D}}{T_D} \right) + \left(\frac{I_{DG} + I_{DN}}{N_D} \right)} \left[1 + \frac{(C/N)_{DC}}{(C/N)_{UC}} \frac{\frac{1}{\alpha_U} \left(1 + \frac{T_{\alpha_U}}{T_U} \right) + \left(\frac{I_{UG} + I_{UN}}{N_U} \right)}{\frac{1}{\alpha_D} \left(1 + \frac{T_{\alpha_D}}{T_D} \right) + \left(\frac{I_{DG} + I_{DN}}{N_D} \right)} \right]^{-1}$$

La ecuación (13) incluye DG , un factor de degradación de $(C/N)_{DC}$, la C/N del enlace descendente en condiciones de cielo despejado. Nótese que $(C/N)_{DC}$ es también el factor de calidad con respecto al cual se evalúan todas las degradaciones en la Metodología A de la Recomendación UIT-R S.1323. $DG_U \leq 1$, $DG_D \leq 1$, $DG \leq 1$, definiéndose el factor de degradación positivo (dB) como $DG_{dB} = -10 \log_{10}(DG) \geq 0$. El factor de degradación del enlace descendente DG_D aparece dos veces en la ecuación, pero sólo es necesario calcularlo una vez.

Tal como se recoge en la Recomendación UIT-R S.1323, se supone que las interferencias debidas a la lluvia y a los sistemas no OSG ocurren de forma independiente. Sin embargo, el impacto de la interferencia en la degradación depende de la lluvia. Específicamente, la lluvia aumenta la

temperatura de ruido del sistema y atenúa la interferencia así como la portadora. Por lo tanto, la interferencia no OSG ejerce un nivel de degradación menor con lluvia que en condiciones de cielo despejado. Esto constituye una diferencia importante entre la metodología aquí propuesta y la Metodología A de la Recomendación UIT-R S.1323.

La ecuación (13) puede simplificarse mediante una serie de aproximaciones adecuadas. En la primera aproximación se ignora todo salvo el ruido térmico del enlace ascendente en condiciones de cielo despejado (N_U). Con $\alpha_U = 1$, $T_{\alpha_U} = 0$ e $I_{UN} = I_{UG} = 0$ en la ecuación (11), DG_U resulta ser 1 (no hay degradación) y, por lo tanto:

$$(C/N)_U = (C/N)_{UC} DG_U = (C/N)_{UC} \quad (14)$$

La ecuación (13) se convierte entonces en:

$$C/N = \frac{(C/N)_{DC}}{\frac{1}{\alpha_D} \left(1 + \frac{T_{\alpha_D}}{T_D} \right) + \left(\frac{I_{DG} + I_{DN}}{N_D} \right)} \left[1 + \frac{(C/N)_{DC}}{(C/N)_{UC}} \frac{1}{\frac{1}{\alpha_D} \left(1 + \frac{T_{\alpha_D}}{T_D} \right) + \left(\frac{I_{DG} + I_{DN}}{N_D} \right)} \right]^{-1} \quad (15)$$

La siguiente aproximación va un paso más allá, ignorándose la contribución del enlace ascendente a la degradación del enlace total. De esta forma, al tomar la parte recíproca o inversa de la ecuación (15) el valor 1, la expresión de la C/N total se simplifica de la forma siguiente:

$$C/N = \frac{(C/N)_{DC}}{\frac{1}{\alpha_D} \left(1 + \frac{T_{\alpha_D}}{T_D} \right) + \left(\frac{I_{DG} + I_{DN}}{N_D} \right)} \quad (16)$$

El aumento de la temperatura de ruido del sistema de la ecuación (16) puede evaluarse mediante:

$$T_{\alpha_D} = T_{D_m} \left(1 - 10^{\frac{-\alpha_{dB}}{10}} \right) \quad (17)$$

donde T_{D_m} es la temperatura de ruido (≈ 290 K) y $\alpha_{dB} = -10 \log_{10}(\alpha) \geq 0$ es la atenuación de la lluvia (dB). La ecuación (17) también se aplica a las ecuaciones (13) y (15).

El modelo cuasi-completo de la ecuación (16) es válido si la $(C/N)_U$ del enlace ascendente es muy superior a la $(C/N)_D$ del enlace descendente, lo cual es cierto en situaciones típicas, particularmente cuando se aplica el control de potencia en el enlace ascendente para compensar la atenuación debida a la lluvia. Sin embargo, en relación con la ecuación (16) debe tenerse en cuenta que α_U es menor que α_D debido a la frecuencia más elevada del enlace ascendente. El menor valor de α_U tiende a hacer que la parte recíproca de la ecuación (13) sea más significativa. Los resultados que se recogen en este Apéndice se basan en la ecuación (16).

ANEXO 4

Metodología para evaluar el efecto sobre los valores de $dfpe_{descendente}$ y $dfpe_{ascendente}$ correspondientes al 100% del tiempo conforme al *recomienda 1.2*

Este Anexo contiene un enfoque para evaluar el efecto sobre los valores de $dfpe_{descendente}$ y $dfpe_{ascendente}$ correspondientes al 100% del tiempo conforme al *recomienda 1.2*. Se realiza como sigue:

Paso 1: Calcúlese el valor de $(C/I)_{epfdup}$ que resulta de $dfpe_{ascendente}$ (en inglés: $epfd_{up}$), cuando sea aplicable:

$$(C/I)_{epfdup} = p.i.r.e.ascendente - L_{pup} - L_{gup} - L_{plup} - (epfd_{up} - G_{up}(1 \text{ m}^2)) - 10 \log(N_{eff}) - B + B_{ref}$$

Paso 2: Calcúlese el valor de $(C/I)_{epfd_{down}}$ que resulta de $dfpe_{descendente}$ (en inglés: $epfd_{down}$), cuando sea aplicable:

$$(C/I)_{epfd_{down}} = p.i.r.e.descendente - L_{pdown} - L_{gdown} - L_{pldown} - (epfd_{down} - G_{down}(1 \text{ m}^2)) - 10 \log(N_{eff}) - B + B_{ref}$$

Paso 3: Calcúlese la $C/(N+I)$ para cielo despejado incluyendo el efecto de los valores de (C/I) calculados en el Paso 1 (si son aplicables) y en el Paso 2:

$$C/(N+I)_{cs+epfds} = -10 \log(10^{(-0,1 C/(N+I)_{cs})} + 10^{(-0,1 (C/I)_{epfdup})} + 10^{(-0,1 (C/I)_{epfd_{down}})})$$

Paso 4: Calcúlese el margen M entre $C/(N+I)_{cs+epfds}$ y el valor umbral al que se hace referencia en el *recomienda 1.2* $(C/N+I)_{ffthr}$:

$$M = -10 \log(10^{(-0,1 C/(N+I)_{ffthr})} - 10^{(-0,1 C/(N+I)_{cs+epfds})})$$

Paso 5: Si el margen M es negativo, es de esperar que se produzca una pérdida de continuidad de la imagen de vídeo.

Donde:

$(C/I)_{epfdup}$:	valor de relación portadora/interferencia que resulta de la $dfpe_{ascendente}$
$epfd_{up}$:	valor supuesto de la $dfpe$ para el 100% del tiempo del enlace ascendente no OSG ($\text{dB}(W/(m^2 \cdot B_{ref}))$)
$p.i.r.e.ascendente$:	p.i.r.e. del enlace ascendente (dBW)
L_{pup} :	pérdida del trayecto del enlace ascendente (dB)
L_{gup} :	atenuación gaseosa del enlace ascendente (dB)
L_{plup} :	pérdida de apuntamiento de la antena en el enlace ascendente (dB)
$G_{up}(1 \text{ m}^2)$:	ganancia por m^2 en el enlace ascendente (dB)
$(C/I)_{epfd_{down}}$:	valor portadora/interferencia que resulta de $dfpe_{descendente}$
$epfd_{down}$:	valor supuesto de la $dfpe$ para el 100% del tiempo del enlace descendente no OSG ($\text{dB}(W/(m^2 \cdot B_{ref}))$)
$p.i.r.e.descendente$:	p.i.r.e. del enlace descendente (dBW)
L_{pdown} :	pérdida del trayecto del enlace descendente (dB)

L_{gdown} :	atenuación gaseosa del enlace descendente (dB)
L_{pldown} :	pérdida de apuntamiento de la antena en el enlace descendente (dB)
$G_{down}(1 \text{ m}^2)$:	ganancia por m^2 en el enlace descendente (dB)
$C/(N+I)_{cs}$:	$C/(N+I)$ del enlace con cielo despejado, sin el efecto de la interferencia no OSG (dB)
$C/(N+I)_{ffthr}$:	valor de umbral correspondiente a la pérdida de continuidad de la imagen de vídeo (dB)
$C/(N+I)_{cs+epfds}$:	efecto combinado de $C/(N+I)$ en condiciones de cielo despejado e interferencia no OSG
N_{eff} :	número efectivo de sistemas no OSG
B_{ref} :	anchura de banda de referencia en la que se define la dfpe (dB)
B :	anchura de banda de la portadora OSG (dB).
