

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R S.1673-1
(01/2010)

Metodologías para el cálculo de los niveles de interferencia del caso más desfavorable procedente de sistemas de satélites no geoestacionarios del servicio fijo por satélite de tipo HEO en las redes de satélite geoestacionarios del servicio fijo por satélite que funcionan en la gama de frecuencias comprendidas entre 10 y 30 GHz

Serie S
Servicio fijo por satélite



Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

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

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2010

© UIT 2010

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1673-1

Metodologías para el cálculo de los niveles de interferencia del caso más desfavorable procedente de sistemas de satélites no geostacionarios del servicio fijo por satélite de tipo HEO* en las redes de satélites geostacionarios del servicio fijo por satélite que funcionan en la gama de frecuencias comprendida entre 10 y 30 GHz

(Cuestión UIT-R 231/4)

(2003-2010)

Cometido

En esta Recomendación se describen metodologías para evaluar los niveles de interferencia del caso más desfavorable procedente de sistemas de satélites no geostacionarios del servicio fijo por satélite de tipo HEO en las redes de satélites geostacionarios que funcionan en el mismo servicio. Dichas metodologías son aplicables en las bandas de frecuencias comprendidas entre 10 y 30 GHz y se basan en suposiciones correspondientes al caso más desfavorable en las cuales se sobreestiman los niveles reales de interferencia.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que muchas bandas de frecuencia del SFS, se pueden utilizar tanto para redes de satélites OSG como para las de satélites no OSG de acuerdo con el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR);
- b) que los sistemas del SFS no OSG no deberán causar interferencias inaceptables a las redes del SFS OSG de acuerdo con las disposiciones del RR;
- c) que en algunas bandas de frecuencia del SFS, se ha cuantificado el nivel de interferencia aceptable procedente de los sistemas no OSG a las redes OSG sobre la base de los límites de $dfpe\uparrow$ y $dfpe\downarrow$ y que dichos límites se especifican en el Artículo 22 del RR para determinadas bandas de frecuencias;
- d) que las administraciones quizás necesiten calcular el nivel de interferencia del caso más desfavorable causada por un sistema no OSG en cualquier red OSG en las bandas de frecuencia del SFS distintas de aquellas respecto de las cuales los límites de $dfpe\uparrow$ y $dfpe\downarrow$ están especificados en el RR;
- e) que se han desarrollado metodologías, considerando las disposiciones del RR, para la evaluación de los niveles de interferencia causada por los sistemas no OSG a las redes OSG;
- f) que las metodologías mencionadas en el *considerando e)* se basaban principalmente en sistemas del SFS no OSG situados en órbitas circulares de altitud baja y media y que una metodología más simplificada puede ser adecuada para el cálculo de la interferencia causada por los sistemas del SFS no OSG de tipo HEO (véase la Nota 1), que utilizan porciones limitadas de la órbita como arcos «activos» para el funcionamiento, los cuales están separados espacialmente de la OSG, en las redes del SFS OSG,

* Para una caracterización de los sistemas de satélite del SFS que utilizan órbitas muy elípticas (de tipo HEO), véase la Recomendación UIT-R S.1758.

reconociendo

a) que en la Sección II del Artículo 22 se aborda el «Control de la interferencia a los sistemas de satélites no geoestacionarios»,

observando

a) que también se han efectuado estudios sobre la implementación de sistemas del SFS no OSG de tipo HEO en la gama de frecuencias comprendida entre 10 y 30 GHz;

b) que en las bandas de frecuencias distintas de las mencionadas en el *considerando c) supra* corresponde a las administraciones afectadas determinar si un sistema del SFS no OSG está causando una interferencia inaceptable a una red del SFS OSG;

c) que los sistemas del SFS no OSG de tipo HEO a los que se hace referencia en el *observando a)* se caracterizan por la utilización limitada de arcos operativos o «activos» que, aunque difieren en tamaño de un sistema a otro, están separados espacialmente con respecto a la OSG,

recomienda

1 que el nivel de interferencia del caso más desfavorable causada por un sistema del SFS no OSG del tipo HEO descrito en los *observando* anteriores a una red del SFS OSG, se calcule considerando que todos los satélites no OSG de ese sistema que utilizan la misma frecuencia y transmiten hacia la misma región geográfica de la Tierra producen sus niveles máximos de dfp;

2 que en el caso de sistemas del SFS no OSG de tipo HEO que funcionan en algunas bandas de frecuencia comprendidas entre 10 y 30 GHz, cuando no se especifican los límites de $dfp\uparrow$ y $dfp\downarrow$ en el RR, (véase la Nota 2), se utilice la metodología del Anexo 1 a la presente Recomendación para el cálculo de los niveles de interferencia del caso más desfavorable en redes del SFS OSG provocada por esos sistemas del SFS no OSG de tipo HEO (véanse las Notas 3, 4 y 5);

3 que para los sistemas del SFS no OSG de tipo HEO en algunas bandas de frecuencia comprendidas entre 10 y 30 GHz, cuando se especifican los límites de $dfp\uparrow$ y $dfpe\downarrow$ en el RR (véase la Nota 2), se utilice la metodología del Anexo 2 de la presente Recomendación al calcular los niveles del caso más desfavorable de interferencia en redes del SFS OSG provocada por estos sistemas del SFS no OSG de tipo HEO (véanse las Notas 4 y 6).

NOTA 1 – A los efectos de esta Recomendación, se incluye en la categoría de sistemas de satélite en órbita no geoestacionaria de tipo HEO un sistema que utilice alguna de las órbitas indicadas a continuación. Los satélites del sistema son operacionales únicamente en el arco activo:

- una órbita con una excentricidad de al menos 0,05, una inclinación comprendida entre 35° y 145°, un apogeo de al menos 18000 km y un periodo que sea el periodo geosíncrono (23 h, 56 min) multiplicado por m/n , donde m y n son enteros (la relación m/n puede ser inferior, igual o superior a uno); o
- una órbita circular (con una excentricidad de 0,005 como máximo) con el periodo geosíncrono (23 h, 56 min) y una inclinación comprendida entre 35° y 145°.

NOTA 2 – Las bandas de frecuencias respecto de las cuales se especifica en el RR los límites de $dfp\uparrow$ y $dfpe\downarrow$ son 10,7-13,25 GHz, 13,75-14,5 GHz, 17,3-18,6 GHz, 19,7-20,2 GHz, 27,5-28,6 GHz y 29,5-30,0 GHz.

NOTA 3 – La metodología del Anexo 1 es complementaria de la metodología de la Recomendación UIT-R S.1560 para las bandas de frecuencia de 4 y 6 GHz.

NOTA 4 – Las metodologías en esta Recomendación utilizan la hipótesis del caso más desfavorable en la cual se sobreestiman los niveles reales de interferencia. En algunos sistemas, especialmente

los que presentan variaciones de la puntería del arco, la frecuencia, la potencia, las pérdidas del trayecto y/o el número de satélites que iluminan simultáneamente una zona de servicio, la sobreestimación puede ser considerable. Pueden utilizarse técnicas de análisis más perfeccionadas para evaluar los perfiles de interferencia con más detalle, a fin de determinar niveles realistas de interferencia y sus probabilidades correspondientes de aparición.

NOTA 5 – El Anexo 3 da un ejemplo de la utilización de la metodología del *recomienda 2* para un sistema del SFS no OSG de tipo HEO.

NOTA 6 – El Anexo 4 da un ejemplo de la utilización de la metodología del *recomienda 3* para un sistema del SFS no OSG de tipo HEO.

Anexo 1

Metodologías para el cálculo de los niveles de interferencia del caso más desfavorable procedente de sistemas de satélites no OSG del SFS de tipo HEO en las redes de satélites OSG del SFS que funcionan en algunas bandas de frecuencia comprendidas entre 10 y 30 GHz, cuando no se especifican los límites de $dfpe\uparrow$ y $dfpe\downarrow$ en el RR

La metodología indicada a continuación debe utilizarse al calcular los niveles potenciales de interferencia causada por el funcionamiento en la misma frecuencia de sistemas del SFS no OSG de tipo HEO en redes del SFS OSG que funcionan en algunas bandas de frecuencia comprendidas entre 10 y 30 GHz, cuando no se especifican los límites de $dfpe\uparrow$ y $dfpe\downarrow$ en el RR.

1 Datos relativos al sistema del SFS no OSG

Por lo que se refiere al sistema del SFS no OSG, se necesita la información que sigue:

Transmisiones de espacio a Tierra

θ_{D-min} : Separación angular mínima en la estación terrena del SFS OSG entre la LoS a los satélites no OSG transmisores activos y la LoS a su satélite OSG asociado (grados).

$dfp_{D-no\ OSG-max}$: dfp máxima en el emplazamiento sobre la superficie de la Tierra de la estación terrena de la red del SFS OSG causada por las transmisiones procedentes de cada uno de los satélites no OSG de la constelación (dB(W/(m² · Hz))).

N_D : Número máximo de satélites no OSG de un sistema que utiliza órbitas muy elípticas, que utilizan la misma frecuencia y transmiten hacia la misma región geográfica de la Tierra. También se necesita una indicación del número de esos satélites en función del porcentaje de tiempo.

Transmisiones de Tierra a espacio

θ_{U-min} : Separación angular mínima en la estación terrena transmisora del SFS no OSG entre la LoS a la órbita OSG y la LoS a su satélite no OSG asociado (grados).

$p.i.r.e.no\ OSG-max$: Máxima densidad espectral de la p.i.r.e. fuera del eje procedente de la estación terrena no OSG transmisora correspondiente a la separación angular mínima (θ_{U-min}) (dB(W/Hz)).

N_U : Número máximo de estaciones terrenas no OSG transmisoras de un sistema de satélites en órbitas muy elípticas que utilizan la misma frecuencia dentro de una región geográfica de la Tierra que probablemente reciba un haz de recepción de satélite OSG único.

2 Datos relativos a la red del SFS OSG

Por lo que se refiere a la red OSG, se necesita la información que sigue:

Sensibilidad de la estación terrena en recepción

$G_{OSG-ET-m\acute{a}x}$: Máxima ganancia fuera del eje supuesta de la estación terrena receptora OSG en el sentido, correspondiente a la separación angular mínima (θ_{D-min}) del satélite no OSG cuando está transmitiendo activamente (dBi).

T_{OSG-ET} : Temperatura de ruido supuesta del sistema receptor con atmósfera despejada (incluido el ruido de la antena receptora) del enlace descendente OSG. Para errar en el lado conservador, es preciso no incluir aquí las degradaciones causadas en el enlace global imputables al enlace ascendente (K).

Sensibilidad del satélite en recepción

$G_{OSG-SS-m\acute{a}x}$: Máxima ganancia de antena de recepción de satélite OSG supuesta (dBi).

T_{OSG-SS} : Temperatura de ruido supuesta del sistema de recepción con atmósfera despejada del enlace ascendente OSG. Para errar en el lado conservador, es preciso no tener en cuenta el enlace global, incluyendo el enlace descendente (K).

3 Cálculo de la interferencia del enlace descendente en la red OSG

Para calcular la degradación de la temperatura de ruido del sistema receptor del enlace descendente de una red OSG provocada por un sistema de satélite no OSG se llevan a cabo los tres pasos que se indican a continuación:

Paso D1: Cálculo de la máxima densidad espectral de potencia de señal interferente (I_{0-ET}) provocada por un solo satélite no OSG a la salida de la antena de la estación terrena OSG:

$$I_{0-ET} = dfp_{D-no\ OSG-m\acute{a}x} + G_{OSG-ET-m\acute{a}x} + 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right) \quad \text{dB(W/Hz)} \quad (1)$$

donde λ es la longitud de onda (m).

Paso D2: Cálculo de la densidad espectral de potencia de ruido, N_0 , a la salida de la antena de la estación terrena OSG:

$$N_{0-ET} = 10 \log(kT_{OSG-ET}) \quad \text{dB(W/Hz)} \quad (2)$$

donde k es la constante de Boltzmann.

Paso D3: Cálculo de la degradación de la temperatura de ruido del sistema receptor del enlace descendente, $\Delta T/T_D$, provocada por la constelación de satélites no OSG:

$$\Delta T/T_D = N_D 10^{\left(\frac{I_{0-ET} - N_{0-ET}}{10} \right)} \quad (3)$$

4 Cálculo de la interferencia del enlace ascendente en la red del SFS OSG

Para calcular la degradación de la temperatura de ruido del sistema receptor del enlace ascendente de una red OSG provocada por un sistema de satélite del SFS no OSG se llevan a cabo los cuatro pasos que se indican a continuación:

Paso U1: Cálculo de la máxima densidad espectral de flujo de potencia en la estación espacial OSG ($dfp_{U-no\ OSG-máx}$) provocada por una única estación terrena transmisora no OSG. Se señala que en la ecuación que sigue se supone que la estación terrena transmisora no OSG está situada a la distancia mínima con respecto a un satélite OSG. Hay que tener en cuenta que en esa ubicación de la estación terrena, el ángulo de separación resultante será mayor que el ángulo de separación mínima que se utiliza en el análisis. Así pues, con este cálculo se sobreestimaré la interferencia recibida.

$$dfp_{U-no\ OSG-máx} = p.i.r.e_{no\ OSG-máx} - 10 \log(4\pi(35\ 786)^2) - 60 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))} \quad (4)$$

Paso U2: Cálculo de la densidad espectral de potencia de señal interferente, I_{0-SS} , a la salida de la antena de la estación espacial OSG:

$$I_{0-SS} = dfp_{U-no\ OSG-máx} + G_{OSG-SS-máx} + 10 \log\left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right) \quad \text{dB(W/Hz)} \quad (5)$$

donde λ es la longitud de onda (m).

Paso U3: Cálculo de la densidad espectral de potencia de ruido, N_0 , a la salida de la antena de la estación espacial OSG:

$$N_{0-SS} = 10 \log(kT_{OSG-SS}) \quad \text{dB(W/Hz)} \quad (6)$$

donde k es la constante de Boltzmann.

Paso U4: Cálculo de la degradación de la temperatura de ruido del sistema receptor del enlace ascendente, $\Delta T/T_U$:

$$\Delta T/T_U = N_U 10^{\left(\frac{I_{0-SS} - N_{0-SS}}{10}\right)} \quad (7)$$

5 Sistemas del SFS no OSG múltiples

La metodología anterior es útil para el cálculo de la interferencia de una sola fuente procedente de un sistema. La metodología no es adecuada, si se aplica a la situación en la que hay M sistemas múltiples del SFS no OSG de este tipo que compartan las mismas bandas de frecuencia, porque los niveles de la densidad espectral de potencia máxima de la señal interferente procedente de los sistemas del SFS no OSG y la separación angular mínima respecto al arco OSG pueden ser diferentes entre sistemas.

Para aplicar el principio de la metodología mencionada al caso de múltiples sistemas del SFS no OSG, ha de considerarse lo siguiente.

- Tras los pasos D1 y U2, los niveles de la densidad espectral de potencia de la señal interferente combinada en el enlace descendente y en el enlace ascendente deben calcularse mediante la suma de cada nivel de una sola fuente procedente de M sistemas del SFS no OSG, respectivamente, de la siguiente manera:

Paso D1m: Cálculo de la densidad espectral de potencia de la señal interferente combinada máxima, (I_{A-0-ES}) (dB(W/Hz)), procedente de los satélites no OSG de M sistemas no OSG en la salida de la antena de una estación terrena del SFS OSG:

$$I_{A-0-ES} = 10 \log \sum_{m=1}^M 10^{\left[\frac{I_{0-ES-m}}{10} \right]} \quad \text{dB(W/Hz)} \quad (8)$$

I_{0-ES-m} es la densidad espectral de potencia máxima de la señal interferente combinada procedente de los satélites no OSG del sistema m -ésimo no OSG. Se obtiene utilizando la ecuación siguiente:

$$I_{0-ES-m} = I_{0-ES} + 10 \log N_{D-m} \quad \text{dB(W/Hz)} \quad (9)$$

N_{D-m} es el número máximo de satélites cofrecuencia en el m -ésimo sistema del SFS no OSG que utiliza órbitas muy elípticas y que transmiten hacia la misma región geográfica de la Tierra.

Paso D3m: $\Delta T/T_{Dm}$ en el caso de N sistemas múltiples del SFS no OSG puede calcularse como se indica a continuación, utilizando los valores obtenidos con los pasos D1m y D2.

$$\frac{\Delta T}{T_{Dm}} = 10^{\left[\frac{I_{A-0-ES} - N_{0-ES}}{10} \right]} \quad (10)$$

Paso U2m: Cálculo de la densidad espectral de potencia máxima de la señal interferente combinada (I_{A-0-SS}) (dB(W/Hz)) procedente de las estaciones terrenas de M sistemas no OSG en la salida de la antena de la estación espacial OSG:

$$I_{A-0-SS} = 10 \log \sum_{m=1}^M 10^{\left[\frac{I_{0-SS-m}}{10} \right]} \quad \text{dB(W/Hz)} \quad (11)$$

I_{0-SS-m} es la densidad espectral de potencia máxima de la señal interferente combinada procedente de las estaciones terrenas del m -ésimo sistema no OSG. Se obtiene utilizando la ecuación siguiente:

$$I_{0-SS-m} = I_{0-SS} + 10 \log N_{U-m} \quad \text{dB(W/Hz)} \quad (12)$$

N_{U-m} es el número máximo de estaciones terrenas transmisoras en la misma frecuencia en el m -ésimo sistema del SFS no OSG en órbita muy elíptica, dentro de una región geográfica de la Tierra en la que probablemente se recibe por un único haz de recepción de satélite OSG.

Paso U4m: Degradación del sistema receptor del enlace ascendente de M sistemas del SFS no OSG, $\Delta T/T_{Um}$, que puede calcularse como se indica a continuación utilizando los valores obtenidos en los Pasos U2m y U3.

$$\frac{\Delta T}{T_{Um}} = 10^{\left[\frac{I_{A-0-SS} - N_{0-SS}}{10} \right]} \quad (13)$$

Anexo 2

Metodología para el cálculo de los niveles de interferencia del caso más desfavorable procedente de sistemas de satélites no OSG del SFS de tipo HEO en las redes de satélites OSG del SFS que funcionan en algunas bandas de frecuencia comprendidas entre 10 y 30 GHz, cuando no se especifican los límites de $dfpe\uparrow$ y $dfpe\downarrow$ en el RR

La metodología indicada a continuación debe utilizarse al calcular los niveles del caso más desfavorable de interferencia causada por el funcionamiento en la misma frecuencia de sistemas del SFS no OSG de tipo HEO en redes del SFS OSG que funcionan en algunas bandas de frecuencia comprendidas entre 10 y 30 GHz, cuando no se especifican los límites de $dfpe\uparrow$ y $dfpe\downarrow$ en el RR.

1 Datos relativos al sistema del SFS no OSG

Por lo que se refiere al sistema del SFS no OSG, se necesita la información que sigue:

Transmisiones de espacio a Tierra

- θ_{D-min} : Separación angular mínima en la estación terrena del SFS OSG entre la LoS a los satélites no OSG transmisores activos y la LoS a su satélite OSG asociado (grados).
- $dfp_{D-no\ OSG-max}$: dfp máxima en el emplazamiento sobre la superficie de la Tierra de la estación terrena de la red del SFS OSG causada por las transmisiones procedentes de cada uno de los satélites no OSG de la constelación ($dB(W/(m^2 \cdot Hz))$).
- N_D : Número máximo de satélites no OSG de un sistema que utiliza órbitas muy elípticas, que utilizan la misma frecuencia y transmiten hacia la misma región geográfica de la Tierra. También se necesita una indicación del número de esos satélites en función del porcentaje de tiempo.

Transmisiones de Tierra a espacio

- θ_{U-min} : Separación angular mínima en la estación terrena transmisora del SFS no OSG entre la LoS a la órbita OSG y la LoS a su satélite no OSG asociado (grados).
- $p.i.r.e.no\ OSG-max$: Máxima densidad espectral de la p.i.r.e. fuera del eje procedente de la estación terrena no OSG transmisora correspondiente a la separación angular mínima (θ_{U-min}) ($dB(W/Hz)$).
- N_U : Número máximo de estaciones terrenas no OSG transmisoras de un sistema de satélites en órbitas muy elípticas que utilizan la misma frecuencia dentro de una región geográfica de la Tierra que probablemente reciba un haz de recepción de satélite OSG único.

2 Datos relativos a la red del SFS OSG

Por lo que se refiere a la red OSG, se necesita la información que sigue:

Sensibilidad de la estación terrena en recepción

- $G_{OSG-ES-max}$: Máxima ganancia fuera del eje supuesta de la estación terrena receptora OSG en el sentido, correspondiente a la separación angular mínima (θ_{D-min}) del satélite no OSG cuando está transmitiendo activamente (dBi).

G_{OSG-ES} : Ganancia máxima supuesta de la antena de recepción del satélite OSG (dBi).

Sensibilidad del satélite en recepción

$G_{OSG-SS-máx}$: Ganancia máxima supuesta fuera del eje de la antena de recepción del satélite OSG (dBi).

G_{OSG-SS} : Ganancia máxima supuesta de la antena de recepción del satélite OSG (dBi).

3 Cálculo de la interferencia del enlace descendente en la red del SFS OSG

Para calcular los niveles de la $dfpe_{\downarrow}$ en las estaciones terrenas de una red del SFS OSG provocada por un sistema de satélites del SFS no OSG se llevan a cabo los dos pasos que se indican a continuación:

Paso D1: Cálculo del nivel de la $dfpe_{\downarrow}$ a la salida de la antena de la estación terrena OSG con un único satélite:

$$dfpe_{\downarrow} = dfp_{D-no\ OSG-máx} + G_{OSG-ES-máx} - G_{OSG-ES} \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))} \quad (14)$$

Paso D2: Cálculo de los niveles de la $dfpe_{\downarrow}$ a la salida de la antena de la estación terrena OSG procedente de la constelación de satélites no OSG:

$$dfpe_{\downarrow} = dfpe_{\downarrow} + 10 \log N_D \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))} \quad (15)$$

Véase que la $dfpe_{\downarrow}$ de la ecuación (15) se refiere a una anchura de banda de referencia de 1 Hz. Para obtener la $dfpe_{\downarrow}$ con referencia a una anchura de banda de F kHz, se añade el valor de $10 \log(1000F)$ (dB).

4 Cálculo de la interferencia del enlace ascendente en la red del SFS OSG

Para calcular los niveles de la $dfpe_{\uparrow}$ en una red del SFS OSG provocada por un sistema del SFS no OSG se llevan a cabo los tres pasos que se indican a continuación:

Paso U1: Cálculo de la máxima densidad espectral de flujo de potencia en la estación espacial OSG ($dfp_{U-no\ OSG-máx}$) provocada por una única estación terrena transmisora no OSG. Se señala que en la ecuación que sigue se supone que la estación terrena transmisora no OSG está situada a la distancia mínima con respecto a un satélite OSG. Hay que tener en cuenta que en esa ubicación de la estación terrena, el ángulo de separación resultante será mayor que el ángulo de separación mínima que se utiliza en el análisis. Así pues, con este cálculo se sobreestimaré la interferencia recibida.

$$dfp_{U-no\ OSG-máx} = p.i.r.e_{no\ OSG-máx} - 10 \log(4\pi(35786)^2) - 60 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))} \quad (16)$$

Paso U2: Cálculo de la $dfpe_{\uparrow}$ máxima a la salida de la antena de la estación espacial OSG:

$$dfpe_{\uparrow} = dfp_{U-no\ OSG-máx} + G_{OSG-SS-máx} - G_{OSG-SS} \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))} \quad (17)$$

Paso U3: Cálculo de la $dfpe_{\uparrow}$ combinada a la salida de la antena de la estación espacial OSG:

$$dfpe_{\uparrow\ combinada} = dfpe_{\uparrow} + 10 \log N_u \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))} \quad (18)$$

Véase que la $dfpe\uparrow$ combinada de la ecuación (18) se refiere a una anchura de banda de referencia de 1 Hz. Para obtener la $dfpe\uparrow$ combinada con referencia a una anchura de banda de F kHz, se añade el valor de $10 \log(1000F)$ (dB).

5 Sistemas del SFS no OSG múltiples

La metodología anterior es útil para el cálculo de la interferencia de una sola fuente procedente de un sistema. Esta metodología no es adecuada, si se aplica a la situación en la que hay M sistemas múltiples del SFS no OSG del mismo tipo que compartan las mismas bandas de frecuencias, porque los niveles máximos de la $dfpe$ interferente procedente de los sistemas del SFS no OSG y la separación angular mínima respecto al arco OSG pueden ser diferentes entre sistemas.

Para aplicar el principio de la metodología mencionada al caso de múltiples sistemas del SFS no OSG, debe considerarse lo siguiente:

- Tras los pasos D2 y U3, los niveles de la señal $dfpe$ interferente combinada ($dfpe_m$ combinada en el enlace descendente y en el enlace ascendente) deben calcularse mediante la suma de los niveles de una sola fuente procedentes de M sistemas del SFS no OSG, de la siguiente manera:

Paso D2m:

$$dfpe_{m\downarrow} \text{ combinada} = 10 \log \sum_{m=1}^M 10^{\left[\frac{dfpe(m)\downarrow}{10} \right]} \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))} \quad (19)$$

$dfpe(m)\downarrow$ es el nivel de la $dfpe$ de la señal interferente máxima en la estación terrena OSG procedente de los satélites no OSG en el m -ésimo sistema no OSG. Se obtiene utilizando la ecuación (15).

Véase que el término « $dfpe_{m\downarrow}$ combinada» de la ecuación (19) se refiere a una anchura de banda de referencia de 1 Hz. Para obtener el término « $dfpe_{m\downarrow}$ combinada» con referencia a una anchura de banda de F kHz, debe añadirse el valor de $10 \log(1000F)$ (dB).

Paso U3m:

$$dfpe_{m\uparrow} \text{ combinada} = 10 \log \sum_{m=1}^M 10^{\left[\frac{dfpe(m)\uparrow}{10} \right]} \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))} \quad (20)$$

$dfpe(m)\uparrow$ es el nivel de la $dfpe$ de la señal interferente máxima en la estación espacial OSG procedente de las estaciones terrenas no OSG del m -ésimo sistema no OSG. Se obtiene utilizando la ecuación (18).

Véase que el término $dfpe_{m\uparrow}$ de la ecuación (20) se refiere a una anchura de banda de referencia de 1 Hz. Para obtener el término $dfpe_{m\uparrow}$ combinada con referencia a una anchura de banda de referencia de F kHz $dfpe_{m\uparrow}$ debe añadirse el valor $10 \log(1000F)$ (dB).

Anexo 3

Ejemplo de aplicación de la metodología del Anexo 1 a esta Recomendación al cálculo de los niveles de interferencia del caso más desfavorable causada por un sistema del SFS no OSG de tipo HEO en redes del SFS OSG en las bandas de frecuencia de 19/29 GHz

1 Sistema no OSG considerado

El sistema del SFS no OSG de tipo HEO que aquí se propone utiliza órbitas geosíncronas elípticas para asegurar una gran separación angular de los satélites activos con respecto a la órbita OSG. El sistema, denominado en adelante Sistema-1, dará SFS a pequeñas estaciones terrenas tales como las de los terminales de muy pequeña apertura (VSAT).

El sistema se compone de tres o cuatro satélites que producen trazas repetidas en el suelo. La Fig. 1 muestra una traza subsatelital en el suelo del Sistema-1, indicándose mediante una línea gruesa los arcos de servicio activos. El sistema está concebido de forma que los satélites estén «activos» (es decir transmitiendo o retransmitiendo y recibiendo señales de radiocomunicaciones) únicamente en el tramo de la órbita próximo al apogeo, cuando el satélite se desplaza a la velocidad mínima. El «arco activo» para la constelación se produce únicamente cuando los satélites se encuentran en latitudes superiores a 30° N. Debe señalarse que hay momentos en que dos satélites se encuentran en un arco activo (uno en el principio y otro en el final) a fin de realizar actividades de mantenimiento y traspaso. Este diseño del sistema hace que los satélites activos estén separados de la LoS geoestacionaria al menos 30° en todo momento. El Sistema-1 logra de esta manera una combinación óptima de ángulos de elevación muy grandes, demoras de propagación de la señal reducidas en comparación con las de los satélites OSG, traspasos de satélites limitados y separación angular elevada respecto a la órbita OSG.

2 Bandas de frecuencia

Se ha propuesto el funcionamiento del Sistema-1 en el tramo de 500 MHz de la banda de frecuencias 28,6-29,1 GHz (Tierra-espacio) y en el tramo de 500 MHz de la banda de frecuencias 18,8-19,3 GHz (espacio-Tierra). Cada satélite del sistema da canales de comunicación de tipo «guiaondas acodado» en estas bandas.

3 Parámetros fundamentales para el cálculo de la interferencia a redes del SFS OSG en las bandas de frecuencia de 19/29 GHz

Para el tipo de sistemas del SFS no OSG considerado en este ejemplo, se necesitan los parámetros siguientes para la evaluación de la interferencia en redes del SFS OSG que utilizan la misma frecuencia:

Interferencia de enlace descendente en redes del SFS OSG

- D1: Separación angular mínima de los satélites no OSG transmisores activos con respecto a la LoS entre la estación terrena OSG y su satélite OSG asociado (véase la definición θ_{D-min} en el Anexo 1).
- D2: d_{fp} máxima en la superficie de la Tierra causada por la transmisión desde cada uno de los satélites no OSG de la constelación (véase la definición de $d_{fp_{D-no\ OSG-max}}$ en el Anexo 1).

- D3: Número máximo de satélites no OSG que utilizan la misma frecuencia y transmiten hacia la misma región geográfica de la Tierra. Se precisa una indicación del número de dichos satélites en función del porcentaje de tiempo (véase la definición de N_D en el Anexo 1).
- D4: Ganancia fuera del eje supuesta de la estación terrena receptora OSG hacia los satélites no OSG activos (véase la definición de $G_{OSG-ES-máx}$ en el Anexo 1). La Recomendación UIT-R S.465 da algunas orientaciones a este respecto.
- D5: Temperatura de ruido supuesta del sistema de recepción con atmósfera despejada (incluido el ruido de la antena de recepción) del enlace descendente OSG (véase la definición de T_{OSG-ES} en el Anexo 1). Para errar en el lado conservador, es preciso no incluir las degradaciones causadas al enlace global imputables al enlace ascendente.

Interferencia de enlace ascendente en redes del SFS OSG

- U1: Separación angular mínima de la órbita OSG desde la LoS entre la estación terrena no OSG transmisora y su satélite no OSG asociado (véase la definición de θ_{U-min} en el Anexo 1).
- U2: Máxima densidad espectral de p.i.r.e. fuera del eje procedente de la estación terrena no OSG transmisora (véase la definición de $p.i.r.e.no\ OSG-máx$ en el Anexo 1).
- U3: Número máximo de estaciones terrenas no OSG transmisoras que utilizan la misma frecuencia dentro de una región geográfica de la Tierra que probablemente reciba un haz de recepción de satélite OSG único (véase la definición de N_U en el Anexo 1).
- U4: Máxima ganancia de antena de recepción de satélite OSG supuesta (véase la definición de $G_{OSG-SS-máx}$ en el Anexo 1).
- U5: Temperatura de ruido supuesta de sistema de recepción con atmósfera despejada del enlace ascendente OSG (véase la definición de T_{OSG-SS} en el Anexo 1). Para ser conservadores, es preciso no incluir el ruido del enlace descendente.

4 Cálculo de la interferencia de enlace descendente provocada en las redes OSG

Para el sistema no OSG que aquí se considera, (Sistema-1), los valores de los parámetros fundamentales necesarios para el cálculo de esta interferencia, son como sigue:

- D1: La separación angular mínima de los satélites no OSG transmisores activos desde la LoS entre la estación terrena OSG y su satélite OSG asociado no ha de ser nunca inferior a 30° .
- D2: La d_{fp} máxima en la superficie de la Tierra causada por las transmisiones procedentes de cada uno de los satélites no OSG de la constelación no es superior a $-140\text{ dB(W(m}^2 \cdot 4\text{ kHz))}$.
- D3: El número máximo de satélites no OSG que utilizan la misma frecuencia y transmiten hacia la misma región geográfica de la Tierra es de dos. Esta situación puede darse durante periodos de tiempo muy cortos y en los momentos en que se produce el traspaso entre el «crepúsculo» y el «alba» del satélite activo no OSG (los traspasos normalmente tienen una duración de 10 s y se producen cada 8 ó 6 h dependiendo del número de satélites en el sistema de satélite no OSG). Una duración de 10 s es inferior al 0,05% del tiempo.
- D4: La ganancia fuera del eje supuesta de la estación terrena receptora OSG hacia los satélites no OSG activos, según se propone en la Recomendación UIT-R S.465.
- D5: La temperatura de ruido del sistema de recepción con atmósfera despejada (incluido el ruido de antena de recepción) del enlace descendente OSG se supone que es, adoptando un valor conservador, de 500 K. Este valor corresponde a un enlace descendente con calidad de funcionamiento bastante buena, y con él se desechan cualesquiera degradaciones provocadas en el enlace global imputables al enlace ascendente.

En el Cuadro 1 se da el cálculo, con los valores de los parámetros fundamentales indicados más arriba, de la interferencia del enlace descendente del caso más desfavorable provocada por un sistema no OSG en cualquier red OSG que utiliza la misma frecuencia.

CUADRO 1

Ejemplo de cálculo de la interferencia de enlace descendente del caso más desfavorable (corto plazo) provocada por un Sistema-1 en una estación terrena OSG en la banda de frecuencias de 19 GHz

Parámetro	Unidades	Valor
Máxima dfp del satélite del Sistema-1 en 4 kHz	dB(W/(m ² · 4 kHz))	-140
Ángulo de evitación de la órbita OSG	grados	30
Ganancia de la estación terrena OSG receptora hacia el satélite del Sistema-1	dBi	-4,9
Frecuencia	GHz	19
Abertura efectiva de la estación terrena OSG receptora hacia el satélite del Sistema-1	dBm ²	-52,0
Potencia de la señal interferente de la estación terrena OSG receptora en 4 kHz	dB(W/4 kHz)	-192,0
Densidad espectral de potencia de la señal interferente de la estación terrena OSG receptora	dB(W/Hz)	-228,0
Incremento de la interferencia debido a dos satélites del Sistema-1 visibles simultáneamente	dB	3
Densidad espectral de potencia de la señal interferente de la estación terrena OSG receptora (dos satélites del Sistema-1 visibles simultáneamente)	dB(W/Hz)	-225,0
Temperatura de ruido del sistema de la estación terrena OSG receptora (supuesta)	K	300
Densidad espectral de potencia del ruido del sistema de la estación terrena OSG receptora	dB(W/Hz)	-203,8
I_0/N_0 a la entrada de la estación terrena OSG receptora (corto plazo)	dB	-21,2
Degradación $\Delta T/T$ de la estación terrena OSG receptora (corto plazo)	%	0,76

El análisis del Cuadro 1 empieza con la dfp de enlace descendente máxima del satélite del Sistema-1, según el elemento de datos D2 anterior. A continuación, sobre la base de un ángulo de evitación orbital OSG de 30° como mínimo, (elemento de datos D1), la ganancia fuera del eje de la antena de la estación terrena receptora OSG que se calcula sobre la base de la Recomendación UIT-R S.465 (elemento de datos D4) se supone que es -4,9 dBi. Esta ganancia se convierte en una zona de apertura efectiva (dBm²) utilizando una frecuencia de recepción apropiada de 19 GHz. El empleo de la apertura efectiva permite calcular seguidamente de forma sencilla el valor de la potencia de la señal interferente recibida, en una anchura de banda de 4 kHz, desde un único satélite del Sistema-1.

Tras calcular ese valor previendo dos satélites del Sistema-1 visibles simultáneamente (valor a corto plazo del caso más desfavorable) y efectuar el ajuste a una anchura de banda de referencia de 1 Hz, esta potencia de señal de interferencia combinada se compara con la potencia de ruido inherente del

receptor de la estación terrena OSG (resultante del elemento de datos D5). En base a lo anterior se calcula una relación interferencia/densidad de potencia de ruido, I_0/N_0 de $-21,2$ dB, que se expresa también como una degradación $\Delta T/T$ equivalente de la calidad de funcionamiento de la estación terrena receptora OSG del 0,76%.

En los puntos anteriores de este Anexo se ha señalado que el análisis anterior sobreestimaría la interferencia real, debido a que los dos satélites interferentes supuestos no estarían situados con el ángulo de separación mínima para una determinada ubicación de estación terrena OSG.

5 Cálculo de la interferencia de enlace ascendente provocada en las redes OSG

Para el sistema no OSG candidato que aquí se considera, Sistema-1, los valores de los parámetros fundamentales necesarios para el cálculo de esta interferencia son como sigue:

- U1: La separación angular mínima de la órbita OSG desde la LoS entre la estación terrena no OSG transmisora y su satélite no OSG asociado no es nunca inferior a 30° .
- U2: La densidad espectral de la p.i.r.e. fuera del eje máxima provocada por la estación terrena no OSG transmisora se calcula a partir de la densidad espectral de potencia de entrada máxima (-21 dB(W/4 kHz)) con atmósfera despejada y -11 dB(W/4 kHz) con desvanecimientos por lluvia debido a la utilización del control de potencia del enlace ascendente) y la ganancia fuera del eje máxima de la estación terrena no OSG transmisora en la dirección del arco OSG. Esto último se supone que sigue la Recomendación UIT-R S.465.
- U3: Existe una relación directa entre el número máximo de estaciones terrenas no OSG transmisoras que utilizan la misma frecuencia dentro de una región geográfica de la Tierra que probablemente reciba un único haz de recepción de satélite OSG, y la ganancia de recepción de satélite OSG máxima supuesta (véase el parámetro U4). Cuando la anchura del haz de recepción de satélite OSG es inferior a la anchura del haz de recepción de satélite no OSG (medida en la superficie de la Tierra), el número máximo es por lo general uno. Sólo cuando la anchura del haz de recepción del satélite OSG sea superior a la anchura del haz del satélite no OSG habrá la posibilidad de múltiples emisiones que utilicen la misma frecuencia desde los enlaces ascendentes de transmisión no OSG. Sin embargo, en este caso se reducirá la ganancia de cresta del haz de recepción del satélite OSG, con el resultado de una sensibilidad de enlace ascendente menor y niveles más bajos de interferencia no OSG por estación terrena no OSG transmisora. Por consiguiente, el probable escenario del caso más desfavorable es un haz puntual de recepción OSG de ganancia elevada, cuya anchura (medida en la superficie de la Tierra) es notablemente menor que la anchura del haz de recepción del satélite no OSG. Se considera solamente una estación terrena transmisora no OSG utilizando la misma frecuencia para el cálculo de la interferencia del enlace ascendente (es decir, AMDF supuesto). Sin embargo, para tener en cuenta la situación de traspaso, en el análisis de la interferencia de enlace ascendente a corto plazo se supondrá la presencia de dos estaciones como ésa.
- U4: Véanse los comentarios del dato U3 en relación con la ganancia de antena receptora del satélite OSG máxima en la dirección de la estación terrena del Sistema-1.
- U5: La temperatura de ruido del sistema de recepción con atmósfera despejada del enlace ascendente OSG se supone que es, adoptando un valor conservador, de 500 K. Este valor corresponde a un receptor de satélite con calidad de funcionamiento bastante buena, y con él se desechan, por esa misma posición conservadora, cualesquiera degradaciones causadas en el enlace global imputables al enlace en sentido descendente.

En el Cuadro 2 se da el cálculo, con los valores de los parámetros fundamentales, indicados más arriba de la interferencia del enlace ascendente del caso más desfavorable provocada por un sistema no OSG en cualquier red OSG que utiliza la misma frecuencia.

En el Cuadro 2 se muestran dos columnas para el cálculo; una correspondiente a la condición de atmósfera despejada y otra a la condición de pluviosidad en las que el control de potencia del enlace ascendente provoca el incremento máximo de potencia de transmisión disponible para contrarrestar el desvanecimiento debido a la lluvia. De hecho, el cálculo en condiciones de atmósfera despejada proporciona la evaluación más realista de la situación de interferencia en el enlace en sentido ascendente porque, en condiciones de desvanecimiento debido a la lluvia, se puede suponer además que el trayecto de la señal interferente experimenta un desvanecimiento de aproximadamente el mismo valor que el trayecto de la señal deseada en el Sistema-1. Los niveles de interferencia mostrados en condiciones de lluvia podrían darse también si en la LoS de la estación terrena transmisora del Sistema-1 al satélite OSG no se produjesen atenuaciones estando en cambio la LoS al satélite del Sistema-1 plenamente atenuada. Esa condición es sumamente rara y, si ocurriera alguna vez, su duración sería breve en extremo.

CUADRO 2

Ejemplo de cálculo de la interferencia de enlace ascendente del caso más desfavorable provocada por una estación terrena del Sistema-1 transmisora en un satélite OSG receptor en la banda de frecuencia de 29 GHz

Parámetro	Valor (atmósfera despejada)	Valor (lluvia)	Unidades
Densidad espectral de potencia máxima en la antena de la estación terrena del Sistema-1 en 4 kHz	-21	-11	dB(W/4 kHz)
Ángulo de evitación de la órbita OSG	30	30	grados
Ganancia de la estación terrena transmisora del Sistema-1 hacia el satélite OSG	-4,9	-4,9	dBi
Densidad espectral de p.i.r.e. de la estación terrena transmisora del Sistema-1 hacia el satélite OSG en 4 kHz	-25,9	-15,9	dB(W/4 kHz)
dfp en el satélite OSG en 4 kHz	-188,4	-178,4	dB(W/(m ² · 4 kHz))
Frecuencia	29	29	GHz
Ganancia supuesta del satélite OSG receptor hacia la estación terrena del Sistema-1	44	44	dBi
Abertura efectiva del satélite OSG receptor hacia la estación terrena del Sistema-1	-6,7	-6,7	dBm ²
Potencia de la señal interferente del satélite OSG receptor en 4 kHz	-195,1	-185,1	dB(W/4 kHz)
Densidad espectral de potencia de la señal interferente del satélite OSG receptor (una estación terrena del Sistema-1)	-231,1	-221,1	dB(W/Hz)
Densidad espectral de potencia de la señal interferente del satélite OSG receptor (dos estaciones terrenas del Sistema-1)	-228,1	-218,1	dB(W/Hz)

CUADRO 2 (Fin)

Parámetro	Valor (atmósfera despejada)	Valor (lluvia)	Unidades
Temperatura de ruido del sistema del satélite OSG receptor (supuesta)	500	500	K
Densidad espectral de potencia de ruido del sistema del satélite OSG receptor	-201,6	-201,6	dB(W/Hz)
I_0/N_0 a la entrada del satélite OSG receptor (corto plazo)	-26,5	-16,5	dB
Degradación $\Delta T/T$ del satélite OSG receptor (corto plazo)	0,22	2,2	%

La metodología de cálculo del Cuadro 2 es similar a la aplicada para el enlace descendente (véase el Cuadro 1) y descrita más arriba utilizando los parámetros U1 a U5 anteriores.

Como ya se ha indicado, los valores de $\Delta T/T$ derivados de este análisis serían recibidos sólo a corto plazo (unos 10 s cada 8 ó 6 h, dependiendo del número de satélites del sistema de satélite no OSG, o menos del 0,05% del tiempo). Los valores de I_0/N_0 a largo plazo serían como mínimo 3 dB inferiores porque la estación terrena no OSG sólo estaría transmitiendo a un satélite. Esta reducción de 3 dB daría lugar a unos valores de $\Delta T/T$ de 0,22% para atmósfera despejada y 2,21% cuando se utilizara el control de potencia en situaciones de desvanecimiento debido a la lluvia.

Anexo 4

Ejemplo de aplicación de la metodología del Anexo 2 a esta Recomendación al cálculo de los niveles de interferencia del caso más desfavorable causada por un sistema del SFS no OSG de tipo HEO en redes del SFS OSG en las bandas de frecuencia de 18/28 GHz

1 Sistema no OSG candidato considerado

El sistema del SFS no OSG de tipo HEO que aquí se propone utiliza órbitas geosíncronas elípticas para asegurar una gran separación angular de los satélites activos con respecto a la órbita OSG. El sistema, denominado en adelante Sistema-2, dará servicios fijos por satélite a pequeñas estaciones terrenas tales como las de los terminales VSAT.

El sistema se compone de tres o cuatro satélites que producen trazas repetidas en el suelo. La Fig. 1 muestra una traza subsatelital en el suelo del Sistema-2, indicándose mediante una línea gruesa los arcos de servicio activos. El sistema está concebido de forma que los satélites estén «activos» (es decir transmitiendo o retransmitiendo y recibiendo señales de radiocomunicaciones) únicamente en la trama de la órbita próxima al apogeo, cuando el satélite se desplaza a la velocidad mínima. El «arco activo» para la constelación se produce únicamente cuando los satélites se encuentran en latitudes superiores a 30° N. Debe señalarse que hay momentos en que dos satélites se encuentran en un arco activo (uno en el principio y otro en el final) a fin de realizar actividades de mantenimiento y traspaso. Este diseño del sistema hace que los satélites activos estén separados de la LoS geostacionaria al menos 30° en todo momento. El Sistema-2 logra de esta manera una combinación óptima de ángulos de elevación muy elevados, demoras de propagación de la señal

reducidas en comparación con la de los satélites OSG, traspasos de satélites limitados y separación angular elevada respecto a la órbita OSG.

2 Bandas de frecuencia

Se ha propuesto el funcionamiento del Sistema-2 en la banda de frecuencias de 28 GHz (Tierra-espacio) y en la banda de frecuencias de 18 GHz (espacio-Tierra). Cada satélite del Sistema-2 da canales de comunicación de tipo «guiaondas acodado» en estas bandas.

3 Parámetros fundamentales para el cálculo de la interferencia a redes del SFS OSG en las bandas de frecuencia de 18/28 GHz

Para el tipo de sistemas del SFS no OSG considerado en esta Recomendación, se necesitan los parámetros siguientes para la evaluación de la interferencia en redes del SFS OSG que utilizan la misma frecuencia:

Interferencia de enlace descendente en redes OSG

- D1: Separación angular mínima de los satélites no OSG transmisores activos con respecto a la LoS entre la estación terrena OSG y su satélite OSG asociado (véase la definición de θ_{D-min} en el Anexo 2).
- D2: dfp máxima en la superficie de la Tierra causada por la transmisión desde cada uno de los satélites no OSG de la constelación (véase la definición de $dfp_{D-no\ OSG-max}$ en el Anexo 2).
- D3: Número máximo de satélites no OSG que utilizan la misma frecuencia y transmiten hacia la misma región geográfica de la Tierra así como una indicación del número de dichos satélites en función del porcentaje de tiempo (véase la definición de N_D en el Anexo 2).
- D4: Ganancias máxima y fuera del eje supuestas de la estación terrena receptora OSG (véase la definición de $G_{OSG-ES-max}$ en el Anexo 2). La Recomendación UIT-R S.1428 da algunas orientaciones a este respecto.

Interferencia de enlace ascendente en redes OSG

- U1: Separación angular mínima de la órbita OSG desde la LoS entre la estación terrena no OSG transmisora y su satélite no OSG asociado (véase la definición de θ_{U-min} en el Anexo 2).
- U2: Máxima densidad espectral de p.i.r.e. fuera del eje procedente de la estación terrena no OSG transmisora (véase la definición de $p.i.r.e.no\ OSG-max$ en el Anexo 2).
- U3: Número máximo de estaciones terrenas no OSG transmisoras que utilizan la misma frecuencia dentro de una región geográfica de la Tierra que probablemente reciba un haz de recepción de satélite OSG único (véase la definición de N_U en el Anexo 2).
- U4: Ganancias máxima y fuera del eje supuestas de la antena de recepción del satélite OSG (véase la definición de $G_{OSG-SS-max}$ en el Anexo 2).

4 Cálculo de la interferencia de enlace descendente provocada en las redes OSG

Para el sistema no OSG que aquí se considera, Sistema-2, los valores de los parámetros fundamentales necesarios para el cálculo de esta interferencia, son como sigue:

- D1: La separación angular mínima de los satélites no OSG transmisores activos desde la LoS entre la estación terrena OSG y su satélite OSG asociado no ha de ser nunca inferior a 30°.
- D2: La dfp máxima en la superficie de la Tierra causada por las transmisiones procedentes de cada uno de los satélites no OSG de la constelación no es superior a $-140\ \text{dB}(\text{W}(\text{m}^2 \cdot 4\ \text{kHz}))$.

- D3: El número máximo de satélites no OSG que utilizan la misma frecuencia y transmiten hacia la misma región geográfica de la Tierra es de dos. Esta situación puede darse durante periodos de tiempo muy cortos en los momentos en que se produce el traspaso entre el «crepúsculo» y el «alba» del satélite activo no OSG (los traspasos duran normalmente 10 s cada 8 ó 6 h dependiendo del número de satélites en el sistema de satélite no OSG. Una duración de 10 s es inferior al 0,05% del tiempo.
- D4: Las ganancias máxima y fuera del eje supuestas de la estación terrena receptora OSG hacia los satélites no OSG activos son las que se proponen en la Recomendación UIT-R S.465.

En el Cuadro 3 se calcula la interferencia del caso más desfavorable causada por un sistema no OSG a cualquier red OSG que utiliza la misma frecuencia, utilizando los valores anteriores de los principales parámetros.

El análisis del Cuadro 3 empieza con la dfp de enlace descendente máxima del satélite del Sistema-2, según el elemento de datos D2 anterior. A continuación, sobre la base de un ángulo de evitación orbital OSG de 30° como mínimo, (parámetro D1), la ganancia fuera del eje de la antena de la estación terrena receptora OSG, que se calcula sobre la base de la Recomendación UIT-R S.465 (parámetro D4), se supone que es -7 dBi. El empleo de las ganancias máximas y fuera del eje de la antena permite calcular seguidamente de forma sencilla el valor de la potencia de la señal interferente recibida $dfpe_{\downarrow}$, en una anchura de banda de 4 kHz, desde un único satélite del Sistema-2. Tras calcular ese valor previendo dos satélites del Sistema-2 visibles simultáneamente (valor a corto plazo del caso más desfavorable) y efectuar el ajuste a una anchura de banda de referencia de 40 kHz, puede obtenerse estos niveles de la potencia de señal de interferencia combinada $dfpe_{\downarrow}$ en 40 kHz.

En los puntos anteriores de este Anexo se ha señalado que el análisis anterior sobreestimaría la interferencia real, debido a que los dos satélites interferentes supuestos no estarían situados con el ángulo de separación mínima para una determinada ubicación de estación terrena OSG.

CUADRO 3

Ejemplo de cálculo de la interferencia de enlace descendente del caso más desfavorable (corto plazo) provocada por un Sistema-2 en una estación terrena OSG en la banda de frecuencias de 18 GHz

Parámetro	Unidades	Valor
Máxima dfp del satélite del Sistema-2 en 4 kHz	dB(W/(m ² · 4 kHz))	-140
Ángulo de evitación de la órbita OSG	grados	30
Frecuencia	GHz	18
Ganancia máxima de la estación terrena OSG receptora (1 m)	dBi	43,3
Ganancia de la estación terrena OSG receptora del satélite del Sistema-2	dBi	-4,9
Niveles de $dfpe_{\downarrow}$ de la señal interferente de la estación terrena OSG receptora en 4 kHz	dB(W/(m ² · 4 kHz))	-188,2
Niveles de la $dfpe_{\downarrow}$ de la señal interferente de la estación terrena OSG receptora en 40 kHz	dB(W/(m ² · 40 kHz))	-178,2
Incremento de la interferencia debido a dos satélites del Sistema-2 visibles simultáneamente	dB	3
Niveles de $dfpe_{\downarrow}$ de la señal interferente de la estación terrena OSG receptora en 40 kHz (dos satélites del Sistema-2)	dB(W/(m ² · 40 kHz))	-175,2

5 Cálculo de la interferencia de enlace ascendente provocada en las redes OSG

Para el sistema no OSG que aquí se considera (Sistema-2), los valores de los parámetros fundamentales necesarios para el cálculo de esta interferencia son como sigue:

- U1: La separación angular mínima de la órbita OSG desde la LoS entre la estación terrena no OSG transmisora y su satélite no OSG asociado no es nunca inferior a 30° .
- U2: La densidad espectral de la p.i.r.e. fuera del eje máxima provocada por la estación terrena no OSG transmisora se calcula a partir de la densidad espectral de potencia de entrada máxima (-21 dB(W/4 kHz)) con atmósfera despejada y -11 dB(W/4 kHz) con desvanecimientos por lluvia debido a la utilización del control de potencia del enlace ascendente) y la ganancia fuera del eje máxima de la estación terrena no OSG transmisora en la dirección del arco OSG. Esta última se supone que sigue la Recomendación UIT-R S.465.
- U3: Existe una relación directa entre el número máximo de estaciones terrenas no OSG transmisoras que utilizan la misma frecuencia dentro de una región geográfica de la Tierra que probablemente reciba un único haz de recepción de satélite OSG, y la ganancia de recepción de satélite OSG supuesta hacia la estación terrena del Sistema-2 (véase el parámetro U4). Cuando la anchura del haz de recepción de satélite OSG es inferior a la anchura del haz de recepción de satélite no OSG (medida en la superficie de la Tierra), el número máximo es por lo general uno. Sólo cuando la anchura del haz de recepción del satélite OSG sea superior a la anchura del haz del satélite no OSG habrá la posibilidad de múltiples emisiones que utilicen la misma frecuencia desde los enlaces ascendentes de transmisión no OSG. Sin embargo, en este caso se reducirá la ganancia de cresta del haz de recepción del satélite OSG, con el resultado de una sensibilidad de enlace ascendente menor y niveles más bajos de interferencia no OSG por estación terrena no OSG transmisora. Por consiguiente, el probable escenario del caso más desfavorable es un haz puntual de recepción OSG de ganancia elevada, cuya anchura (medida en la superficie de la Tierra) es notablemente menor que la anchura del haz de recepción del satélite no OSG. Se considera solamente una estación terrena transmisora no OSG utilizando la misma frecuencia para el cálculo de la interferencia del enlace ascendente (es decir, AMDF supuesto). Sin embargo, para tener en cuenta la situación de traspaso, en el análisis de la interferencia de enlace ascendente a corto plazo se supondrá la presencia de dos estaciones como ésa.
- U4: Véanse los comentarios del parámetro U3 en relación con la ganancia de antena receptora del satélite OSG máxima en la dirección de la estación terrena del Sistema-2. También se requiere la ganancia máxima de la antena de recepción del satélite OSG. Para ser conservadores en el cálculo de la interferencia del enlace ascendente se supone que esta ganancia máxima de antena es igual a la ganancia hacia la estación terrena del Sistema-2.

En el Cuadro 4 se da el cálculo, con los valores de los parámetros fundamentales, indicados más arriba de la interferencia del enlace ascendente del caso más desfavorable provocada por un sistema no OSG en cualquier red OSG que utiliza la misma frecuencia. En el Cuadro 4 columnas para el cálculo; una correspondiente a la condición de atmósfera despejada y otra a la se muestran dos condiciones de pluviosidad en las que el control de potencia del enlace ascendente provoca el incremento máximo de potencia de transmisión disponible para contrarrestar el desvanecimiento debido a la lluvia. De hecho, el cálculo en condiciones de atmósfera despejada proporciona la evaluación más realista de la situación de interferencia en el enlace en sentido ascendente porque, en condiciones de desvanecimiento debido a la lluvia, se puede suponer además que el trayecto de la señal interferente experimenta un desvanecimiento de aproximadamente el mismo valor que el trayecto de la señal deseada en el Sistema-2. Los niveles de interferencia mostrados en condiciones de lluvia podrían darse también si en la LoS de la estación terrena transmisora del Sistema-2 al

satélite OSG no se produjesen atenuaciones estando en cambio la LoS al satélite del Sistema-2 plenamente atenuada. Esa condición es sumamente rara y, si ocurriera alguna vez, su duración sería breve en extremo.

CUADRO 4

Ejemplo de cálculo de la interferencia de enlace ascendente del caso más desfavorable provocada por una estación terrena del Sistema-2 transmisora en un satélite OSG receptor en la banda de frecuencias de 28 GHz

Parámetro	Valor (atmósfera despejada)	Valor (lluvia)	Unidades
Densidad espectral de potencia máxima en la antena de la estación terrena del Sistema-2 en 4 kHz	-21	-11	dB(W/4 kHz)
Ángulo de evitación de la órbita OSG	30	30	grados
Ganancia de la estación terrena transmisora del Sistema-2 hacia el satélite OSG	-4,9	-4,9	dBi
Densidad espectral de p.i.r.e. de la estación terrena transmisora del Sistema-2 hacia el satélite OSG en 4 kHz	-25,9	-15,9	dB(W/4 kHz)
dfp en el satélite OSG en 4 kHz	-188,4	-178,4	dB(W/(m ² · 4 kHz))
Frecuencia	28	28	GHz
Ganancia supuesta del satélite OSG receptor hacia la estación terrena del Sistema-2	44	44	dBi
Ganancia máxima del satélite OSG (supuesta)	44	44	dBi
dfpe↑ de la señal interferente del satélite OSG receptor en 4 kHz	-188,4	-178,4	dB(W/(m ² · 4 kHz))
dfpe↑ de la señal interferente del satélite OSG receptor en 40 kHz (una estación terrena del Sistema-2)	-178,4	-168,4	dB(W/(m ² · 40 kHz))
dfpe↑ de la señal interferente del satélite OSG receptor en 40 kHz (dos estaciones terrenas del Sistema-2)	-175,4	-165,4	dB(W/(m ² · 40 kHz))

La metodología de cálculo del Cuadro 4 es similar a la aplicada para el enlace descendente (véase el Cuadro 3) y descrita más arriba utilizando los parámetros U1 a U4 anteriores.

Como ya se ha indicado, los niveles de dfpe↑ derivados de este análisis serían recibidos sólo a corto plazo (unos 10 s cada 8 ó 6 h, dependiendo del número de satélites del sistema de satélite no OSG, o menos del 0,05% del tiempo). Los niveles de dfpe↑ a largo plazo serían como mínimo 3 dB inferiores porque la estación terrena no OSG sólo estaría transmitiendo a un satélite.