

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1592

Metodología para evaluar la conformidad de los sistemas de satélites del servicio fijo por satélite no geoestacionario en órbitas circulares con los límites operacionales adicionales de la densidad de flujo de potencia equivalente de enlace descendente del Artículo 22 del Reglamento de Radiocomunicaciones

(2002)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (Estambul, 2000) (CMR-2000) adoptó, en el Artículo 22 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), límites de la densidad de flujo de potencia equivalente de enlace descendente ($dfpe_{\downarrow}$) radiada por sistemas del servicio fijo por satélite (SFS) no geoestacionario (no OSG) en algunas bandas de frecuencias para proteger a las redes del servicio de radiodifusión por satélite (SRS) y del SFS OSG que funcionan en las mismas bandas de frecuencias;
- b) que el Artículo 22 del RR incluye límites de validación de la $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia en los Cuadros 22-1A a 22-1D del RR, límites operacionales de la $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia en los Cuadros 22-4A, 22-4B y 22-4C del RR y límites operacionales adicionales de la $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia en antenas de ciertos tamaños en el Cuadro 22-4A1, que se aplican a sistemas del SFS no OSG para la protección de redes del SFS OSG;
- c) que la conformidad de un sistema del SFS no OSG propuesto con los límites de validación para una sola fuente de interferencia será evaluada por la Oficina de Radiocomunicaciones (BR), con arreglo a los números 9.35 y 11.31 del RR, basándose en los contornos de dfp proporcionados por el operador del SFS no OSG utilizando el programa informático definido en la Recomendación UIT-R S.1503;
- d) que la conformidad de un sistema del SFS no OSG propuesto con los límites operacionales de la $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia y, en el caso de algunos tamaños de antena, los límites operacionales adicionales de la $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia está sujeta a verificación por las administraciones;
- e) que el Apéndice 4 del RR, modificado por la CMR-2000, exige a la administración responsable de un sistema del SFS no OSG que asegure que se satisfacen los límites operacionales adicionales de la $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia,

reconociendo

- a) que las administraciones con asignaciones a redes del SFS OSG en bandas de frecuencias donde se han establecido límites operacionales adicionales de la $dfpe_{\downarrow}$ necesitan métodos fiables e independientes para determinar si un sistema del SFS no OSG en particular cumple los límites operacionales adicionales de la $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia con respecto a sus redes del SFS OSG,

recomienda

1 que la metodología definida en el Anexo 1 a la presente Recomendación, basada en una completa simulación de los enlaces descendentes de un sistema de satélites del SFS no OSG que interfiere a una estación terrena del SFS OSG en funcionamiento con una antena de 3 m o de 10 m de diámetro, se utilice para evaluar los niveles de interferencia generada por el sistema del SFS no OSG a fin de verificar la conformidad del sistema del SFS no OSG con los límites operacionales adicionales de la $dfpe$ del Artículo 22 del RR;

2 que la metodología descrita en el Anexo 1 a la presente Recomendación, basada en una completa simulación de los enlaces descendentes en un sistema de satélites del SFS no OSG que interfiere a una red del SFS OSG, se utilice por los operadores OSG como orientación para evaluar los niveles de interferencia generada por los sistemas de satélite no OSG a antenas de cualquier diámetro de las redes del SFS OSG previstas o en funcionamiento.

NOTA 1 – El Anexo 2 presenta un método que puede utilizarse para demostrar que se satisfacen los límites operacionales adicionales por un sistema no OSG en funcionamiento que interfiere a una estación terrena OSG del SFS operacional. A diferencia del Anexo 1, que se basa en un método de simulación completa, el Anexo 2 se basa en el método del contorno de dfp adoptado en la Recomendación UIT-R S.1503.

ANEXO 1

**Metodología para evaluar la conformidad con los límites operacionales
adicionales de la interferencia generada por sistemas del SFS
no OSG* que comparten bandas de frecuencias
con redes del SFS OSG**

1 Introducción

Esta metodología se basa en crear modelos de los sistemas de satélites en sus órbitas y permitir a cada estación espacial y estación terrena realizar el seguimiento de sus respectivos objetivos teniendo en cuenta la rotación de la Tierra. Una simulación de este modelo se muestrea a lo largo de un periodo de tiempo a una velocidad de muestreo adecuada y para cada muestra se calcula el producto alcance-ganancia. Este producto puede relacionarse directamente con el nivel de interferencia y los datos muestreados pueden evaluarse a fin de determinar el porcentaje de tiempo durante el cual el producto alcance-ganancia para todos los trayectos de interferencia rebasa un nivel determinado.

* La metodología definida en el Anexo 1 se aplica actualmente únicamente a los sistemas de satélites no OSG que utilizan órbitas circulares. Se necesitan más estudios para las órbitas no circulares.

CUADRO 1

Símbolos y definiciones utilizados en este Anexo

a	Velocidad angular del satélite en coordenadas fijas con respecto a la Tierra	grados/s
B_t	Anchura de banda de transmisión	Hz
$C_{tráfico}$	Coefficiente de tráfico dependiente de la hora local	–
D	Diámetro de la antena	m
E	Argumento de la latitud	grados
$dfpe_{\downarrow}$	Densidad de flujo de potencia equivalente de enlace descendente en la estación terrena	dB(W/m ²) en la anchura de banda de referencia
g	Aceleración debida a la gravedad de la Tierra	M/s ²
G	Constante gravitacional universal (newtoniana)	Nm ² /kg ²
G_t	Ganancia relativa de la antena de transmisión	–
G_r	Ganancia relativa de la antena de recepción	–
G_{rmax}	Máxima ganancia de la antena receptora de la estación terrena del SFS OSG	–
G_{rw}	Máxima ganancia de la antena receptora deseada	–
I	Inclinación de la órbita del satélite	grados
I_0	Potencia de interferencia	W
J_2	Segundo armónico de la constante del potencial de la Tierra	–
k	Constante de Boltzmann	J/K
L_p	Factor de aislamiento por polarización	–
m_s	Masa del satélite	kg
M_e	Masa de la Tierra	kg
N_0	Potencia de ruido	W
N_a	Número de satélites no OSG transmisores visibles desde la estación terrena receptora del SFS OSG	–
N_{grueso}	Relación entera entre el tamaño del paso de tiempo grueso y el paso de tiempo fino para definir simulaciones de doble paso de tiempo	–
$N_{encuentros}$	Número de sucesos de acoplamiento de haz principal a haz principal entre la antena del satélite no OSG y la antena de la estación terrena del SFS OSG	–
P_t	Potencia de radiofrecuencia a la entrada de la antena de transmisión	W
r	Radio de la órbita del satélite	km
r_c	Radio de la célula de la zona de servicio no OSG	km
r_g	Radio de la OSG	km
r_n	Radio de la órbita del satélite no OSG	km
R	Distancia entre el satélite no OSG y la estación terrena del SFS OSG	m
R_e	Radio de una Tierra perfectamente esférica	km
T	Temperatura de ruido del receptor	K

CUADRO 1 (Fin)

T_o	Periodo orbital	s
T_w	Temperatura del ruido del receptor deseada	K
Δt	Incremento de tiempo de la simulación	s
ε	Ángulo de elevación de la estación terrena	grados
φ	Ángulo topocéntrico que define la zona de exclusión para la estrategia de conmutación del satélite no OSG	grados
φ_{grueso}	Ángulo topocéntrico que define el tamaño del paso grueso en la simulación de doble paso de tiempo	grados
φ_{RPF-1}	Ángulo topocéntrico que define la región de paso fino (RPF)	grados
φ_{RPF-2}	Ángulo topocéntrico que define los límites de la zona de exclusión	grados
φ	Ángulo con respecto al eje de puntería de la antena	grados
φ_3	Anchura de haz de la antena a 3 dB	grados
λ	Longitud de onda	m
μ	Constante de atracción de la Tierra	km ³ /s ²
v	Velocidad constante del satélite	grados/s
v_e	Velocidad orbital de la Tierra	grados/m
v_r	Velocidad orbital del satélite no OSG con respecto a la superficie de la Tierra	grados/s
v_n	Velocidad orbital del satélite no OSG	grados/s
ω	Velocidad angular del satélite	grados/s
Ω	Ascensión recta del nodo ascendente (RAAN)	grados
Ω_0	RAAN en el instante t_0	grados
Ω_e	Velocidad angular de rotación de la Tierra	grados/s
Ω_r	Velocidad de precesión de la órbita del satélite	grados/s
ψ	Ángulo de conmutación para evitar el arco OSG	grados
ψ_d	Ángulo de conmutación para evitar el arco OSG deseado en el borde de la célula de la zona de servicio no OSG	grados
ψ_m	Ángulo para evitar el arco OSG que debe modelarse para obtener el ángulo de conmutación deseado en el borde de la célula	grados

2 Parámetros de entrada necesarios

Para aplicar esta metodología es necesario que el operador del sistema no OSG proporcione los siguientes parámetros de entrada. Obsérvese que en ausencia de una información completa de todos estos parámetros esta Recomendación da algunas directrices sobre, por ejemplo, posibles distribuciones de estaciones terrenas del SFS no OSG que deben modelarse en las simulaciones.

2.1 Parámetros orbitales

Número de estaciones espaciales

Número de planos

Para cada plano orbital:

- altitud de la órbita
- inclinación del plano
- longitud del nodo ascendente
- argumento de la latitud de cada estación espacial en el plano orbital.

Precesión.

2.2 Parámetros de antena

Estaciones espaciales no OSG:

- diagrama de radiación de la antena
- máxima ganancia de transmisión (dBi)
- máximo número de haces de antena cofrecuencia y con la misma polarización y su orientación espacial.

Estaciones terrenas no OSG:

- diagrama de radiación de la antena
- máxima ganancia de recepción (dBi)
- emplazamiento (latitud, longitud).

2.3 Parámetros de funcionamiento y de cálculo

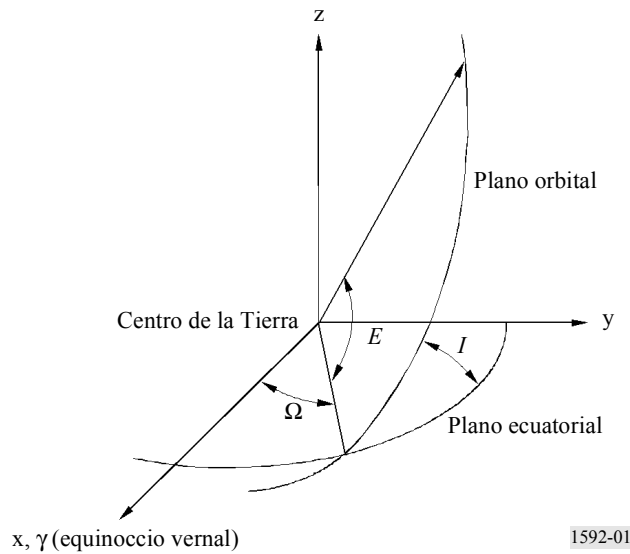
- Plan de reutilización de frecuencias/polarización, si se emplea
- Mínimo ángulo de elevación para las comunicaciones
- Periodo del tiempo de simulación
- Paso del tiempo de simulación
- Aplicación del control de potencia en el enlace descendente sobre el alcance, si se utiliza por el sistema no OSG
- Aplicación de la técnica de evitación del arco OSG, si se utiliza por el sistema no OSG
- Modelo de tráfico, si ha lugar (por ejemplo, véase la Fig. 9).

3 El modelo orbital

En la Fig. 1, cuyo origen es el centro de la Tierra, se representa el modelo orbital que caracteriza los movimientos del satélite en un sistema de coordenadas inerciales geocéntrico. El eje x se encuentra en el plano ecuatorial y apunta hacia el equinoccio vernal (el primer punto en la constelación Aries), el eje z es el eje de rotación medio de la Tierra y apunta hacia el Polo Norte y el eje y viene determinado como el producto vectorial de los vectores unitarios en las direcciones z y x , es decir $\vec{y} = \vec{z} \times \vec{x}$

La extensión del plano ecuatorial al infinito, intersectando una esfera hipotética de radio infinito (la esfera terrestre), define el plano celestial.

FIGURA 1
Representación de los elementos orbitales keplerianos



El modelo orbital se basa en las Leyes del Movimiento de Newton para un satélite en órbita circular en torno a una Tierra perfectamente esférica. Este modelo es fácil de aplicar puesto que el movimiento se caracteriza por un radio orbital del satélite constante, r , y una velocidad constante, v , relacionados mediante la segunda Ley del Movimiento de Newton:

$$\frac{m_s v^2}{r} = \frac{GM_e m_s}{r^2} \quad (1)$$

siendo:

- m_s : masa del satélite
- v : velocidad constante del satélite
- G : constante gravitacional universal (Nm^2/kg^2)
- r : radio de la órbita
- M_e : masa de la Tierra (kg).

La ecuación (1) puede escribirse de la forma:

$$v^2 = \frac{GM_e}{r} = \frac{GM_e}{R_e^2} \cdot \frac{R_e^2}{r} \quad (2)$$

siendo R_e el radio de una Tierra perfectamente esférica (km).

En la superficie de la Tierra,

$$mg = \frac{GM_e m}{R_e^2} \quad (3)$$

siendo g la aceleración debida a la gravedad en la superficie de la Tierra:

$$g = \frac{GM_e}{R_e^2} \quad \text{m/s}^2 \quad (4)$$

y la ecuación (2) puede expresarse de la forma:

$$v = R_e \sqrt{\frac{g}{r}} \quad (5)$$

El periodo orbital, T_o , viene dado por la expresión (Tercera Ley de Kepler):

$$T_o = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{R_e} \sqrt{\frac{r^3}{g}} \quad (6)$$

Estas ecuaciones describen completamente la dinámica de un movimiento orbital circular en torno a una Tierra perfectamente esférica.

El movimiento se caracteriza, en el sistema de coordenadas geocéntrico representado en la Fig. 1, especificando la posición del satélite mediante los parámetros orbitales keplerianos:

- Ω : ascensión recta del nodo ascendente; es decir, donde el satélite se desplaza del sur al norte de la órbita RAAN, medido a lo largo del eje x en el plano ecuatorial (plano x-y);
- I : inclinación de la órbita; es decir, el ángulo formado entre el plano ecuatorial y el plano de la órbita del satélite; y
- E : argumento de la latitud; es decir, el ángulo que forman la línea de nodos (línea determinada por la intersección del plano orbital y el ecuador celestial) y el vector radio en la posición del satélite.

La anomalía verdadera (es decir, el ángulo en el plano de la órbita del satélite entre el perigeo y la posición del satélite, visto desde el centro de la Tierra) es función de la posición angular del satélite en el instante t_0 y de su velocidad angular y puede expresarse de la forma:

$$E = E_0 + \omega t \quad (7)$$

siendo:

- E_0 : posición angular del satélite en el instante t_0 (grados)
- $\omega = v/r$: velocidad angular del satélite (grados/s).

De forma similar, la RAAN de una órbita también puede expresarse en función del tiempo para tener en cuenta la precesión orbital:

$$\Omega = \Omega_0 + \Omega_r t \quad (8)$$

siendo:

- Ω_0 : RAAN del satélite en el instante t_0 (grados)
- Ω_r : velocidad de la precesión orbital del satélite (grados/s):

$$\Omega_r = -\frac{3}{2} J_2 \cos(I) R_e^2 \frac{\sqrt{r\mu}}{r^4} \quad (9)$$

siendo:

- μ : constante de atracción de la Tierra (km^3/s^2)
- J_2 : segundo armónico de la constante del potencial de la Tierra.

La posición del satélite puede representarse en términos del sistema de coordenadas iniciales geocéntrico de la forma siguiente:

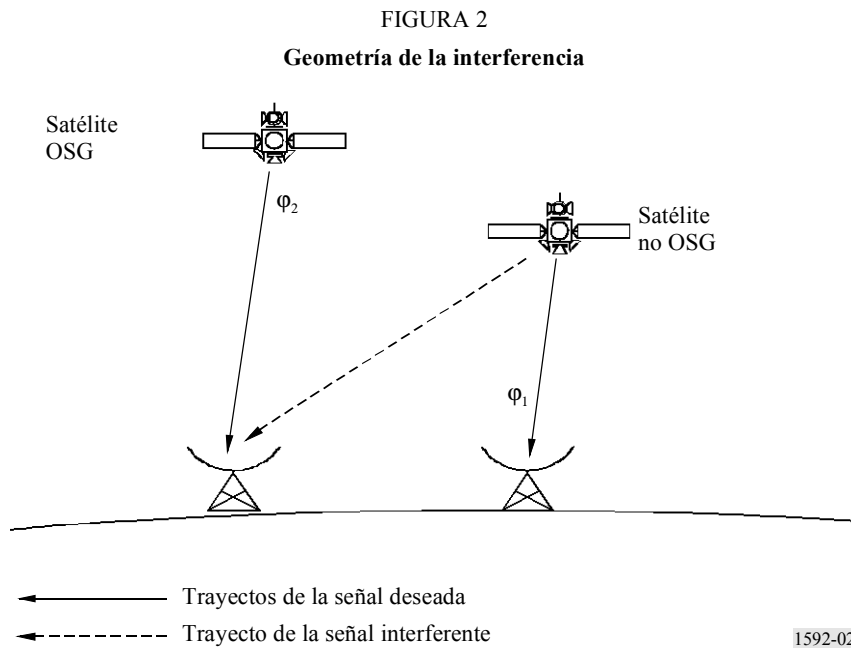
$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = r \begin{bmatrix} \cos \Omega \cos E - \text{sen } \Omega \cos I \text{ sen } E \\ \text{sen } \Omega \cos E + \cos \Omega \cos I \text{ sen } E \\ \text{sen } I \text{ sen } E \end{bmatrix} \quad (10)$$

y la velocidad del satélite se puede representar de forma similar en términos del sistema de coordenadas inerciales geocéntrico, ignorando la variación relativa a largo plazo de Ω , de la forma

$$\begin{bmatrix} dx/dt \\ dy/dt \\ dz/dt \end{bmatrix} = \omega r \begin{bmatrix} -\cos \Omega \text{ sen } E - \text{sen } \Omega \cos I \cos E \\ -\text{sen } \Omega \text{ sen } E + \cos \Omega \cos I \cos E \\ \text{sen } I \cos E \end{bmatrix} \quad (11)$$

4 Cálculo de la interferencia

En esta metodología, la interferencia considerada es la que provoca el enlace descendente de un sistema de satélites del SFS no OSG a las estaciones terrenas receptoras que funcionan con los satélites del SFS OSG. La Fig. 2 ilustra la geometría de los trayectos deseado e interferente.



Si no se utiliza control de potencia, la relación interferencia/ruido, I_0/N_0 , puede determinarse a partir de la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \frac{I_0}{N_0} &= \frac{P_t}{k T B_t} G_t(\varphi_1) G_r(\varphi_2) \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \frac{1}{L_p} \\ &= \frac{P_t}{k T B_t} \frac{\lambda^2}{4\pi} \frac{1}{L_p} \frac{G_t(\varphi_1) G_r(\varphi_2)}{4\pi R^2} \end{aligned} \quad (12)$$

siendo:

- P_t : potencia de transmisión disponible (W)
- T : temperatura de ruido del receptor (K)
- B_t : anchura de banda de transmisión (Hz)
- $G_t(\varphi_1)$: ganancia relativa, expresada como relación numérica, de la antena de transmisión del satélite no OSG
- $G_r(\varphi_2)$: ganancia relativa, expresada como relación numérica, de la antena de recepción de la estación terrena del SFS OSG
- λ : longitud de onda del transmisor (m)
- R : longitud del trayecto de interferencia (m)
- L_p : factor de aislamiento por polarización
- k : constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K).

El producto alcance-ganancia para el enlace descendente del satélite no OSG en el enlace descendente de la estación terrena del satélite OSG viene dado por:

$$\frac{G_t(\varphi_1) G_r(\varphi_2)}{4\pi R^2} \quad (13)$$

Si no existe control de potencia para compensar la longitud del trayecto en los enlaces entre el satélite y la estación terrena, esta expresión incluye todos los elementos de la ecuación (12) que pueden variar en el tiempo. La relación I_0/N_0 se determina entonces multiplicando el producto alcance-ganancia por el factor constante:

$$\frac{P_t}{k T B_t} \frac{\lambda^2}{4\pi} \frac{1}{L_p} \quad (14)$$

Si se utiliza control de potencia en un satélite no OSG para tener en cuenta las diferencias de distancia entre el satélite y la estación terrena, debe tenerse en cuenta este control en la simulación. El satélite de transmisión reduce o aumenta su potencia de transmisión a medida que se desplaza hacia la estación terrena receptora o se aleja de ella para mantener constante la potencia recibida en la estación terrena del SFS no OSG. El parámetro de entrada para la simulación es la densidad de potencia del receptor requerida a la entrada de la antena deseada, P_r (dB(W/Hz)), que puede expresarse de la forma siguiente:

$$P_r = \frac{P_t(R)}{B_t} G_t(0) \left(\frac{\lambda}{4\pi R_w} \right)^2 \quad (15)$$

siendo:

- R_w : longitud del trayecto de la señal deseada; es decir, la distancia entre el satélite y la estación terrena (m)
- $P_t(R)$: potencia transmitida necesaria para establecer el enlace

P_r puede ponerse en función de la relación portadora/ruido en el receptor deseado mediante la expresión:

$$\frac{C_0}{N_0} = \frac{P_r(R) G_{rw}(0)}{k T_w} = \frac{P_t(R)}{B_t} \frac{G_t(0) G_{rw}(0)}{k T_w} \left(\frac{\lambda}{4\pi R_w} \right)^2 \quad (16)$$

siendo:

$G_{rw}(0)$: máxima ganancia de la antena receptora de la estación terrena interferida

T_w : temperatura de ruido del receptor de la estación terrena interferida (K).

Cuando se considera control de potencia en el alcance, el nivel de interferencia viene determinado por la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \frac{I_0}{N_0} &= \frac{P_t(R)}{k T B_t} G_t(\varphi_1) G_r(\varphi_2) \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \frac{1}{L_p} \\ &= P_r \frac{G_t(\varphi_1) G_r(\varphi_2)}{G_t(0)} \left(\frac{R_w}{R} \right)^2 \frac{1}{k T} \frac{1}{L_p} \end{aligned} \quad (17)$$

Para evaluar la interferencia procedente de redes de satélites no OSG con múltiples satélites y estaciones terrenas, la interferencia causada por todos los enlaces descendentes de satélites no OSG debe combinarse para determinar la interferencia total causada a una estación terrena receptora de un satélite OSG. La interferencia puede combinarse en cada paso de tiempo en la simulación o combinando los datos procedentes de un conjunto de simulaciones distintas.

La $dfpe$ de la interferencia causada por un satélite no OSG a una estación terrena receptora del SFS OSG, $dfpe_{\downarrow}$, se define como la suma de las dfp interferente producidas en la estación receptora del sistema interferido por todas las estaciones transmisoras del sistema no OSG interferente, teniendo en cuenta la discriminación fuera del eje de la orientación de la antena receptora en su dirección nominal:

$$dfpe_{\downarrow} = 10 \log \left(\sum_{i=1}^{N_a} 10^{P_i/10} \frac{G_t(\varphi_{1i})}{4\pi R_i^2} \frac{G_r(\varphi_{2i})}{G_{r_{máx}}} \right) \quad (18)$$

siendo:

$dfpe_{\downarrow}$: densidad de flujo de potencia equivalente (dB(W/m²) en la anchura de banda de referencia)

N_a : número de estaciones transmisoras en el sistema de satélites no OSG interferente que son visibles desde la estación terrena receptora del sistema OSG interferido

i : índice de la estación transmisora considerada en el sistema de satélites no OSG interferente

P_i : potencia de radiofrecuencia a la entrada de la antena de la estación espacial transmisora en el sistema de satélites no OSG (dBW en la anchura de banda de referencia)

$G_t(\varphi_{1i})$: ganancia relativa de la antena de transmisión de la i -ésima estación espacial transmisora del sistema de satélites no OSG

$G_r(\varphi_{2i})$: ganancia relativa de la antena de recepción de la estación terrena del SFS en dirección de la i -ésima estación transmisora del sistema de satélites no OSG

- $G_{r_{m\acute{a}x}}$: máxima ganancia de la antena de la estación terrena receptora del SFS OSG
- φ_{1i} : ángulo con respecto al eje de puntería de la antena de la i -ésima estación transmisora del sistema de satélites no OSG en dirección de la estación terrena receptora del SFS OSG
- φ_{2i} : ángulo con respecto al eje de puntería de la antena de la estación terrena receptora del SFS OSG en dirección de la i -ésima estación transmisora del sistema de satélites no OSG
- R_i : distancia entre la i -ésima estación transmisora del sistema de satélites no OSG y la estación terrena receptora del SFS OSG.

En términos lineales, esto puede expresarse de la forma siguiente:

$$10^{dfpe_{\downarrow}/10} = \sum_i P_i \frac{G_t(\varphi_{1i})}{4\pi R_i^2} \frac{G_r(\varphi_{2i})}{G_{r_{m\acute{a}x}}} \quad (19)$$

y expresando la potencia de transmisión de la i -ésima estación transmisora P_{ti} en W, la ecuación se convierte en:

$$10^{dfpe_{\downarrow}/10} = \sum_i \frac{P_{ti}}{B_t} \frac{G_t(\varphi_{1i})}{4\pi R_i^2} \frac{G_r(\varphi_{2i})}{G_{r_{m\acute{a}x}}} \quad (20)$$

siendo:

B_t : anchura de banda de referencia de transmisión (Hz).

Introduciendo la ecuación (12) en esta expresión se obtiene:

$$dfpe_{\downarrow} = 10 \log \sum_i \frac{I_0/N_0}{\left(G_{r_{m\acute{a}x}} \frac{\lambda^2}{4\pi} \frac{1}{k} \frac{1}{T} \frac{1}{L_p} \right)} \quad (21)$$

que puede expresarse de forma logarítmica como:

$$dfpe_{\downarrow} = 10 \log \left(\sum_i \frac{I_0}{N_0} \right) - \frac{G_{r_{m\acute{a}x}}}{T} - 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right) + 10 \log L_p + 10 \log k \quad \text{dB(W/m}^2 \cdot \text{Hz)} \quad (22)$$

5 Elementos de la simulación

5.1 Emplazamiento de la estación terrena del SFS no OSG

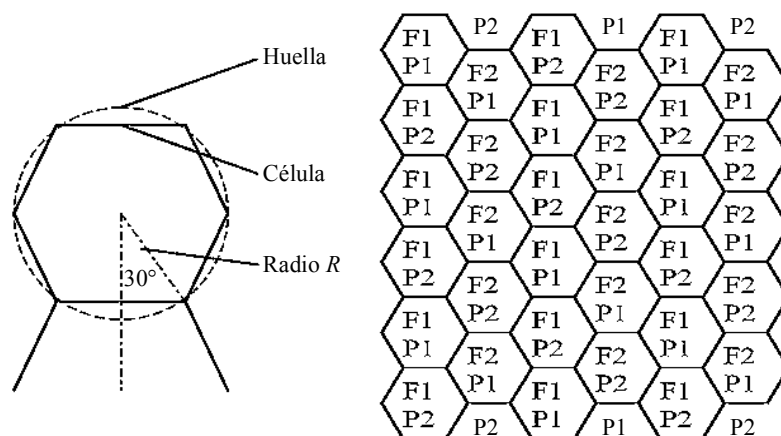
La identificación de los haces utilizados en un emplazamiento e instante determinados de un satélite no OSG depende de la estrategia de conmutación y de la ubicación de las estaciones terrenas del SFS no OSG. En este punto se consideran los métodos para determinar los emplazamientos de las estaciones terrenas del SFS no OSG y en el § 5.2 se describen las estrategias de conmutación.

La simulación exige conocer el número y el emplazamiento geográfico de las estaciones terrenas del SFS no OSG sobre la superficie de la Tierra que pueden funcionar en modo cofrecuencia y con la misma polarización. Si se conocen los emplazamientos exactos de todas las estaciones terrenas del SFS no OSG, la simulación debe utilizar estos emplazamientos pues constituyen la configuración más precisa del sistema no OSG. Sin embargo, en muchos casos puede que no se disponga de esta información y será necesario realizar las hipótesis adecuadas.

Si se establece un modelo para cada estación terrena del SFS no OSG cuyo enlace descendente puede interferir con el enlace descendente de una estación terrena del SFS OSG interferida determinada, el tiempo de ejecución de la simulación puede ser excesivo y en muchos casos será posible limitar el número de estaciones terrenas del SFS no OSG incluidas en el modelo, reduciendo de esa forma notablemente el tiempo de ejecución de la simulación sin que se produzca una pérdida de precisión significativa en las estadísticas calculadas de la $dfpe_{\downarrow}$. En muchos casos, los enlaces descendentes de las estaciones terrenas del SFS no OSG más próximas a la estación terrena del SFS OSG interferida aportarán la mayor contribución a la $dfpe_{\downarrow}$, mientras que las contribuciones de los enlaces descendentes de otras estaciones terrenas del SFS no OSG serán progresivamente más pequeñas a medida que aumente su distancia desde la estación terrena del SFS OSG interferida. Un método de minimizar el tiempo necesario para efectuar una simulación definitiva es realizar una breve ejecución inicial con un número limitado de estaciones terrenas del SFS no OSG situadas simétricamente en torno a la estación terrena interferida y a continuación añadir un anillo concéntrico de estaciones terrenas del SFS no OSG y llevar a cabo otra ejecución breve. Ese proceso se repite hasta que las estadísticas de $dfpe_{\downarrow}$ producidas por ejecuciones breves sucesivas no aumente significativamente. El modelo resultante puede utilizarse para la simulación definitiva.

Si no se dispone de información sobre los emplazamientos exactos de las estaciones terrenas del SFS no OSG debe utilizarse en primera aproximación una distribución uniforme basada en el conocimiento del tamaño de la célula o la huella de la zona de servicio y de la distancia entre los centros de las células adyacentes en el sistema del SFS no OSG. Como ejemplo, un sistema con un patrón de reutilización de frecuencias/polarización de 4 células tendría unas células hexagonales como las representadas de forma esquemática en la Fig. 3, donde F1, F2 y P1, P2 se refieren a dos frecuencias y polarizaciones distintas. En tal esquema, ninguna de las células adyacentes tendría la misma frecuencia y polarización.

FIGURA 3
Configuración de células hexagonales para un esquema de reutilización de frecuencias/polarización de 4 células



1592-03

Si el radio de la huella es R , la distancia entre estaciones situadas en el centro de cada huella, que puede utilizarse en la simulación para definir los emplazamientos de la huella, es $2R \cos 30^\circ$.

A fin de asegurar la determinación más precisa posible de $df_{pe\downarrow}$ para comparación con los límites operacionales adicionales, debe establecerse un modelo del esquema de frecuencia/polarización utilizando el apropiado factor de aislamiento por polarización, L_p . Cuando el sistema del SFS no OSG utiliza polarización circular, empleando de forma alternativa polarización circular dextrógira y polarización circular levógira, y el sistema del SFS OSG utiliza polarización lineal, horizontal o vertical, la simulación puede simplificarse sin pérdida de precisión modelando únicamente una polarización circular, la dextrógira o la levógira, puesto que el aislamiento por polarización con respecto a la polarización lineal será idéntico tanto en la circular dextrógira como en la circular levógira.

5.2 Estrategias de seguimiento

5.2.1 Evitación del arco OSG

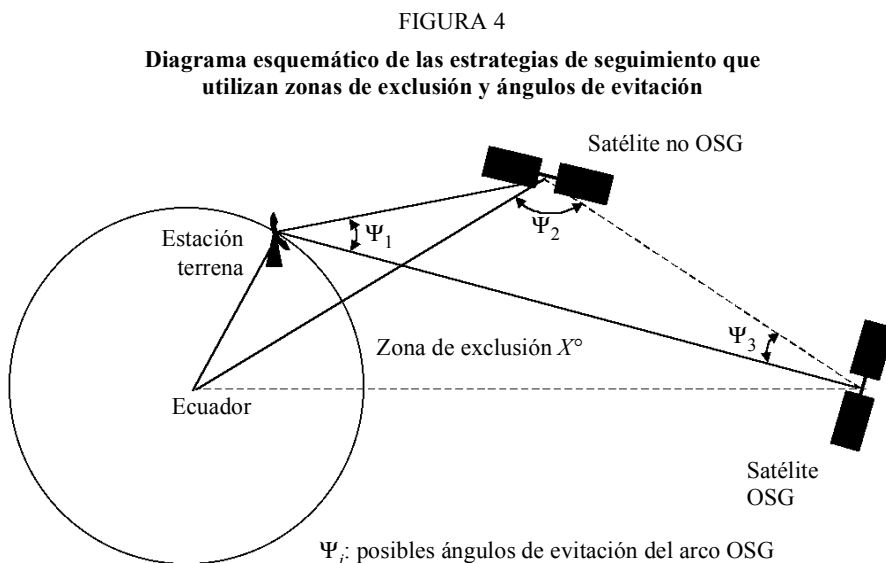
Algunos sistemas no OSG han sido diseñados para reutilizar las bandas de frecuencias que ya están siendo intensamente empleadas por sistemas OSG y esta reutilización de frecuencias es posible mediante la explotación de varias técnicas algunas de las cuales se describen en este punto.

5.2.1.1 Evitación del arco OSG basada en la latitud

Para minimizar los niveles de interferencia, algunos sistemas utilizan una técnica que impide el acoplamiento entre el haz principal de las antenas del satélite y el haz principal de la antena de la estación terrena del SFS OSG. Una zona de exclusión viene definida por un ángulo $\pm X^\circ$ en torno al Ecuador y cuando un satélite no OSG entra en la zona de exclusión, el tráfico del haz donde hay acoplamiento del haz principal se traspa a otro satélite que no se encuentre en esa zona.

Además, los sistemas han sido diseñados de tal forma que existe un ángulo mínimo, en la estación terrena o en el espacio, de al menos ψ° entre el satélite OSG y un satélite no OSG cuyo tráfico se desvía a otros satélites no OSG.

Estas técnicas aparecen ilustradas en la Fig. 4.



5.2.1.2 Evitación del arco OSG basada en el ángulo entre el satélite no OSG y el arco OSG

La protección del arco OSG realizada por unos sistemas consiste en conmutar los haces cuando la separación angular entre el arco OSG y un satélite no OSG es inferior a ψ° , visto desde cualquier punto de la Tierra dentro de una zona de servicio. El valor de ψ depende del sistema, pero para un ángulo de evitación del arco basado en la Tierra se supone normalmente que es de 10° .

Es importante señalar que cuando se define una huella no OSG mediante un haz de seguimiento desde el satélite no OSG a una estación terrena en su centro, el ángulo de conmutación ψ aparecerá en primer lugar para una estación terrena del SFS OSG en el borde posterior del haz en el plano del movimiento del satélite con respecto a la Tierra. El ángulo de evitación del arco OSG real que debe utilizarse en la simulación debe entonces modificarse para tener en cuenta esta circunstancia a fin de asegurar que todos los puntos dentro de la zona de servicio del haz definida por la huella resultan protegidos. La geometría se ilustra en las Figs. 5 y 6 donde el ángulo de conmutación requerido en el borde de la zona de servicio del haz se denomina ψ_d y el ángulo de conmutación en el centro del haz para lograr este valor es ψ_m . En estas Figuras, se supone el caso más desfavorable; es decir, cuando la traza que deja en la tierra el satélite no OSG pasa exactamente por el centro de la huella del haz correspondiente.

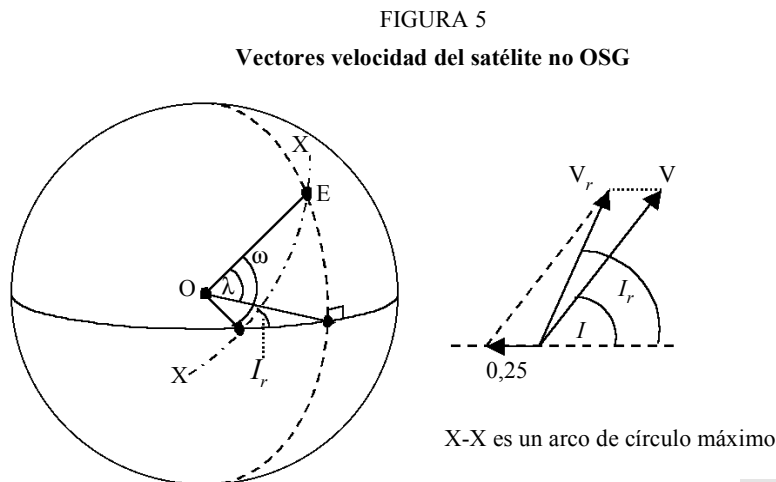
La velocidad orbital de un satélite no OSG, v_n , se define en términos de su periodo orbital, T_n (min), como $v_n = 360/T_n$ grados/min siendo T_n el valor dado por la ecuación (6) con un radio orbital de r_n . Si la inclinación orbital es I , la velocidad relativa con respecto a la superficie de la Tierra viene dada por:

$$v_r = \sqrt{(v_n^2 + v_e^2 - 2v_n v_e \cos I)} \tag{23}$$

siendo v_e la velocidad orbital de la Tierra (grados/m). El ángulo I_r de la Fig. 5 es:

$$I_r = I + \arcsen\left(\frac{v_e}{v_r} \sen I\right) \tag{24}$$

Como $\frac{\sen I_r}{\sen \lambda} = \frac{\sen 90}{\sen \omega}$, $\omega = \arcsen\left(\frac{\sen \lambda}{\sen I_r}\right)$, siendo λ la latitud.

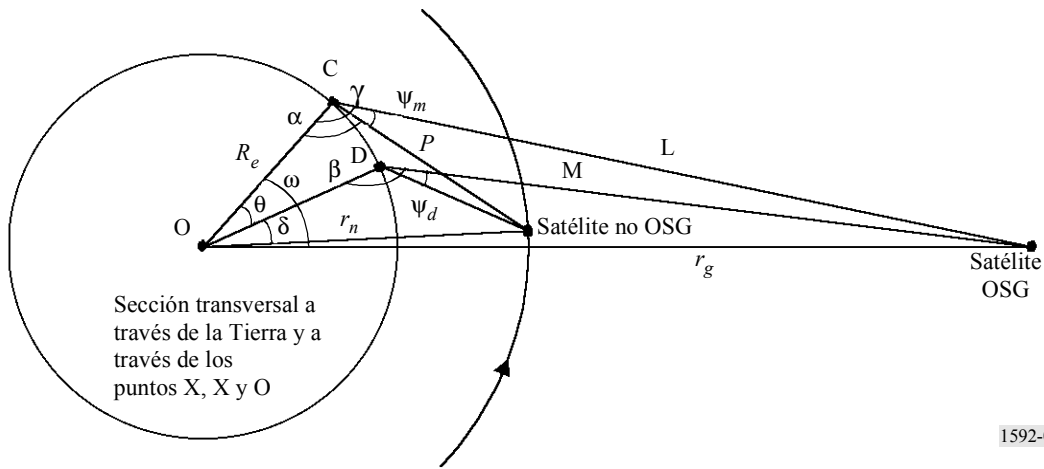


En la Fig. 6, C es el centro del haz y D se encuentra en el borde del haz. El arco CD define el radio de la zona de servicio del haz de la célula, r_c , y el ángulo $\theta = r_c / R_e$ (rad). La distancia L desde el satélite OSG al centro del haz viene dada por la expresión:

$$L = \sqrt{(r_g^2 + R_e^2 - 2r_g R_e \cos \omega)} \quad (25)$$

siendo r_g el radio de la órbita de los satélites OSG (42 162 km).

FIGURA 6
Geometría de la evitación del arco OSG



La distancia M desde el satélite OSG hasta el borde de la zona de servicio del haz, es:

$$M = \sqrt{(r_g^2 + R_e^2 - 2r_g R_e \cos(\omega - \theta))} \quad (26)$$

y la distancia P desde el satélite no OSG hasta el centro del haz viene dada por la siguiente expresión:

$$P = \sqrt{(r_n^2 + R_e^2 - 2r_n R_e \cos(\theta + \delta))} \quad (27)$$

El ángulo δ se determina a partir de la regla del seno:

$$\delta = 180 - (\beta - \psi_d) - \arcsen\left(\frac{R_e}{r_n} \sin(180 - \beta + \psi_d)\right) \quad (28)$$

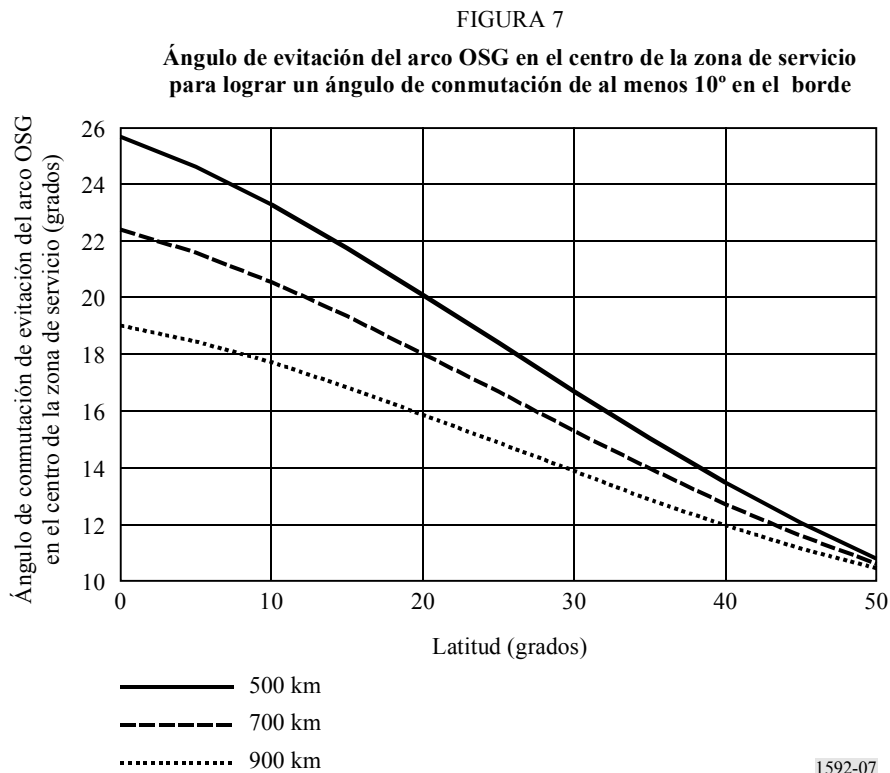
siendo ψ_d el ángulo de evitación del arco OSG en el borde de la zona de servicio del haz y β viene dado por la expresión:

$$\beta = 180 - \arcsen\left(\frac{r_g}{M} \sin(\omega - \theta)\right) \quad (29)$$

El ángulo de conmutación en el centro de la zona de servicio del haz, ψ_m , para lograr un ángulo de conmutación de ψ_d en el borde de la zona de servicio del haz puede obtenerse a partir de la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}\psi_m &= \gamma - \alpha \\ &= \arcsen\left(\frac{r_n}{P} \sin(\theta + \delta)\right) - \arcsen\left(\frac{R_e}{L} \sin \omega\right)\end{aligned}\quad (30)$$

Como ejemplo, para lograr un ángulo de conmutación de evitación del arco OSG de 10° en el borde de una zona de servicio del haz, la Fig. 7 muestra el ángulo de conmutación que debe incluirse en la simulación, para los enlaces no OSG al centro de la zona de servicio, en función de la latitud para distintos diámetros de la zona de servicio.



Cabe señalar que son necesarios más estudios para determinar los ángulos de evitación óptimos en el caso de satélites no OSG que utilizan haces sin seguimiento.

5.2.2 Selección del satélite no OSG

Existen diversas estrategias de selección del satélite que pueden utilizar los sistemas de satélites no OSG y la elección de dicha estrategia puede afectar los niveles de interferencia a medio y largo plazo. Los sistemas no OSG pueden emplear distintas estrategias de selección para reducir la interferencia causada a otros sistemas y algunas de estas estrategias se resumen en los puntos siguientes. Si se dispone, la selección del satélite operacional puede utilizarse para proporcionar una simulación adecuada de la interferencia real generada por el sistema no OSG en funcionamiento.

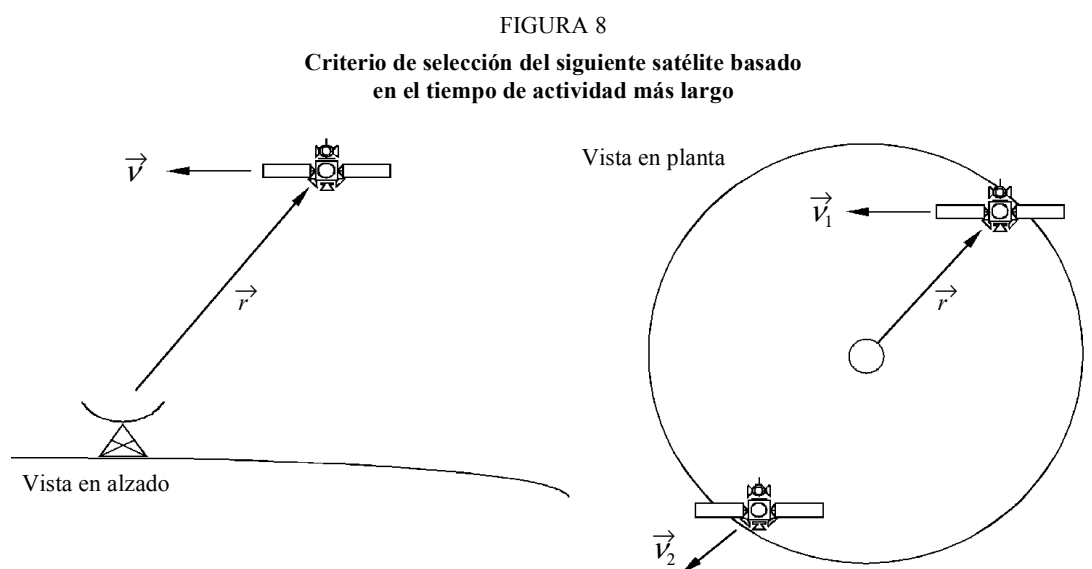
5.2.2.1 Selección del satélite basada en el periodo de visibilidad más largo (tiempo de actividad)

Esta estrategia se basa en el establecimiento de un enlace con el satélite que será visible a una estación terrena del SFS no OSG por encima de un determinado ángulo de elevación durante el periodo de visibilidad más largo (tiempo de actividad), y minimiza el número de transferencias en el

flujo de datos. Si un sistema de satélites está diseñado para que existan múltiples satélites visibles a las estaciones terrenas durante amplios periodos de tiempo, puede imponerse una limitación adicional para optimizar la evitación de la interferencia o la diversidad.

Una vez establecido el enlace de comunicaciones, una estación terrena del SFS no OSG realizará el seguimiento del satélite correspondiente y cuando éste se desplace más allá del mínimo ángulo de elevación, debe conectarse al siguiente satélite antes del siguiente paso de tiempo de simulación. Si puede conectarse a más de un satélite en el siguiente paso de tiempo, el algoritmo para seleccionar el siguiente satélite se basa en el vector determinado por la estación terrena y el posible satélite y en el vector unitario en dirección de la velocidad del satélite, \vec{v} . El criterio de selección debe ser tal que minimice el producto escalar de \vec{r} y \vec{v} , es decir $\vec{r} \cdot \vec{v}$ mínimo para todos los satélites por encima del ángulo mínimo de elevación.

Esta estrategia de selección se ilustra en la Fig. 8 que muestra una representación en alzado del vector velocidad del satélite, denominado, \vec{v}_1 dirigido hacia la estación terrena. El producto escalar es negativo, de forma que se elige el satélite número 1 entre el resto de satélites.



1592-08

5.2.2.2 Selección del satélite basada en el ángulo de elevación más alto

La estrategia requerirá un mayor número de transferencias que la que se basa en el tiempo de actividad más largo, pero puede utilizarse para mejorar la calidad de funcionamiento del enlace en el caso de sistemas SFS no OSG. Los satélites activos se seleccionan de manera que tengan el mayor ángulo de elevación observado desde una estación terrena del SFS no OSG junto con un transpondedor disponible. Existen dos posibles técnicas de traspaso para el mayor ángulo de elevación:

- el satélite con mayor ángulo de elevación siempre se selecciona como el satélite activo;
- el satélite con la mayor elevación se selecciona una vez que el satélite activo cae por debajo de un mínimo ángulo de elevación.

Cuando se aplica diversidad de satélites, debe realizarse la misma selección en el número de satélites que necesita el esquema de diversidad. El siguiente satélite seleccionado debe ser el segundo con mayor elevación, el tercer satélite debe ser el tercero con mayor elevación, etc.

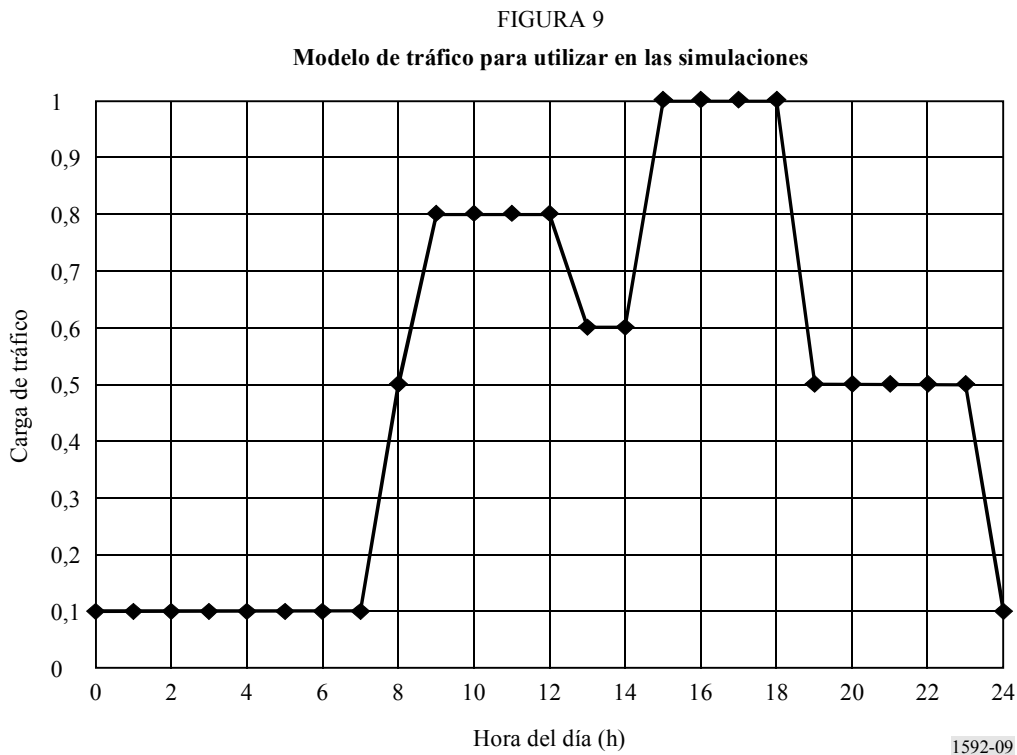
5.2.2.3 Selección del satélite basada en el mayor ángulo de separación con respecto al arco OSG

Los sistemas del SFS no OSG pueden seleccionar satélites basándose en el mayor ángulo de separación con respecto al ángulo de observación del arco OSG. Ello reduce el nivel de interferencia generada por los satélites no OSG a las estaciones terrenas del SFS OSG, pero puede dar lugar a un comportamiento del enlace del SFS no OSG muy inferior al óptimo y exigir un mayor número de transferencias.

5.3 Tráfico

La naturaleza variable en el tiempo de la interferencia generada por un sistema no OSG a una red OSG debe modelarse, cuando sea necesario, para obtener una evaluación precisa de los niveles de df_{pe} con objeto de compararlos con los límites operacionales adicionales. La variación de tráfico es función de la hora local del día en la estación terrena del SFS no OSG. Para sistemas que utilizan esquemas de acceso múltiple por división de código (AMDC), la potencia de transmisión por portadora del sistema SFS no OSG variará en función de la carga de tráfico sobre una portadora específica y, en consecuencia, la potencia transmitida por portadora variará en las distintas horas del día, de acuerdo con la demanda de tráfico.

Si se conoce el modelo de tráfico para el sistema del SFS no OSG que se va a evaluar, debe utilizarse en la simulación. Si no se conoce, puede utilizarse el modelo de referencia ilustrado en la Fig. 9.



El coeficiente de tráfico se tiene en cuenta en la máxima potencia de transmisión:

$$P_t = P_{\text{máx}} C_{\text{tráfico}} \quad (31)$$

siendo:

P_t : potencia de transmisión (W)

$P_{m\acute{a}x}$: máxima potencia transmitida (W)

$C_{tr\acute{a}fico}$: coeficiente de tráfico dependiente de la hora local.

El coeficiente de tráfico sólo es aplicable al AMDC.

5.4 Emplazamientos de la estación OSG

Esta Recomendación tiene por objeto evaluar los niveles de $dfpe_{\downarrow}$ generados por un sistema del SFS no OSG en antenas receptoras de 3 m y 10 m de diámetro de estaciones terrenas de redes del SFS OSG, para poder verificar la conformidad con los límites operacionales adicionales de la red del SFS OSG específica considerada. Los emplazamientos del satélite del SFS OSG y sus estaciones terrenas, y por consiguiente los ángulos de orientación de la antena de la estación terrena en dirección al satélite OSG, deben por tanto basarse en los parámetros reales de dicha red OSG operacional en particular.

5.5 Parámetros de antena

5.5.1 Parámetros de antena de la estación terrena del SFS OSG

Si se dispone, deben utilizarse en la simulación los diagramas de radiación reales de las antenas de 3 m y 10 m de la estación terrena del SFS OSG. El diagrama de radiación del lóbulo principal debe obtenerse mediante mediciones o a partir de los datos del fabricante para una estación terrena típica de la misma clase. La gama en la que se especifica el diagrama debe llegar al menos hasta un nivel de ganancia de $-20,75$ dB para una antena de 3 m de diámetro y hasta un nivel de ganancia de -19 dB para una antena de 10 m de diámetro. Los datos deben modelarse mediante aproximación polinómica para obtener una precisión superior a $0,1$ dB en los puntos de 0 , -5 , -10 , -15 y -20 dB. Deben utilizarse los datos para la frecuencia de funcionamiento real de la antena del SFS OSG.

En ausencia de los diagramas reales de radiación de antena, puede utilizarse el diagrama de radiación de referencia de la Recomendación UIT-R S.1428, que ha sido elaborado específicamente para estos estudios.

5.5.2 Parámetros de la antena del satélite no OSG

Las antenas de múltiples haces de los satélites no OSG deben modelarse utilizando los diagramas de radiación de antena medidos, si están disponibles, los diagramas de radiación de antena de referencia propuestos, por ejemplo, en la notificación o en la Recomendación UIT-R S.1328 o una función analítica que cree un modelo del lóbulo lateral de la antena del satélite no OSG.

5.5.3 Parámetros de la antena del satélite OSG

Puede que sea necesario crear un modelo de la antena del satélite OSG cuando se utiliza un enlace descendente del SFS OSG para definir el acimut y la elevación de la antena de la estación terrena del SFS OSG. En este caso, puede utilizarse el diagrama de radiación de la antena de referencia que figura en la Recomendación UIT-R S.672.

5.6 Tiempo de simulación e incremento del tiempo de simulación

Para obtener unos resultados precisos, el incremento del tiempo de simulación debe ser lo más breve posible manteniendo a la vez un tiempo de ejecución total de la simulación razonable.

Para sistemas del SFS no OSG con trazas en el suelo que se repiten, el tiempo de ejecución de la simulación debe cubrir al menos un periodo de traza en el suelo completo y para todos los sistemas del SFS no OSG el tiempo de ejecución debe ser lo suficientemente amplio como para obtener estadísticas acumulativas fiables sobre los niveles df_{pe} rebasados en porcentajes de tiempo inferiores al más pequeño especificado para los límites operacionales adicionales relativos a la antena sometida a prueba.

La estimación del incremento del tiempo de simulación adecuado o paso de tiempo puede obtenerse conociendo la velocidad angular del satélite no OSG y la anchura a potencia mitad del haz más estrecho correspondiente, junto con una hipótesis sobre el número de sucesos de acoplamiento de haz principal a haz principal (o «encuentros») que se necesita modelar.

La velocidad angular del satélite, a , expresada en coordenadas fijas con respecto a la Tierra (es decir, el sistema de coordenadas de referencia geosíncrono geocéntrico), es función de los parámetros orbitales de Kepler y de la velocidad angular del satélite, ω , expresada en coordenadas con respecto al espacio (es decir, el sistema de coordenadas de referencia heliosíncrono geocéntrico):

$$a = \sqrt{(\omega \cos I - \Omega_e)^2 + (\omega \sin I)^2} \quad (32)$$

siendo:

Ω_e : velocidad angular de rotación de la Tierra en el ecuador ($\cong 7,29 \times 10^{-5}$ rad/s).

El ángulo geocéntrico formado entre la estación terrena interferida y el punto subsatelital del satélite no OSG cuando se encuentra en el eje del haz principal de la estación terrena, θ_ε , viene dado por:

$$\theta_\varepsilon = \arccos\left(\frac{R_e}{r_n} \cos \varepsilon\right) \quad (33)$$

siendo:

ε : ángulo de elevación de la estación terrena.

El incremento de tiempo de simulación, Δt , para lograr un número determinado de encuentros puede obtenerse a partir de la siguiente expresión:

$$\Delta t = \frac{\varphi_3}{aN_{encuentros}} \frac{\sin \theta_\varepsilon}{\cos \varepsilon} \quad (34)$$

siendo:

φ_3 : anchura de haz a 3 dB de la antena de la estación terrena

$N_{encuentros}$: número de encuentros en la anchura de haz a 3 dB de la antena de la estación terrena interferida ($N_{encuentros} = 5$).

Puede que sea conveniente utilizar dos tamaños del paso de tiempo para disminuir el tiempo total de ejecución de la simulación, ya que para valores muy pequeños de las anchuras de haz de la antena, el incremento de tiempo puede ser muy pequeño para lograr el número necesario de encuentros en el haz principal lo que exige un tiempo de ejecución excesivo. Para solventar este problema, puede utilizarse un doble paso de tiempo a fin de disminuir la varianza y la duración global de la simulación.

Para el método de doble paso, debe utilizarse el paso de tiempo determinado por la ecuación (34) y se denomina tamaño de paso fino. Este tamaño del paso depende de la anchura de haz de la antena y debe emplearse en la simulación cuando el satélite no OSG se encuentra próximo a las regiones de máxima $df_{pe\downarrow}$, es decir, próximo al haz principal de una estación terrena o al borde de la zona de exclusión. Como los satélites no OSG permanecen mayores porcentajes de tiempo en regiones muy alejadas del eje del haz principal de la estación terrena del SFS OSG, más allá del primer lóbulo lateral, que dentro del haz principal de la estación terrena del SFS OSG y dado también que la $df_{pe\downarrow}$ no cambia tan rápidamente con la posición del satélite cuando se encuentra más allá del primer lóbulo lateral, puede utilizarse un tamaño de paso grueso, que se define como un ángulo topocéntrico, $\varphi_{grueso} = 1,5^\circ$ y puede emplearse para todos los tamaños de antena.

Existen dos regiones donde debe emplearse un tamaño de paso fino:

- Cuando un satélite no OSG se encuentra próximo al haz principal de la estación terrena del SFS OSG, la RPF se define como un ángulo topocéntrico fijo con respecto al eje del haz de la estación terrena del SFS OSG y el borde de la región del primer lóbulo lateral se fija al valor de φ_r del diagrama de radiación de la antena de la estación terrena del SFS OSG, para las antenas de 3 m y 10 m de diámetro:

$$\varphi_1 = \varphi_r = 15,85 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{-0,6} \quad (35)$$

El ángulo con respecto al eje de puntería para la RPF se define como el mayor valor entre $3,5^\circ$ o φ_1 :

$$\varphi_{RPF-1} = \max(3,5^\circ; \varphi_1) \quad (36)$$

- Cuando un satélite no OSG está próximo a la zona de exclusión, la RPF medida a partir del límite de la zona de exclusión viene definida por:

$$\varphi_{RPF-2} = \varphi_{grueso} \quad (37)$$

El tamaño del paso grueso debe ser un múltiplo entero del tamaño del paso fino, a efectos estadísticos. Como el tamaño del paso grueso es constante, la relación entre pasos gruesos y pasos finos depende únicamente de la anchura de haz de la antena de la estación terrena del SFS OSG, φ_3 , y del número de encuentros que deben modelarse. Esta relación se define mediante el cociente:

$$N_{grueso} = \text{cociente} \left(\frac{N_{encuentros} \varphi_{grueso}}{\varphi_3} \right) \quad (38)$$

Con esto se obtiene una relación conservadora entre pasos finos y pasos gruesos para asegurar que un paso grueso nunca es mayor que el tamaño topocéntrico del objetivo de $1,5^\circ$. Como esta relación depende de la anchura de haz de la antena de la estación terrena, ϕ_3 , el ahorro de tiempo aumenta a medida que disminuye la anchura de haz, lo cual es muy conveniente porque las simulaciones con haces de antena estrechos exigirán tiempos de ejecución mayores.

Si un satélite no OSG se encuentra en la RPF, es decir, dentro del ϕ_{RPF-1} del haz principal de la estación terrena del SFS OSG o dentro del ϕ_{RPF-2} de la zona de exclusión, en la simulación debe utilizarse el tamaño de paso fino. Para el resto de regiones del espacio donde un satélite no OSG está fuera de cualquiera de estas dos regiones, el tamaño del paso grueso se determina multiplicando el tamaño del paso fino por N_{grueso} .

ANEXO 2

Método del contorno operacional

1 Introducción

En la CMR-2000 se adoptó un conjunto de tres límites de dfpe para una sola fuente de interferencia y se incluyeron en el Artículo 22 del RR. Dicho conjunto se compone de los límites de validación, los límites operacionales y los límites operacionales adicionales. Los límites de validación deben ser verificados por la BR con la ayuda de un programa informático de validación cuyas especificaciones figuran en la Recomendación UIT-R S.1503. Los límites operacionales deben medirse siguiendo las directrices que aparecen en la Recomendación UIT-R S.1558. Con respecto a los límites operacionales adicionales, la Resolución 137 (CMR-2000) invita al UIT-R a que elabore metodologías para evaluar los niveles de interferencia (a través de simulación de los límites operacionales adicionales) que podrían producir los sistemas del SFS no OSG en las bandas de frecuencias especificadas en los Cuadros 22-4A, 22-4A1, 22-4B y 22-4C del RR, metodologías que podrían utilizarse para verificar la observancia de los límites operacionales adicionales.

Como primera respuesta a esta solicitud, el Anexo 1 de esta Recomendación proporciona directrices para evaluar las estadísticas de dfpe generada por un sistema del SFS no OSG en redes del SFS OSG u otros sistemas del SFS no OSG y confirmar que se satisfacen los límites operacionales adicionales utilizando hipótesis representativas de un sistema operacional del SFS no OSG.

A diferencia del Anexo 1, el método discutido en este Anexo hace uso del programa informático de validación actualmente revisado por la BR y a disposición de las administraciones. Debido a las características naturales de este programa informático, especificado para evaluar la situación de caso más desfavorable posible, su adaptación a un sistema en funcionamiento no es nada evidente.

Se necesitan más trabajos para verificar la aplicabilidad del método descrito en este Anexo. Esta metodología puede que no sea práctica para evaluar los límites de dfpe operacionales adicionales en numerosos puntos. Podría aplicarse a una estación terrena del SFS OSG operacional con antena de cualquier diámetro que sufra una interferencia de nivel superior a los límites de dfpe operacionales adicionales.

2 Un posible punto de partida: el programa informático de validación

2.1 El método de validación: un caso más desfavorable alejado de los parámetros de funcionamiento

Otra posibilidad sería aplicar el método del contorno de dfp para verificar el programa informático de validación (es decir, la Recomendación UIT-R S.1503) utilizado por la UIT. Sabiendo que este programa fue desarrollado con objeto de verificar las distribuciones de dfpe teniendo en cuenta los límites de validación, era muy importante comprender las diferencias fundamentales entre el método de validación y los límites operacionales adicionales.

El propósito de la generación de contornos de dfp es definir una envolvente de la potencia radiada por las estaciones espaciales no OSG y las estaciones terrenas del SFS no OSG de manera que los resultados de los cálculos engloben todo lo que se radia, independientemente de la asignación de recursos y estrategia de conmutación utilizados en los distintos periodos de la vida útil de un sistema del SFS no OSG. Se reconoció que el programa informático no debía basarse en parámetros que podrían cambiar a lo largo de dicha vida útil del sistema del SFS no OSG, tales como el número de haces iluminados y sus direcciones de orientación en un instante determinado.

El UIT-R deseaba un procedimiento de validación abierto y los algoritmos de conmutación de haz contienen una información muy sensible desde el punto de vista comercial con respecto a la demanda del mercado. El UIT-R elaboró una especificación de programa informático que utiliza un cierto número de hipótesis simplificadoras y de caso más desfavorable, incluida una configuración del haz de caso más desfavorable para los satélites de cada sistema.

El programa informático no predice las estadísticas de dfpe reales que producirá un sistema en funcionamiento sino que calcula un límite superior conservador. Por lo tanto, el programa informático realizará una sobreestimación del volumen de interferencia que generalmente experimentarán las redes del SFS OSG, haciendo por ello más difícil a un sistema no OSG demostrar que cumple un conjunto determinado de límites de dfpe.

Los estudios del UIT-R han mostrado que la interferencia de caso más desfavorable causada por un sistema no OSG a estaciones terrenas del SFS OSG de gran tamaño está localizada. El límite superior conservador calculado por el programa informático de la BR oculta este importante fenómeno.

Los contornos del dfp corresponden a una envolvente de la potencia radiada por cada estación espacial no OSG de forma que los resultados de los cálculos engloban todo lo que se radia, cualquiera que sean las asignaciones de recursos utilizados durante la vida útil del sistema del SFS no OSG.

La consecuencia de utilizar metodología es que se sobreestima:

- El nivel de dfpe a largo plazo, hasta 15 dB para el Sistema F-SAT MULTI1-B y hasta 10 dB para el Sistema ROSTELESAT-N.
- El nivel de dfpe a corto plazo, hasta 5 dB para el Sistema ROSTELESAT-N y hasta aproximadamente 1 dB para el Sistema F-SAT MULTI1-B.

Utilizando el programa informático de validación sin modificar los contornos de entrada de dfp se obtienen resultados muy distintos a los que se logran en el caso de la interferencia provocada por un sistema del SFS no OSG en funcionamiento a una estación terrena del SFS OSG en funcionamiento orientada hacia un satélite OSG en funcionamiento. Por lo tanto, es necesario adaptar la metodología empleada para obtener el contorno de dfp de caso más desfavorable, generando en esta ocasión un contorno de dfp operativo para una estación terrena del SFS OSG determinada.

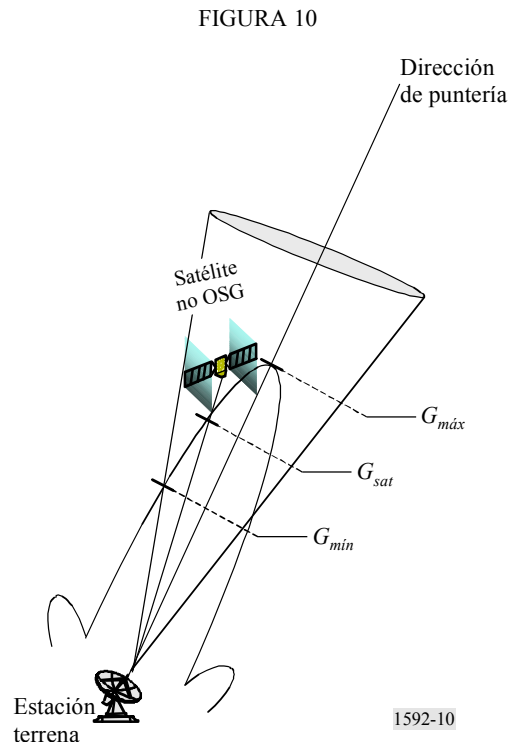
2.2 Definición del contorno de dfp operacional

El objeto del contorno de dfp operacional es generar un contorno, con el mismo formato que los datos de entrada en el programa informático de validación, pero que refleje el funcionamiento real de la constelación de satélites no OSG y la interferencia generada en una estación terrena del SFS OSG determinada con antenas de 3 m o 10 m de diámetro.

La generación de un contorno de un dfp que pueda utilizar la BR es un proceso largo. Es necesario ocupar durante dos meses un ordenador con seis procesadores de 800 MHz para obtener el resultado final. Aunque el contorno de dfp operacional llevará algo menos tiempo, no obstante es un proceso de larga duración. Esto deberá tenerse en cuenta cuando se diseñen procedimientos para verificar estos límites operacionales.

No puede generarse un nuevo contorno de dfp completo, pues ello exigiría demasiado tiempo y muchas complicaciones en las hipótesis que deberían realizarse si se desea que sea representativo de la vida útil operacional de un sistema del SFS no OSG.

El método propuesto se basa en la hipótesis de que la mayoría de los satélites de la constelación no OSG no generarán interferencia significativa en la estación terrena del SFS OSG. El número de satélites no OSG considerado para calcular la $dfpe_{\downarrow}$ puede, por tanto, limitarse a los que más contribuyen a la interferencia. Para seleccionar los N satélites no OSG, se crea un cono (o «anillo») operacional en las simulaciones. Esta metodología aparece en la Recomendación UIT-R S.1325.

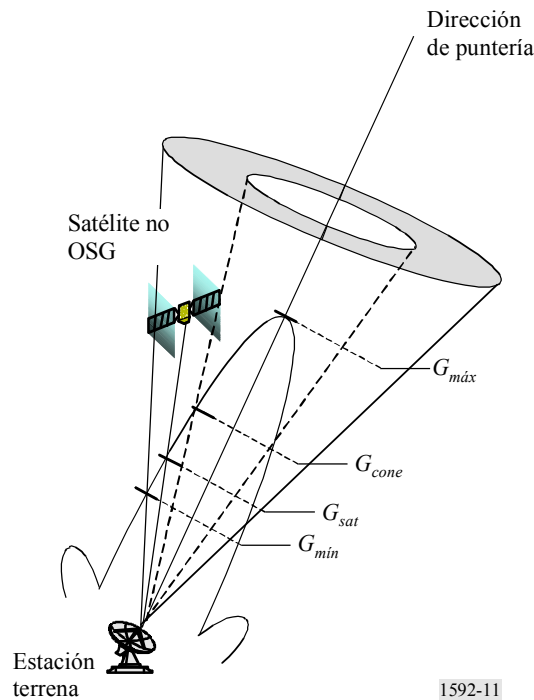


En los casos en que el nivel más elevado de $dfpe_{\downarrow}$ generado por el sistema del SFS no OSG interferente 1 aparece cuando un satélite no OSG está en línea (o casi en línea) con un satélite del sistema interferido 2 y la estación terrena de este sistema, el cono está centrado en torno a la dirección de puntería de la estación terrena del sistema interferido.

A partir de un cierto valor del ángulo que define el cono, la $dfpe$ generada por un satélite no OSG fuera del cono en la estación terrena 2 sería inferior a un determinado nivel mínimo de $dfpe_{\min}$.

En los casos en que el nivel más elevado de la $dfpe_{\downarrow}$ generado por el sistema del SFS no OSG interferente se produce cuando un satélite no OSG se encuentra en el borde de la zona de exclusión, se define un «anillo» en torno a dicha zona de exclusión.

FIGURA 11



1592-11

Cuando los satélites no OSG del sistema interferente 1 son visibles dentro del cono (o el «anillo»), se evalúa la contribución de cada uno de estos satélites no OSG del sistema 1 visibles desde la estación terrena del sistema 2 y se suman todas ellas para calcular la $dfpe$ generada en la estación terrena del sistema 2.

Cuando todos los satélites no OSG visibles del sistema 1 están fuera del cono (o el «anillo»), la dfpe total general en la estación terrena del sistema 2 puede despreciarse, o puede fijarse a un valor $dfpe_{\min}$, que depende del diseño del sistema (tipo de constelación, número de satélites, posición de las órbitas, tamaño de la antena ...). El valor de $dfpe_{\min}$ se ajusta progresivamente hasta que las variaciones de los valores estadísticos de la dfpe a corto plazo producidos por sucesivas ejecuciones son despreciables.

Los límites operacionales adicionales se definen mediante un conjunto de puntos discretos que corresponden a unos determinados niveles de dfpe. El límite inferior se fija a un valor de $-182 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 40 \text{ kHz))}$ para una antena de 3 m de diámetro y a $-185 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 40 \text{ kHz))}$ para una antena de 10 m de diámetro. El objetivo de la simulación es analizar la dfpe generada por un sistema del SFS no OSG por encima de este límite inferior de dfpe. En ese caso, la $dfpe_{\min}$ elegida puede fijarse a 1 dB por debajo de los límites operacionales adicionales más bajos, obteniéndose así una buena precisión en los resultados.

Las hipótesis realizadas para generar el contorno de dfpe operacional son las que figuran en las directrices de la parte C de la Recomendación UIT-R S.1503, utilizando el nivel de cresta de tráfico en la hora cargada asociado con los satélites no OSG considerados en el cono (o anillo). El factor más importante que debe tenerse en cuenta para la generación de un contorno de dfp operacional es la atribución del haz real (es decir, operacional) del satélite no OSG.

La posición de un satélite no OSG dentro del cono puede definirse mediante su latitud (lat), la diferencia entre su longitud y la del satélite OSG (Δlong) y el mínimo ángulo formado entre su ubicación y cualquier punto del arco OSG, visto desde la estación terrena del SFS OSG (α). Estos tres parámetros definen el contorno de dfp tridimensional.

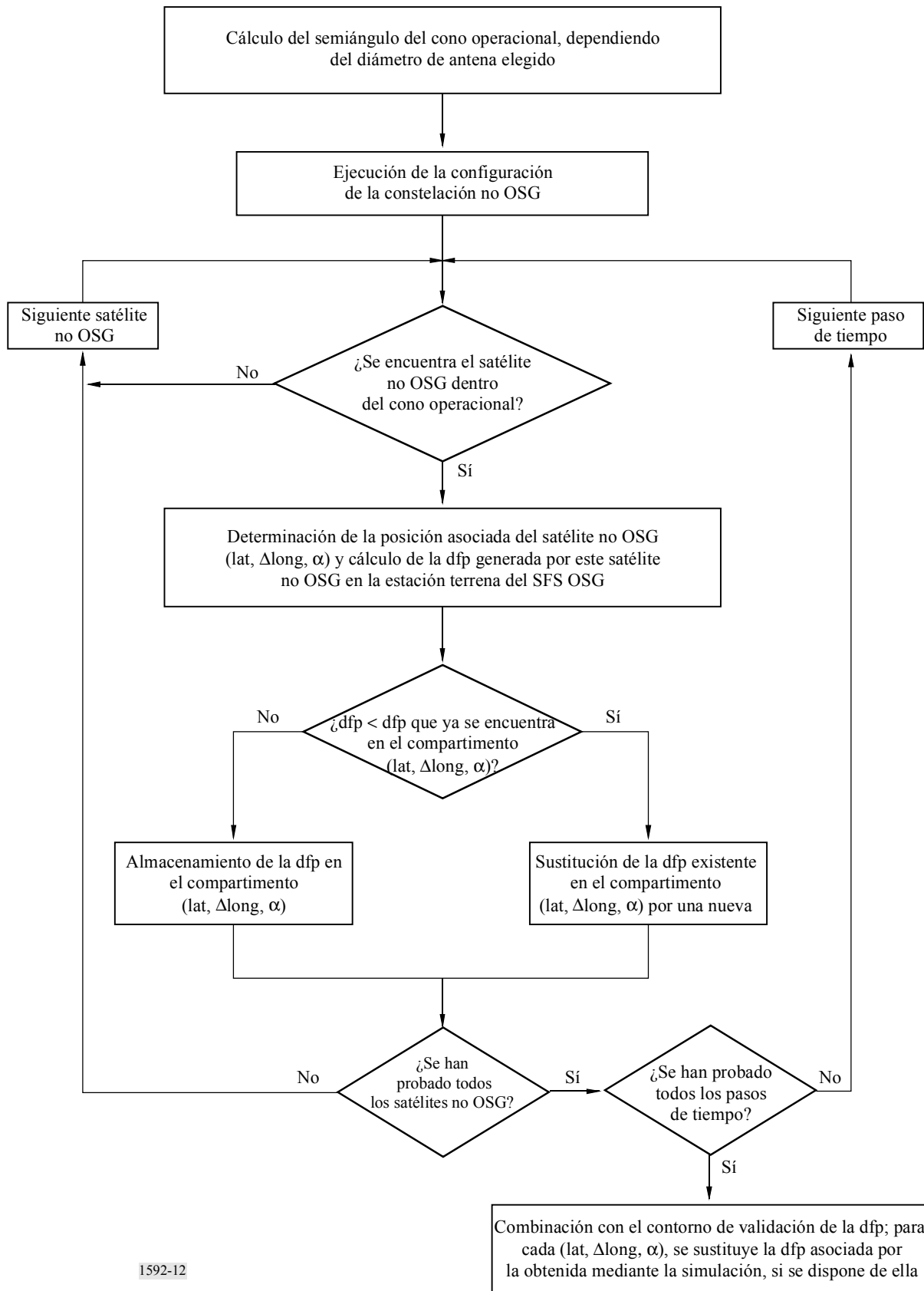
La simulación se lleva a cabo de tal forma que cada vez que se observa dentro del cono (o del anillo) un satélite no OSG, se calcula la dfp operacional generada en la estación terrena del SFS OSG por este satélite no OSG y su atribución del haz real (excluyendo la contribución de los otros satélites no OSG visibles desde la estación terrena del SFS OSG y fuera del cono).

El contorno de dfp tridimensional se define en latitud con una precisión de 1° , en Δlong con una precisión de $0,1^\circ$ y en α con una precisión de $0,5^\circ$. Por lo tanto, el cono (o anillo) debe dividirse en varios compartimentos, cada uno de ellos correspondiente a un valor de lat, de Δlong y de α . Como pueden observarse varios satélites no OSG en el mismo compartimento durante todo el tiempo de simulación, debe retenerse únicamente el satélite no OSG durante todo ese tiempo de simulación que dé lugar a la máxima dfp que debe ajustarse y atribuirse al compartimento correspondiente a los valores de lat, Δlong y α .

Con ello se obtiene un contorno de dfp para un número restringido de tripletas (lat, Δlong , α). A fin de obtener un contorno de dfp completo, este contorno operacional debe completarse mediante un valor por defecto de $-1\,000 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 40 \text{ kHz))}$ para el resto de tripletas (lat, Δlong , α).

El tiempo de ejecución de la simulación para generar un contorno de dfp operacional se reduce de esa forma considerablemente, sin que ello afecte significativamente la precisión de las estadísticas de dfpe. Permite obtener un contorno de dfp más realista y exacto, teniendo en cuenta la atribución del haz real de los satélites no OSG que más contribuirían a la interferencia generada en la estación terrena del SFS OSG.

2.3 Algoritmo para la generación del contorno operacional



2.4 Integración del tráfico

Como se indica en el § 2.1, las hipótesis efectuadas para generar el contorno de dfp operacional son las mismas que las descritas en la Parte C de la Recomendación UIT-R S.1503. Por lo tanto, son muy conservadoras salvo en la utilización de la atribución del haz real. A esas hipótesis puede añadirse la utilización del nivel del tráfico de cresta a la hora cargada asociado con los satélites no OSG, que es una suposición muy conservadora para el contorno de dfp operacional y no es en modo alguno representativa de ningún sistema operacional pues es sabido que el satélite no OSG no transmitirá continuamente con el nivel de cresta de hora cargada y que, de hecho, la mayoría de pases a través del haz de la antena del SFS OSG ocurrirán fuera de la hora cargada.

El siguiente paso para evaluar el grado en que interviene el sistema del SFS no OSG en la interferencia recibida por la estación terrena del SFS OSG consiste en realizar una convolución entre la función de densidad acumulativa de salida del programa informático de validación obtenida con el contorno de dfp operacional y un modelo de tráfico realista que represente más adecuadamente la variación diaria de las emisiones procedentes de la constelación de satélites no OSG.

La función de densidad acumulativa de los valores estadísticos de la dfpe resultante debe ser el último resultado a considerar.

3 Conclusión

Este Anexo estudia un proceso que puede aplicarse si un operador del SFS OSG en una estación terrena del SFS OSG operacional observa un exceso en el nivel de interferencia recibida. Estudia la utilización del programa informático de validación y las directrices validadas para llevar a cabo las simulaciones, que estarán a disposición de todas las administraciones.

El programa informático de validación que emplea la BR debe utilizarse para verificar la conformidad de un sistema del SFS no OSG con los límites de validación y que aparece en la Recomendación UIT-R S.1503, con modificaciones relativas al contorno de dfp, a fin de utilizar un contorno de dfp operacional para los satélites no OSG que represente con mayor exactitud las condiciones de funcionamiento de un sistema del SFS no OSG.

La metodología propuesta permite la utilización del programa informático que aparece en la Recomendación UIT-R S.1503 generando un contorno de dfp operacional. El proceso de generación del contorno de dfp es largo y tedioso. Este proceso no puede utilizarse para evaluar si se respetan los límites operacionales adicionales en numerosos puntos. Debe considerarse simplemente como un proceso operacional aplicable a una estación terrena OSG en explotación que se considere que recibe una dfpe superior a los límites operacionales adicionales.
