

## RECOMENDACIÓN UIT-R S.1647

**Metodología para determinar la interferencia de caso más desfavorable entre ciertos tipos de sistemas del SFS no OSG en situaciones en las que no se produce interferencia en línea**

(Cuestión UIT-R 231/4)

(2003)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que mediante la adopción de límites de densidad de flujo de potencia equivalente (dfpe) en ciertas bandas de frecuencias en el Artículo 22 del Reglamento de Radiocomunicaciones, se ha facilitado la introducción de sistemas del SFS que utilizan satélites no OSG;
- b) que la utilización de ciertos tipos de órbitas de satélites no OSG (véase la Nota 1) normalmente da lugar a que el arco activo esté limitado a distintas «ventanas» en el cielo y que estas ventanas están a menudo perfectamente separadas de las ventanas de otros tipos de sistemas que utilizan la órbita de los satélites no OSG (véase la Nota 1), asegurando de esa forma que no se produce interferencia en línea;
- c) que la interferencia en línea también puede evitarse cuando las «ventanas» se superponen, si es posible ajustar el desfase relativo de los dos sistemas de manera que los satélites de sistemas distintos no aparezcan simultáneamente en la ventana superpuesta;
- d) que podría ser útil determinar si se producen o no sucesos en línea a fin de estudiar la compartición entre sistemas no OSG del SFS;
- e) que, además, podría ser interesante identificar los niveles de interferencia de caso más desfavorable que aparece cuando no se producen sucesos en línea;
- f) que si la interferencia de caso más desfavorable es inaceptable, es necesario realizar una caracterización estadística completa de la interferencia,

*recomienda*

- 1 que las administraciones utilicen la metodología descrita en el Anexo 1 para calcular la interferencia codireccional de caso más desfavorable entre ciertos tipos de sistemas no OSG (véase la Nota 1) aquí considerados en situaciones en que no se produce interferencia en línea;
- 2 que las administraciones utilicen la metodología descrita en el Anexo 3 para confirmar que no se producen sucesos en línea entre ciertos tipos de sistemas no OSG (véase la Nota 1) implicados.

NOTA 1 – Algunos tipos de sistemas no OSG contemplados en esta Recomendación son aquellos cuya órbita pertenece a una de las siguientes categorías:

- órbita con una excentricidad de al menos 0,05, una inclinación entre 35° y 145°, un apogeo de al menos 18000 km y un periodo que es el periodo geosíncrono (23 h 56 min) multiplicado por m/n, siendo m y n números enteros (la relación m/n puede tomar cualquier valor); o
- órbita circular (con una excentricidad de al menos 0,005) con el periodo geosíncrono (23 h 56 min) y una inclinación comprendida entre 35° y 145°.

## Anexo 1

### Metodología para calcular la interferencia codireccional de caso más desfavorable entre ciertos tipos de sistemas no OSG del SFS en situaciones en las que no se produce interferencia en línea

La siguiente metodología debe utilizarse para calcular la interferencia entre sistemas no OSG del SFS que funcionan a la misma frecuencia, cuando no se producen situaciones de interferencia en línea. Esta metodología se limita al caso de transmisión codireccional.

Los cálculos mostrados en este Anexo se llevan a cabo para valores de tiempo,  $t$ , que generan todas las posibles combinaciones de ubicaciones orbitales de los satélites en funcionamiento, como se indican en el Anexo 2. Los cálculos se realizan de conformidad con la siguiente secuencia:

- se determina si se producen sucesos en línea (véase el Anexo 3);
- se identifican los niveles de interferencia de caso más desfavorable que se producen cuando no hay sucesos en línea.

Como ciertos tipos de sistemas no OSG que repiten las trazas de las trayectorias sobre el suelo y sus partes limitadas son los arcos activos, el número de estas combinaciones es significativamente menor que en el caso de interferencia entre sistemas no OSG de tipo de órbita terrestre baja (LEO)/órbita terrestre media (MEO).

En este Anexo, se describe la metodología para calcular la interferencia entre un tipo de sistemas de satélites no OSG,  $\alpha$ , y el otro tipo de sistemas de satélites no OSG,  $\beta$ .

#### 1 Datos relativos al sistema no OSG $\alpha$

Para calcular la interferencia entre los sistemas no OSG se necesita la siguiente información.

##### *Transmisiones Tierra-espacio del sistema no OSG $\alpha$*

- $\theta_{U-min(NOSG\alpha)}$ : Mínima separación angular formada entre la línea de visibilidad directa de la estación terrena activa del sistema no OSG  $\alpha$  con su satélite asociado y la línea de visibilidad directa con el satélite del sistema no OSG  $\beta$  (grados) (véase la Fig. 2a)).
- $\Phi_{U-min(NOSG\alpha)}$ : Mínima separación angular formada entre la línea de visibilidad directa de un satélite activo del sistema no OSG  $\alpha$  con la estación terrena del sistema no OSG  $\beta$  y la línea de visibilidad directa con la estación terrena asociada del sistema no OSG  $\alpha$  (grados) (véase la Fig. 2b)). Para la antena de la estación terrena transmisora, las Recomendaciones UIT-R S.465 o UIT-R S.580 proporcionan referencia a este respecto.
- $DFD_{U-NOSG\alpha-m\acute{a}x}$ : Máxima dfp en el satélite del sistema no OSG  $\alpha$  causada por las transmisiones de la estación terrena del sistema no OSG  $\alpha$  (dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz))).
- $DFD_{U-NOSG\alpha-\beta}$ : Máxima dfp en el satélite del sistema no OSG  $\beta$  causada por las transmisiones de la estación terrena del sistema no OSG  $\alpha$  (dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz))).
- $N_{U-NOSG\alpha-ET}$ : Máximo número de estaciones terrenas cofrecuencia del sistema no OSG  $\alpha$  que transmiten hacia los mismos satélites. (Es necesaria una indicación del número de tales estaciones terrenas en función del porcentaje de tiempo.)

Estos valores indicados pueden obtenerse a partir del método descrito en el Anexo 2.

*Sensibilidad del satélite de recepción del sistema del no OSG del SFS  $\alpha$*  (Información necesaria para calcular la interferencia causada por los sistemas no OSG  $\beta$  al sistema no OSG  $\alpha$ .)

$G_{NOSG\alpha-S-m\acute{a}x}$ : Máxima ganancia supuesta del satélite receptor del sistema no OSG  $\alpha$  en dirección de la estación terrena del sistema no OSG  $\alpha$  (dBi).

$G_{NOSG\alpha-S-\beta}$ : Máxima ganancia fuera del eje supuesta del satélite receptor del sistema no OSG  $\alpha$  en la dirección correspondiente a la mínima separación angular ( $\varphi_{U-min(NOSG\alpha)}$ ) de la estación terrena del sistema no OSG  $\beta$  (dBi). Para el satélite receptor del sistema no OSG del SFS, la Recomendación UIT-R S.672 proporciona una referencia al respecto.

$T_{U-NOSG\alpha}$ : Temperatura de ruido supuesta del sistema de recepción en condiciones de cielo despejado (incluido el ruido de la antena de recepción) del satélite receptor del sistema no OSG  $\alpha$  (K).

*Transmisiones espacio-Tierra del sistema no OSG  $\alpha$*

$\theta_{D-min(NOSG\alpha)}$ : Mínima separación angular formada entre la línea de visibilidad directa de la estación terrena del sistema no OSG  $\alpha$  con su satélite asociado y la línea de visibilidad directa con el satélite transmisor del sistema no OSG  $\beta$  (grados) (véase la Fig. 1b)).

$\varphi_{D-min(NOSG\alpha)}$ : Mínima separación angular formada entre la línea de visibilidad directa de un satélite activo del sistema no OSG  $\alpha$  con una estación terrena del sistema no OSG  $\beta$  y la línea de visibilidad directa con la estación terrena asociada del sistema no OSG  $\alpha$  (grados) (véase la Fig. 1a)). Para la antena de la estación espacial transmisora, la Recomendación UIT-R S.672 proporciona una referencia al respecto.

$DFP_{D-NOSG\alpha-m\acute{a}x}$ : Máxima dfp en el emplazamiento sobre la superficie de la Tierra de la estación terrena del sistema no OSG  $\alpha$  causada por las transmisiones del satélite del sistema no OSG  $\alpha$  en la constelación (dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz))).

$DFP_{D-NOSG\alpha-\beta}$ : Máxima dfp en el emplazamiento sobre la superficie de la Tierra de la estación terrena del sistema no OSG  $\beta$  causada por las transmisiones del satélite del sistema no OSG  $\alpha$  en la constelación (dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz))).

$N_{D-NOSG\alpha-S}$ : Máximo número de satélites cofrecuencia del sistema no OSG  $\alpha$  que transmiten hacia la misma región geográfica de la Tierra (es necesaria una indicación del número de tales satélites en función del porcentaje de tiempo).

Los valores mencionados anteriormente pueden obtenerse aplicando el método descrito en el Anexo 2.

*Sensibilidad de la estación terrena receptora de un sistema no OSG del SFS  $\alpha$*  (Información necesaria para calcular la interferencia causada por los sistemas no OSG  $\beta$  al sistema no OSG  $\alpha$ .)

$G_{NOSG\alpha-ET-m\acute{a}x}$ : Máxima ganancia supuesta de la estación terrena receptora del sistema OSG  $\alpha$  en la dirección correspondiente al satélite del sistema no OSG  $\alpha$  (dBi).

- $G_{NOSG\alpha-ET-\beta}$ : Máxima ganancia fuera del eje supuesta de la estación terrena receptora del sistema no OSG  $\alpha$  en la dirección correspondiente a la mínima separación angular ( $\theta_{D-min(NOSG\beta)}$ ) del satélite del sistema no OSG  $\beta$  cuando está transmitiendo de forma activa (dBi). Para la estación terrena receptora del sistema SFS no OSG, las Recomendaciones UIT-R S.465 o UIT-R S.580 proporcionan una referencia al respecto.
- $T_{D-NOSG\alpha}$ : Temperatura de ruido supuesta del sistema de recepción en condiciones de cielo despejado (incluido el ruido de la antena de recepción) de la estación terrena receptora del sistema no OSG  $\alpha$ . Aun pecando de conservadores, no deben incluirse las degradaciones causadas al enlace global por el enlace ascendente o por otras fuentes internas o externas de interferencia (K).

## 2 Datos relativos al sistema no OSG $\beta$

La siguiente información se necesita para calcular la interferencia entre los sistemas no OSG.

*Sensibilidad del satélite receptor del sistema no OSG  $\beta$*  (Información necesaria para calcular la interferencia causada por el sistema no OSG del SFS  $\alpha$  al sistema no OSG  $\beta$ .)

- $G_{NOSG\beta-S-m\acute{a}x}$ : Máxima ganancia supuesta del satélite del sistema no OSG  $\beta$  en dirección de la estación terrena del sistema no OSG (dBi).
- $G_{NOSG\beta-S-\alpha}$ : Máxima ganancia fuera del eje supuesta del satélite del sistema no OSG  $\beta$  en la dirección correspondiente a la mínima separación angular ( $\varphi_{U-min(NOSG\beta)}$ ) de la estación terrena del sistema no OSG  $\alpha$  (dBi). Para el satélite receptor de un sistema no OSG del SFS, la Recomendación UIT-R S.672 proporciona una referencia al respecto.
- $T_{U-NOSG\beta}$ : Temperatura de ruido supuesta del sistema de recepción en condiciones de cielo despejado (incluido el ruido de la antena de recepción) del satélite receptor del sistema no OSG  $\beta$  (K).

*Transmisiones en sentido Tierra-espacio del sistema no OSG  $\beta$*

- $\theta_{U-min(NOSG\beta)}$ : Mínima separación angular formada entre la línea de visibilidad directa de las estaciones terrenas del sistema no OSG  $\beta$  con su satélite asociado y la línea de visibilidad directa con el satélite receptor del sistema no OSG  $\alpha$  (grados). (véase la Fig. 2b)).
- $\varphi_{U-min(NOSG\beta)}$ : Mínima separación angular formada entre la línea de visibilidad directa de el satélite del sistema no OSG  $\beta$  con la estación terrena del sistema no OSG  $\alpha$  y la línea de visibilidad directa con la estación terrena asociada del sistema no OSG  $\beta$  (grados) (véase la Fig. 2a)). Para la antena de la estación terrena transmisora, las Recomendaciones UIT-R S.465 o UIT-R S.580 proporcionan una referencia al respecto.
- $DFP_{U-NOSG\beta-m\acute{a}x}$ : Máxima dfp en el satélite del sistema no OSG  $\beta$  causada por las transmisiones procedentes de la estación terrena del sistema no OSG  $\beta$  (dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz))).
- $DFP_{U-NOSG\beta-\alpha}$ : Máxima dfp en el satélite del sistema no OSG  $\alpha$  causada por las transmisiones procedentes de la estación terrena del sistema no OSG  $\beta$  (dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz))).
- $N_{U-NOSG\beta-ET}$ : Máximo número de estaciones terrenas cofrecuencia del sistema no OSG  $\beta$  que transmiten hacia los mismos satélites. (Es necesaria una indicación del número de tales estaciones terrenas en función del porcentaje de tiempo.)

*Sensibilidad de la estación terrena receptora del sistema no OSG  $\beta$*  (Información necesaria para calcular la interferencia causada por el sistema no OSG  $\alpha$  al sistema del SFS no OSG  $\beta$ .)

- $G_{NOSG\beta-ET-m\acute{a}x}$ : Máxima ganancia supuesta de la estación terrena del sistema no OSG  $\beta$  en la dirección correspondiente al satélite del sistema no OSG  $\beta$  (dBi).
- $G_{NOSG\beta-ET-\alpha}$ : Máxima ganancia fuera del eje supuesta de la estación terrena del sistema no OSG  $\beta$  en la dirección correspondiente a la mínima separación angular ( $\theta_{D-min(NOSG\alpha)}$ ) del satélite del sistema no OSG  $\alpha$  cuando transmite de forma activa (dBi). Para la estación terrena receptora del sistema del SFS no OSG, la Recomendación UIT-R S.465 proporciona una referencia al respecto.
- $T_{D-NOSG\beta}$ : Temperatura de ruido supuesta del sistema de recepción en condiciones de cielo despejado (incluido el ruido de la antena de recepción) del enlace descendente del sistema no OSG  $\beta$ . Aun pecando de conservadores, no deben incluirse las degradaciones causadas al enlace global por el enlace ascendente o por otras fuentes internas o externas de interferencia (K).

*Transmisiones en sentido espacio-Tierra del sistema no OSG  $\beta$*

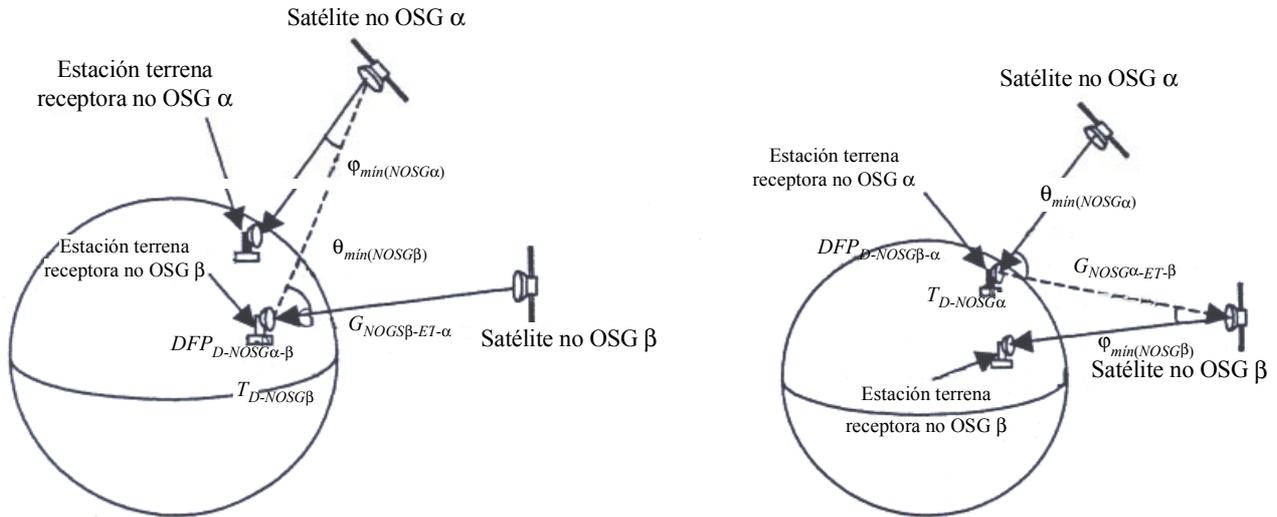
- $\theta_{D-min(NOSG\beta)}$ : Mínima separación angular formada entre la línea de visibilidad directa de la estación terrena del sistema no OSG  $\beta$  con su satélite asociado y la línea de visibilidad directa en dirección al satélite transmisor del sistema no OSG  $\alpha$  y su satélite asociado (grados) (véase la Fig. 1a)).
- $\Phi_{D-min(NOSG\beta)}$ : Mínima separación angular formada entre la línea de visibilidad directa del satélite activo del sistema no OSG  $\beta$  con la estación terrena del sistema no OSG  $\alpha$  y la línea de visibilidad directa con la estación terrena asociada del sistema no OSG  $\beta$  (grados) (véase la Fig. 1b)). Para la antena de la estación espacial transmisora, la Recomendación UIT-R S.672 proporciona una referencia al respecto.
- $DFP_{D-NOSG\beta-m\acute{a}x}$ : Máxima dfp en el emplazamiento sobre la superficie de la Tierra de la estación terrena del sistema no OSG  $\beta$  causada por las transmisiones procedentes del satélite de la constelación del sistema no OSG  $\beta$  (dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz))).
- $DFP_{D-NGSO\beta-\alpha}$ : Máxima dfp en el emplazamiento sobre la superficie de la Tierra del sistema no OSG  $\alpha$  causada por las transmisiones procedentes del satélite en la constelación del sistema no OSG  $\beta$  (dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz))).
- $N_{D-NOSG\beta-S}$ : Máximo número de satélites cofrecuencia del sistema no OSG  $\beta$  que transmiten hacia la misma zona geográfica de la Tierra, así como una indicación del número de tales satélites en función del porcentaje de tiempo.

Estos valores mencionados pueden obtenerse mediante el método descrito en el Anexo 2.

### 3 Geometría de la interferencia

La Fig. 1 representa la geometría de la interferencia del enlace descendente descrita en el § 2. La Fig. 1a) muestra la geometría para calcular la interferencia causada por el satélite del sistema no OSG  $\alpha$  a la estación terrena receptora del sistema no OSG  $\beta$ . La Fig. 1b) muestra la geometría para calcular la interferencia provocada por el satélite del sistema no OSG  $\beta$  a la estación terrena receptora del sistema no OSG  $\alpha$ .

FIGURA 1  
**Geometría de la interferencia para calcular la interferencia entre el sistema no OSG  $\alpha$  y el sistema no OSG  $\beta$  (enlace descendente)**



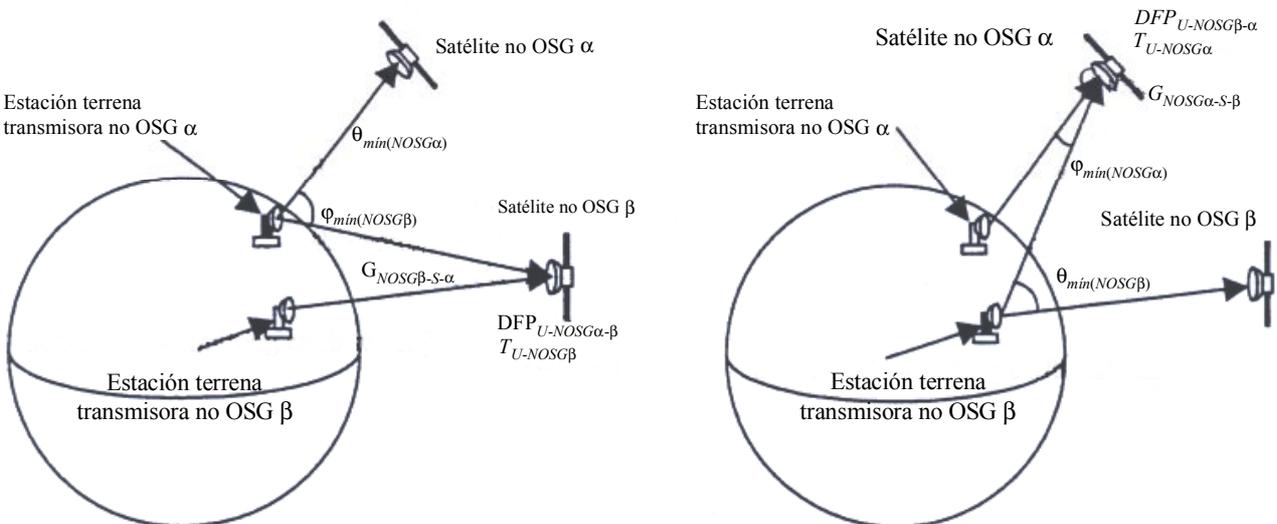
a) Interferencia causada por el sistema no OSG  $\alpha$  al sistema no OSG  $\beta$

b) Interferencia causada por el sistema no OSG  $\beta$  al sistema no OSG  $\alpha$

1647-01

La Fig. 2 muestra la geometría de la interferencia del enlace ascendente descrita en el § 2. La Fig. 2a) muestra la geometría para calcular la interferencia causada por la estación terrena del sistema no OSG  $\alpha$  al satélite receptor del sistema no OSG  $\beta$ . La Fig. 2b) muestra la geometría para calcular la interferencia causada por la estación terrena del sistema no OSG  $\beta$  al satélite receptor del sistema no OSG  $\alpha$ .

FIGURA 2  
**Geometría de la interferencia para calcular la interferencia entre el sistema no OSG  $\alpha$  y el sistema no OSG  $\beta$  (enlace ascendente)**



a) Interferencia causada por el sistema no OSG  $\alpha$  al sistema no OSG  $\beta$

b) Interferencia causada por el sistema no OSG  $\beta$  al sistema no OSG  $\alpha$

1647-02

#### 4 Cálculo de la interferencia del enlace ascendente causada por el sistema no OSG $\alpha$ al sistema no OSG $\beta$

*Paso AI\_β1(d)*: Se calcula la máxima densidad espectral de potencia de la señal interferente ( $I_{1-NOSG\alpha-ET}$ ) (dB(W/Hz)) causada por un satélite del sistema no OSG  $\alpha$  a la entrada de la antena de la estación terrena (ET) del sistema no OSG  $\beta$ :

$$I_{1-NOSG\alpha-ET} = DFP_{D-NOSG\alpha-\beta} + G_{NOSG\beta-ET-\alpha} + 10 \log \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) \quad (1)$$

siendo  $\lambda$  la longitud de onda (m).

*Paso AI\_β2(d)*: Se calcula la densidad de potencia de la portadora deseada ( $C_{NOSG\beta-ET}$ ) (dB(W/Hz)), a la entrada de la antena de la estación terrena del sistema no OSG  $\beta$ :

$$C_{NOSG\beta-ET} = DFP_{D-NOSG\beta-m\acute{a}x} + G_{NOSG\beta-ET-m\acute{a}x} + 10 \log \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) \quad (2)$$

*Paso AI\_β3(d)*: Se calcula la relación portadora/interferencia ( $C_{NOSG\beta-ET}/I_{1-NOSG\alpha-ET}$ ) de cada uno de los satélites del sistema no OSG  $\alpha$ ; es decir,  $10^{0,1(C-I)}$ , obteniéndose  $C$  e  $I$  (dB(W/Hz)), a partir de las ecuaciones (1) y (2).

*Paso AI\_β4(d)*: Se calcula la relación portadora/interferencia combinada ( $C_{NOSG\beta-ET}/I_{NOSG\alpha-ET}$ ) en la constelación de satélites del sistema no OSG  $\alpha$ :

$$\begin{aligned} (C_{NOSG\beta-ET}/I_{NOSG\alpha-ET})^{-1} &= (C_{NOSG\beta-ET}/I_{1-NOSG\alpha-ET})^{-1} \\ &+ \dots + (C_{NOSG\beta-ET}/I_{N_{D-NOSG\alpha-S}-NOSG\alpha-ET})^{-1} \end{aligned} \quad (3)$$

$N_{D-(NOSG\alpha)-S}$  es el número de satélites del sistema del SFS no OSG  $\alpha$ .

#### 5 Cálculo de la interferencia del enlace descendente causada por el sistema no OSG $\beta$ al sistema del SFS no OSG $\alpha$

*Paso AI\_α1(d)*: Se calcula la máxima densidad espectral de potencia de la señal interferente ( $I_{1-NOSG\beta-ET}$ ) (dB(W/Hz)), causada por un satélite no OSG  $\beta$  a la entrada de la antena de la estación terrena receptora del sistema no OSG  $\alpha$ :

$$I_{1-NOSG\beta-ET} = DFP_{D-NOSG\beta-\alpha} + G_{NOSG\alpha-ET-\beta} + 10 \log \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) \quad (4)$$

siendo  $\lambda$  la longitud de onda (m).

*Paso AI\_α2(d)*: Se calcula la densidad de potencia de la portadora deseada ( $C_{NOSG\alpha-ET}$ ) (dB(W/Hz)), a la entrada de la antena de la estación terrena del sistema no OSG  $\alpha$ :

$$C_{NOSG\alpha-ET} = DFP_{D-NOSG\alpha-m\acute{a}x} + G_{NOSG\alpha-ET-m\acute{a}x} + 10 \log \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) \quad (5)$$

*Paso AI\_α3(d)*: Se calcula la relación portadora/interferencia ( $C_{NOSG\alpha-ET}/I_{1-NOSG\beta-ET}$ ) de cada uno de los satélites del sistema no OSG  $\beta$ ; es decir,  $10^{0,1(C-I)}$ , donde  $C$  e  $I$  se obtienen de los Cuadros 4 y 5.

*Paso AI\_α4(d)*: Se calcula la relación portadora/interferencia combinada ( $C_{NOSG\alpha-ET}/I_{NOSG\beta-ET}$ ) de la constelación de satélites del sistema no OSG β:

$$\begin{aligned} (C_{NOSG\alpha-ET}/I_{NOSG\beta-ET})^{-1} &= (C_{NOSG\alpha-ET}/I_{1-NOSG\beta-ET})^{-1} \\ &+ \dots + (C_{NOSG\alpha-ET}/I_{N_{D-NOSG\beta-S}-NOSG\beta-ET})^{-1} \end{aligned} \quad (6)$$

$N_{D-(NOSG\beta)-S}$  es el número de satélites del sistema no OSG β del SFS.

## 6 Cálculo de la interferencia del enlace ascendente causada por el sistema no OSG α al sistema no OSG β

*Paso AI\_β1(u)*: Se calcula la máxima densidad espectral de potencia de la señal interferente ( $I_{1-NOSG\alpha-S}$ ) causada por la estación terrena del sistema no OSG α a la entrada de la antena del satélite del sistema no OSG β:

$$I_{1-NOSG\alpha-S} = DFP_{U-NOSG\alpha-\beta} + G_{NOSG\beta-S-\alpha} + 10 \log \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) \quad (7)$$

siendo  $\lambda$  la longitud de onda (m).

*Paso AI\_β2(u)*: Se calcula la densidad de potencia de la portadora deseada ( $C_{NOSG\beta-S}$ ) (dB(W/Hz)) a la entrada de la antena del satélite del sistema no OSG β:

$$C_{NOSG\beta-S} = DFP_{U-NOSG\beta-m\acute{a}x} + G_{NOSG\beta-S-m\acute{a}x} + 10 \log \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) \quad (8)$$

*Paso AI\_β3(u)*: Se calcula la relación portadora/interferencia ( $C_{NOSG\beta-S}/I_{1-NOSG\alpha-S}$ ) de las estaciones terrenas del sistema no OSG α; es decir  $10^{0,1(C-I)}$  obteniéndose  $C$  e  $I$  a partir de las ecuaciones (7) y (8).

*Paso AI\_β4(u)*: Se calcula la relación portadora/interferencia de una sola fuente total ( $C_{NOSG\beta-S}/I_{NOSG\alpha-S}$ ) de la estación terrena del sistema no OSG α:

$$\begin{aligned} (C_{NOSG\beta-S}/I_{NOSG\alpha-S})^{-1} &= (C_{NOSG\beta-S}/I_{1-NOSG\alpha-S})^{-1} \\ &+ \dots + (C_{NOSG\beta-S}/I_{N_{U-NOSG\alpha-ET}-NOSG\alpha-S})^{-1} \end{aligned} \quad (9)$$

$N_{U-(NOSG\alpha)-ET}$  es el número de estaciones terrenas interferentes del sistema no OSG α del SFS.

## 7 Cálculo de la interferencia del enlace ascendente causada por el sistema no OSG β al sistema no OSG α

*Paso AI\_α1(u)*: Se calcula la máxima densidad espectral de potencia de la estación interferente ( $I_{1-NOSG\beta-S}$ ) (dB(W/Hz)) producida por una estación terrena del sistema no OSG β a la entrada de la antena del satélite del sistema no OSG α del SFS:

$$I_{1-NOSG\beta-S} = DFP_{U-NOSG\beta-\alpha} + G_{NOSG\alpha-S-\beta} + 10 \log \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) \quad (10)$$

siendo  $\lambda$  la longitud de onda (m).

*Paso AI\_α2(u)*: Se calcula la densidad de potencia de la portadora deseada ( $C_{NOSG\alpha-S}$ ) (dB(W/Hz)) a la entrada de la antena del satélite del sistema no OSG  $\alpha$ :

$$C_{NOSG\alpha-S} = DFP_{U-NOSG\alpha-m\acute{a}x} + G_{NOSG\alpha-S-m\acute{a}x} + 10 \log \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) \quad (11)$$

*Paso AI\_α3(u)*: Se calcula la relación portadora/interferencia ( $C_{NOSG\alpha-S}/I_{1-NOSG\beta-S}$ ) de la estación terrena del sistema no OSG  $\beta$ ; es decir,  $10^{0,1(C-I)}$ , obteniéndose  $C$  e  $I$  a partir de las ecuaciones (10) y (11).

*Paso AI\_α4(u)*: Se calcula la relación portadora/interferencia combinada ( $C_{NOSG\alpha-S}/I_{NOSG\beta-S}$ ) procedente de todas las estaciones terrenas interferentes del sistema no OSG  $\beta$ :

$$\begin{aligned} (C_{NOSG\alpha-S}/I_{NOSG\beta-S})^{-1} &= (C_{NOSG\alpha-S}/I_{1-NOSG\beta-S})^{-1} \\ &+ \dots + (C_{NOSG\alpha-S}/I_{N_{U-NOSG\beta-ET}-NOSG\beta-S})^{-1} \end{aligned} \quad (12)$$

$N_{U-(NOSG\beta)-ET}$  es el número de estaciones terrenas interferentes del sistema del SFS no OSG  $\beta$ .

### 8 Ejemplo de cálculo de la interferencia causada por el sistema no OSG $\alpha$ del SFS al sistema no OSG $\beta$ del SFS

En el Cuadro 1 se indican los parámetros orbitales del sistema no OSG  $\alpha$  del SFS.

CUADRO 1

#### Ejemplo de parámetros orbitales supuestos para el sistema no OSG $\alpha$

Ángulo de inclinación	42,5°
Ascensión recta	25°
Semieje mayor	42 164 km
Excentricidad	0,21
Argumento del perigeo	270°
Ángulo de fase inicial	270°
Arco activo	Entre 3,5 h antes del apogeo y 4,5 h después del apogeo
Número de satélites	3
Traza de la trayectoria sobre el suelo	Tres satélites siguen una sola traza de la trayectoria sobre el suelo idéntica

En el Cuadro 2 se indican los parámetros orbitales del sistema no OSG  $\beta$  del SFS.

## CUADRO 2

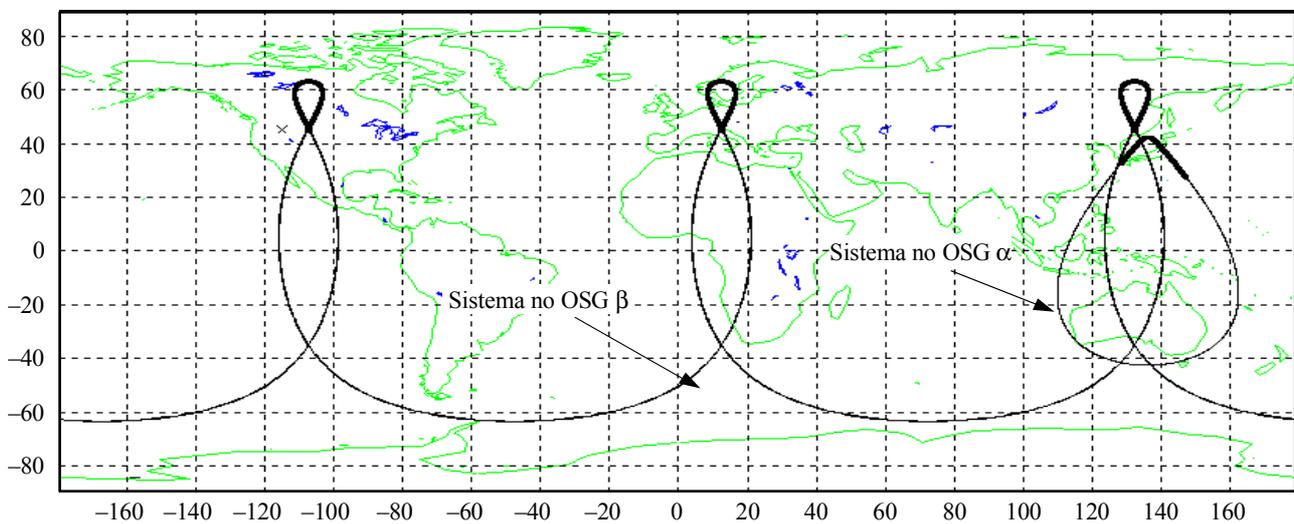
**Ejemplo de parámetros orbitales supuestos  
para un sistema no OSG  $\beta$**

Ángulo de inclinación	63,4°
Ascensión recta	15°
Semieje mayor	32 170 km
Excentricidad	0,53
Argumento del perigeo	270°
Ángulo de fase inicial	238,9°
Arco activo	Por encima de 45° de latitud (se adopta un traspaso en bucle)
Número de satélites	6

En la Fig. 3 se muestran las trazas sobre el suelo de las trayectorias del sistema no OSG  $\alpha$  del SFS y del sistema no OSG  $\beta$  del SFS.

FIGURA 3

**Trazas de las trayectorias sobre el suelo del sistema no OSG  $\alpha$  y el sistema no OSG  $\beta$**



Nota – Los arcos del servicio activo aparecen en negrita.

1647-03

En este ejemplo de cálculo, las posiciones orbitales de los satélites en los dos sistemas no OSG se comparan con una separación de tiempo de 30 min en sus arcos activos. Como los arcos activos para cada uno de los sistemas no OSG tienen una duración de 8 h, son suficientes 289 (= 17 × 17) cálculos para encontrar el caso más desfavorable. Se trata de un número considerablemente más reducido que en el caso de los cálculos de interferencia entre sistemas no OSG de tipo LEO/MEO donde, en la mayoría de los casos, son necesarias más de 1 000 000 de operaciones debido a los cálculos que deben hacerse para un intervalo de tiempo más pequeño y un periodo de un par de años.

**8.1 Cálculo de la interferencia del enlace descendente en el sistema no OSG β del SFS**

Con respecto a estos ejemplos, se supone que la estación terrena del sistema no OSG β está situada en las coordenadas 140,8° E; 38,7° N.

En este ejemplo de cálculo, las posiciones orbitales de los satélites en los dos sistemas no OSG se comparan con una separación de tiempo de 30 min en sus arcos activos.

El Cuadro 3 muestra los parámetros básicos para calcular la interferencia del enlace descendente causada por el sistema no OSG α al sistema no OSG β.

CUADRO 3

**Parámetros básicos para calcular la interferencia del enlace descendente causada por el sistema no OSG α al sistema no OSG β**

Parámetro	Valor	Nota
Ubicación de la estación terrena del sistema no OSG β	140,8° E, 38,7° N	
$\theta_{D-min}(NOSG\beta)$	4,9°	Mínima separación angular topocéntrica en la estación terrena asociada del sistema no OSG β entre el satélite del sistema no OSG α y el satélite del sistema no OSG β
Eje de puntería del haz de la antena del satélite del sistema no OSG α	140,8° E, 38,7° N	
$\Phi_{D-min}(NOSG\alpha)$	0,0°	Ángulo formado por el eje de puntería de la antena del satélite del sistema no OSG α y la dirección hacia la estación terrena del sistema no OSG β
$N_{D-NOSG\alpha-S}$	1	Sólo funciona un satélite en el arco activo

Se supone que la envolvente máxima de los diagramas de radiación de la antena de la estación espacial responde a las siguientes fórmulas, definidas en la Recomendación UIT-R S.672:

$$G(\psi) = G_m - 3 \left( \frac{\psi}{\psi_b} \right)^\alpha \quad \text{dBi} \quad \text{para} \quad \psi_b \leq \psi \leq a\psi_b$$

$$G(\psi) = G_m + L_N \quad \text{dBi} \quad \text{para} \quad a\psi_b < \psi \leq b\psi_b$$

$$G(\psi) = X - 25 \log(\psi) \quad \text{dBi} \quad \text{para} \quad b\psi_b < \psi \leq Y$$

$$G(\psi) = L_F \quad \text{dBi} \quad \text{para} \quad Y < \psi \leq 180^\circ$$

donde:

$$X = G_m + L_N + 20 \log(b\psi_b) \quad \text{y} \quad Y = b\psi_b 10^{0,04(G_m + L_N - L_F)}$$

$G(\psi)$ : para un ángulo  $\psi$  respecto a la dirección del haz principal en cualquier otra dirección (dBi)

$G_m$ : máxima ganancia de antena (dBi)

$\psi_b$ : mitad de la anchura de haz a 3 dB en el plano considerado (3 dB por debajo de  $G_m$ ) (grados)

$L_N$ : nivel del lóbulo lateral próximo (dB) con respecto a  $G_m$

$L_F$ : nivel del lóbulo lateral lejano (dBi)

y:

$$\begin{aligned}\alpha &= 2,0 \\ a &= 2,58 \\ b &= 14,0 \\ \psi_b &= 1,0^\circ \\ L_N &= -20 \text{ dB} \\ L_F &= (G_m - 20) \text{ dBi.}\end{aligned}$$

En el Cuadro 4 se muestra el análisis de la interferencia del enlace descendente de caso más desfavorable causada por un sistema no OSG  $\alpha$  a la estación terrena receptora del sistema no OSG  $\beta$ .

CUADRO 4

**Análisis de la interferencia del enlace descendente en el caso más desfavorable causada por un sistema no OSG  $\alpha$  a un sistema no OSG  $\beta$**

Parámetro	Valor	Unidades
Máxima dfp en la superficie de la Tierra producida por el satélite del sistema no OSG $\beta$ , en 4 kHz	-132,6	dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz))
Ángulo formado por el eje de puntería del diagrama de radiación de la antena del satélite del sistema no OSG $\alpha$ y la dirección hacia la estación terrena del sistema no OSG $\beta$	0,0	grados
Ganancia relativa de la antena de transmisión del satélite del sistema no OSG $\alpha$ en dirección de la estación terrena del sistema no OSG $\beta$ (suponiendo el diagrama de radiación descrito anteriormente)	40,5	dBi
Máxima dfp del satélite del sistema no OSG $\alpha$ en 4 kHz en dirección de la estación terrena del sistema no OSG $\beta$	-135,0	dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz))
Mínima separación angular topocéntrica ( $\theta$ ) en la estación terrena del sistema no OSG $\beta$ entre el satélite del sistema no OSG $\alpha$ y el satélite del sistema no OSG $\beta$	4,9	grados
Ganancia de la estación terrena receptora del sistema no OSG $\beta$ en dirección del satélite del sistema no OSG $\alpha$ (suponiendo que se aplica la fórmula 29 – 25 log( $\theta$ ))	11,7	dBi
Frecuencia	12,5	GHz
Máxima ganancia de la estación terrena receptora del sistema no OSG $\beta$	55,4	dBi
<b>C/I a la entrada de la estación terrena receptora del sistema no OSG <math>\beta</math></b>	<b>46,1</b>	<b>dB</b>

Este análisis muestra la interferencia causada por un sistema no OSG  $\alpha$  a un sistema no OSG  $\beta$ . El valor de la relación C/I de caso más desfavorable es de 46,1 dB. Este valor es lo suficientemente grande como para establecer un enlace de RF con el sistema no OSG  $\beta$ . En este análisis se utiliza la misma p.i.r.e. de satélite (53,5 dBW) y la misma anchura de banda de portadora (2,3 MHz) tanto para el sistema no OSG  $\alpha$  como para el sistema no OSG  $\beta$ .

En realidad, el valor  $C/I$  varía continuamente entre unos 46,1 dB y 63,9 dB durante un solo periodo de arco de servicio activo del sistema no OSG  $\alpha$ .

## 8.2 Cálculo de la interferencia del enlace ascendente en el sistema de satélites no OSG $\beta$

Con respecto a estos ejemplos, se supuso que la estación terrena del sistema no OSG  $\beta$  estaba situada en las coordenadas 140,8° E; 38,7° N.

En este ejemplo de cálculo, las posiciones orbitales de los satélites en los dos sistemas no OSG se compararon con una separación de tiempo de 30 min en sus arcos activos.

En el Cuadro 5 aparecen los parámetros básicos para calcular la interferencia del enlace ascendente causada por el sistema no OSG  $\alpha$  al sistema no OSG  $\beta$ .

CUADRO 5

### Parámetros básicos para calcular la interferencia del enlace ascendente causada por el sistema no OSG $\alpha$ al sistema no OSG $\beta$

Parámetro	Valor	Nota
Ubicación de la estación terrena del sistema no OSG $\alpha$	140,8° E, 38,7° N	
$\theta_{U-min}(NOSG\alpha)$	4,9°	Mínima separación angular topocéntrica en la estación terrena asociada del sistema no OSG $\alpha$ entre el satélite del sistema no OSG $\alpha$ y el satélite del sistema no OSG $\beta$
Eje de puntería del haz de la antena del satélite del sistema no OSG $\beta$	140,8° E, 38,7° N	
$\varphi_{U-min}(NOSG\beta)$	0,0°	Ángulo que forman el eje de puntería de la antena del satélite del sistema no OSG $\beta$ y la dirección hacia la estación terrena del sistema no OSG $\alpha$
$N_{U-NOSG\beta-S}$	1	Sólo funciona un satélite en el arco activo

Se supone que la envolvente máxima de los diagramas de radiación de la antena de la estación terrena viene dada por las siguientes formulas, definidas en la Recomendación UIT-R S.580:

$$\begin{array}{llll}
 G(\varphi) = 29 - 25 \log \varphi & \text{dBi} & \text{para} & 1^\circ \leq \varphi \leq 20^\circ \\
 G(\varphi) = -3,5 & \text{dBi} & \text{para} & 20^\circ < \varphi \leq 26,3^\circ \\
 G(\varphi) = 32 - 25 \log \varphi & \text{dBi} & \text{para} & 26,3^\circ < \varphi \leq 48^\circ \\
 G(\varphi) = -10 & \text{dBi} & \text{para} & 48^\circ < \varphi \leq 180^\circ
 \end{array}$$

siendo:

$G(\varphi)$ : ganancia relativa con respecto a una antena isótropa

$\varphi$ : ángulo con respecto al eje.

En el Cuadro 6 se muestra el análisis de la interferencia del enlace ascendente de caso más desfavorable causada por el sistema no OSG  $\alpha$  al satélite receptor del sistema no OSG  $\beta$ .

CUADRO 6

**Análisis de la interferencia del enlace ascendente en el caso más desfavorable causada por el sistema no OSG  $\alpha$  al sistema no OSG  $\beta$**

Parámetro	Valor	Unidades
Máxima dfp producida por la estación terrena del sistema no OSG $\beta$ en 4 kHz en el satélite del sistema no OSG $\beta$	-131,5	dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz))
Mínima separación angular topocéntrica ( $\theta$ ) en la estación terrena del sistema no OSG $\alpha$ entre el satélite del sistema no OSG $\alpha$ y el satélite del sistema no OSG $\beta$	4,9	grados
Ganancia relativa de la antena de transmisión de la estación terrena del sistema no OSG $\alpha$ en dirección del satélite del sistema no OSG $\beta$ (suponiendo el diagrama de radiación antes indicado)	11,7	dB
Máxima dfp producida por la estación terrena del sistema no OSG $\alpha$ en 4 kHz en dirección del satélite del sistema no OSG $\beta$	-176,3	dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz))
Ángulo formado por el eje de puntería del diagrama de radiación de la antena del satélite del sistema no OSG $\beta$ y la dirección hacia la estación terrena del sistema no OSG $\alpha$	0,0	grados
Ganancia del satélite de recepción del sistema no OSG $\beta$ en dirección de la estación terrena del sistema no OSG $\alpha$ (diagrama de antena de la Recomendación UIT-R S.672)	40,5	dBi
Frecuencia	14,25	GHz
Máxima ganancia del satélite de recepción del sistema no OSG $\beta$	40,5	dBi
<b>C/I a la entrada del receptor del satélite del sistema no OSG <math>\beta</math></b>	<b>44,8</b>	<b>dB</b>

Este análisis muestra la interferencia causada por el sistema no OSG  $\alpha$  al sistema no OSG  $\beta$ . El valor de la relación C/I de caso más desfavorable es 44,8 dB. Este valor es lo suficientemente grande como para establecer un enlace de RF del sistema no OSG  $\beta$ . En este análisis se utiliza la misma p.i.r.e. de estación terrena (66,5 dBW) y la misma anchura de banda de portadora (17,8 MHz) tanto para el sistema no OSG  $\alpha$  como para el sistema no OSG  $\beta$ .

En la realidad, el valor C/I varía de forma continua entre unos 44,8 dB y 60,6 dB durante un solo periodo de arco de servicio activo del sistema no OSG  $\alpha$ .

## Anexo 2

### Método de cálculo de la separación angular topocéntrica entre los sistemas de satélites no OSG y de la dfp causada por un sistema de satélites no OSG en la zona de servicio del otro sistema de satélites no OSG

#### 1 Introducción

En el presente Anexo se describe el método de cálculo de los datos físicos necesarios para evaluar la interferencia causada por los sistemas de satélites no OSG.

Para realizar los análisis de interferencia es necesario determinar la separación angular topocéntrica y la dfp.

#### 2 Cálculo de la separación angular topocéntrica y de la dfp desde una posición orbital geográfica

La separación angular topocéntrica y la dfp pueden obtenerse aplicando el siguiente método.

Para determinar los niveles de interferencia de caso más desfavorable deben elegirse valores de  $t$  que generen todas las posibles combinaciones de las posiciones orbitales de los satélites en funcionamiento.

*Paso A.2.1:* Posición orbital del sistema de satélites no OSG  $\alpha$

Basándose en la latitud (geocéntrica)  $\varphi'(t)_{NOSG\alpha}$ , la longitud  $\lambda(t)_{NOSG\alpha}$  y la altitud  $h(t)_{NOSG\alpha}$  del sistema de satélites no OSG  $\alpha$ , sus coordenadas geocéntricas vienen dadas por las ecuaciones:

$$\begin{aligned} X(t)_{NOSG\alpha} &= (R_E + h(t)_{NOSG\alpha}) \cos \varphi'(t)_{NOSG\alpha} \cos \lambda(t)_{NOSG\alpha} \\ Y(t)_{NOSG\alpha} &= (R_E + h(t)_{NOSG\alpha}) \cos \varphi'(t)_{NOSG\alpha} \operatorname{sen} \lambda(t)_{NOSG\alpha} \\ Z(t)_{NOSG\alpha} &= (R_E + h(t)_{NOSG\alpha}) \operatorname{sen} \varphi'(t)_{NOSG\alpha} \end{aligned} \quad (13)$$

siendo  $R_E$  el radio de la Tierra.

*Paso A.2.2:* Posición orbital del sistema de satélites no OSG  $\beta$

Basándose en la latitud  $\varphi'(t)_{NOSG\beta}$ , la longitud  $\lambda(t)_{NOSG\beta}$  y la altitud  $h(t)_{NOSG\beta}$  del sistema de satélites no OSG  $\beta$ , sus coordenadas geocéntricas vienen dadas por las ecuaciones:

$$\begin{aligned} X(t)_{NOSG\beta} &= (R_E + h(t)_{NOSG\beta}) \cos \varphi'(t)_{NOSG\beta} \operatorname{sen} \lambda(t)_{NOSG\beta} \\ Y(t)_{NOSG\beta} &= (R_E + h(t)_{NOSG\beta}) \cos \varphi'(t)_{NOSG\beta} \operatorname{sen} \lambda(t)_{NOSG\beta} \\ Z(t)_{NOSG\beta} &= (R_E + h(t)_{NOSG\beta}) \operatorname{sen} \varphi'(t)_{NOSG\beta} \end{aligned} \quad (14)$$

*Paso A.2.3:* Posición geográfica del punto de prueba sobre la superficie de la Tierra

Basándose en la latitud  $\phi'_{tp}$  y la longitud  $\lambda_{tp}$  del punto de prueba, sus coordenadas geocéntricas vienen dadas por las ecuaciones:

$$\begin{aligned} X_{tp} &= R_E \cos \phi'_{tp} \cos \lambda_{tp} \\ Y_{tp} &= R_E \cos \phi'_{tp} \sen \lambda_{tp} \\ Z_{tp} &= R_E \sen \phi'_{tp} \end{aligned} \quad (15)$$

*Paso A.2.4:* Distancia entre el satélite del sistema de satélites no OSG  $\alpha$  y el punto de prueba

Esta distancia  $D(t)_{NOSG\alpha\_tp}$  puede calcularse mediante el teorema de Pitágoras:

$$D(t)_{NOSG\alpha\_tp} = \sqrt{(X(t)_{NOSG\alpha} - X_{tp})^2 + (Y(t)_{NOSG\alpha} - Y_{tp})^2 + (Z(t)_{NOSG\alpha} - Z_{tp})^2} \quad (16)$$

*Paso A.2.5:* Distancia entre el satélite del sistema de satélites no OSG  $\alpha$  y el satélite del sistema de satélites no OSG  $\beta$

Esta distancia  $D(t)_{NOSG\alpha\_beta}$  también puede calcularse mediante el teorema de Pitágoras:

$$D(t)_{NOSG\alpha\_beta} = \sqrt{(X(t)_{NOSG\alpha} - X(t)_{NOSG\beta})^2 + (Y(t)_{NOSG\alpha} - Y(t)_{NOSG\beta})^2 + (Z(t)_{NOSG\alpha} - Z(t)_{NOSG\beta})^2} \quad (17)$$

*Paso A.2.6:* Distancia entre el satélite del sistema de satélites no OSG  $\beta$  y el punto de prueba

Esta distancia  $D_{NOSG\beta\_tp}$  puede calcularse mediante el teorema de Pitágoras:

$$D(t)_{NOSG\beta\_tp} = \sqrt{(X(t)_{NOSG\beta} - X_{tp})^2 + (Y(t)_{NOSG\beta} - Y_{tp})^2 + (Z(t)_{NOSG\beta} - Z_{tp})^2} \quad (18)$$

*Paso A.2.7:* Ángulo de separación entre el satélite del sistema de satélites no OSG  $\alpha$  y el satélite del sistema de satélites no OSG  $\beta$  en el punto de prueba

Esta separación angular topocéntrica  $\nu(t)$  puede calcularse utilizando el teorema del coseno:

$$\theta(t) = \arccos \left( \frac{D(t)_{NOSG\alpha\_tp}^2 + D(t)_{NOSG\beta\_tp}^2 - D(t)_{NOSG\alpha\_beta}^2}{2D(t)_{NOSG\alpha\_tp} D(t)_{NOSG\beta\_tp}} \right) \quad (19)$$

*Paso A.2.8:* dfp producida por el satélite del sistema de satélites no OSG  $\alpha$  en el punto de prueba del sistema de satélites no OSG  $\beta$

La dfp (dB(W/(m<sup>2</sup> · 4 kHz))) puede expresarse mediante la fórmula:

$$\begin{aligned} DFP_{D-NOSG\alpha-\beta}(t) = \\ G_{NOSG\alpha-S-max} + DP_{NOSG\alpha-S-max} + \Delta G_{\alpha-\beta-S-ant} - 10 \log (4\pi D(t)_{NOSG\alpha\_tp}^2) + 10 \log (4\ 000) \end{aligned} \quad (20a)$$

siendo:

$$\begin{aligned} G_{NOSG\alpha-S-max}: & \text{ máxima ganancia de la antena del satélite (dBi)} \\ DP_{NOSG\alpha-S-max}: & \text{ máxima densidad de potencia del satélite del sistema de satélites} \\ & \text{ no OSG } \alpha \text{ (dB(W/Hz))} \end{aligned}$$

$\Delta G_{\alpha-\beta-S-ant}$ : ganancia relativa de la antena del satélite en dirección del punto de prueba de la estación terrena del sistema de satélites no OSG  $\beta$ .

La dfp (dB(W/(m<sup>2</sup> · 4 kHz))) causada por la estación terrena del sistema de satélites no OSG  $\alpha$  en el satélite del sistema de satélites no OSG  $\beta$  también puede expresarse mediante la siguiente fórmula:

$$DFP_{D-NOSG\alpha-\beta}(t) = G_{NOSG\alpha-ET-m\acute{a}x} + DP_{NOSG\alpha-ET-m\acute{a}x} + \Delta G_{\alpha-\beta-ET-ant} - 10 \log(4\pi D(t)_{NOSG\beta\_tp}^2) + 10 \log(4000) \quad (20b)$$

siendo:

$G_{NOSG\alpha-ET-m\acute{a}x}$ : máxima ganancia de antena de la estación terrena (dBi)

$DP_{NOSG\alpha-ET-m\acute{a}x}$ : máxima densidad de potencia de la estación terrena del sistema de satélites no OSG  $\alpha$  (dB(W/Hz))

$\Delta G_{\alpha-\beta-S-ant}$ : ganancia relativa de la antena de la estación terrena en dirección del satélite del sistema de satélites no OSG  $\beta$ .

Cuando se necesita conocer el ángulo con respecto al eje de la antena del satélite hacia el punto de prueba  $\varphi(t)$  para determinar el valor de  $\Delta G_{\alpha-\beta-S-ant}$ , el valor de  $\varphi(t)$  también puede calcularse utilizando el teorema del coseno:

$$\varphi(t) = \arccos\left(\frac{D(t)_{NOSG\alpha\_tp}^2 + D(t)_{NOSG\alpha\_bs}^2 - D_{tp\_bs}^2}{2D(t)_{NOSG\alpha\_tp}D(t)_{NOSG\alpha\_bs}}\right) \quad (21)$$

$D(t)_{NOSG\alpha\_bs}$  y  $D_{tp\_bs}$  son la distancia entre el satélite del sistema de satélites no OSG  $\alpha$  y el eje de puntería de su antena, y la distancia entre el punto de prueba y el eje de puntería de la antena del satélite del sistema de satélites no OSG  $\alpha$ , respectivamente. Estos valores pueden calcularse utilizando ecuaciones similares a las (15) y (16).

## Anexo 3

### Método de cálculo para verificar la existencia del trayecto en línea desde un sistema de satélites no OSG al otro sistema de satélites no OSG

#### 1 Introducción

En este Anexo se describe el método para comprobar la existencia de interferencia procedente de los sistemas de satélites no OSG.

Para realizar este análisis de interferencia es necesario calcular la separación angular de los satélites de un sistema no OSG desde la línea de visibilidad directa entre su estación terrena no OSG asociada y los satélites del otro sistema no OSG.

#### 2 Cálculo de la posición orbital geográfica a partir de los elementos orbitales del fichero Ap4

Es necesario calcular la posición orbital del satélite no OSG para determinar la separación angular.

La posición orbital geográfica se debe obtener antes de verificar la existencia de sucesos en línea. También puede utilizarse a tal efecto el método de cálculo gráfico de la posición orbital descrito en el Anexo 2.

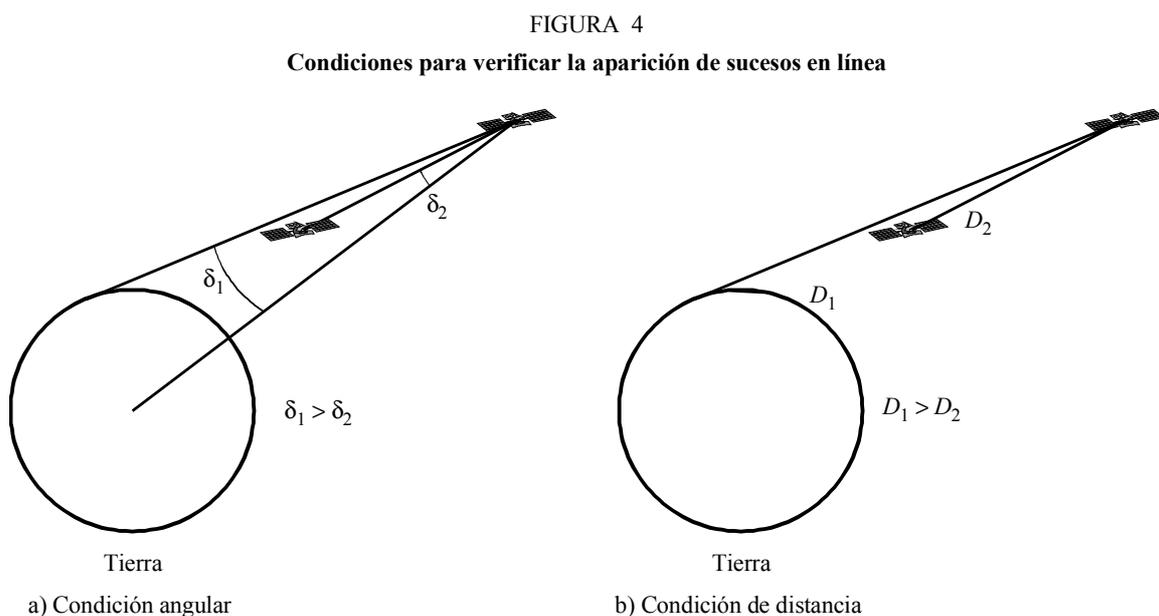
Con objeto de determinar si se producen sucesos en línea, debe aplicarse el siguiente método para valores de  $t$  que generan todas las posibles combinaciones de posiciones orbitales de los satélites en funcionamiento.

*Paso 0:* Se calculan las posiciones en el espacio de los satélites no OSG en su arco de servicio activo.

*Paso 1:* Se verifica si se producen o no las siguientes condiciones para todas las combinaciones de posiciones de los satélites no OSG en su arco de servicio activo:

- El ángulo subtendido en el satélite no OSG con la altitud más elevada entre el centro de la Tierra y el borde de la Tierra es superior al ángulo subtendido en ese mismo satélite no OSG entre el centro de la Tierra y el otro satélite no OSG (véase la Fig. 4a)).
- La distancia entre el borde de la Tierra y el satélite no OSG con la altitud más elevada es superior a la distancia entre ese mismo satélite no OSG y el otro satélite no OSG (véase la Fig. 4b)).

*Paso 2:* Se comprueba que no se producen sucesos en línea si no se satisface una de las dos condiciones anteriores. (Los sucesos en línea pueden aparecer únicamente cuando se satisfacen las dos condiciones citadas.)



### 3 Verificación de la existencia de trayectos en línea

Puede aplicarse el siguiente método para verificar la existencia de trayectos en línea.

*Paso A.3.1:* Posición orbital del sistema de satélites no OSG  $\alpha$

Basándose en la latitud (geocéntrica)  $\varphi'(t)_{NOSG\alpha}$ , la longitud  $\lambda(t)_{NOSG\alpha}$  y la altitud  $h(t)_{NOSG\alpha}$  del sistema de satélites no OSG  $\alpha$ , sus coordenadas geocéntricas vienen dadas por las ecuaciones:

$$\begin{aligned} X(t)_{NOSG\alpha} &= (R_E + h(t)_{NOSG\alpha}) \cos \varphi'(t)_{NOSG\alpha} \cos \lambda(t)_{NOSG\alpha} \\ Y(t)_{NOSG\alpha} &= (R_E + h(t)_{NOSG\alpha}) \cos \varphi'(t)_{NOSG\alpha} \operatorname{sen} \lambda(t)_{NOSG\alpha} \\ Z(t)_{NOSG\alpha} &= (R_E + h(t)_{NOSG\alpha}) \operatorname{sen} \varphi'(t)_{NOSG\alpha} \end{aligned} \quad (22)$$

siendo  $R_E$  el radio de la Tierra.

*Paso A.3.2:* Posición orbital del sistema de satélites no OSG  $\beta$

Basándose en la latitud  $\varphi'(t)_{NOSG\beta}$ , la longitud  $\lambda(t)_{NOSG\beta}$  y la altitud  $h(t)_{NOSG\beta}$  del sistema de satélites no OSG  $\beta$ , sus coordenadas geocéntricas vienen dadas por las ecuaciones:

$$\begin{aligned} X(t)_{NOSG\beta} &= (R_E + h(t)_{NOSG\beta}) \cos \varphi'(t)_{NOSG\beta} \operatorname{sen} \lambda(t)_{NOSG\beta} \\ Y(t)_{NOSG\beta} &= (R_E + h(t)_{NOSG\beta}) \cos \varphi'(t)_{NOSG\beta} \operatorname{sen} \lambda(t)_{NOSG\beta} \\ Z(t)_{NOSG\beta} &= (R_E + h(t)_{NOSG\beta}) \operatorname{sen} \varphi'(t)_{NOSG\beta} \end{aligned} \quad (23)$$

*Paso A.3.3:* Distancia entre el satélite del sistema de satélites no OSG  $\alpha$  y el satélite del sistema de satélites no OSG  $\beta$

Esta distancia  $D(t)_{NOSG\alpha,\beta}$  puede calcularse mediante el teorema de Pitágoras:

$$D(t)_{NOSG\alpha,\beta} = \sqrt{(X(t)_{NOSG\alpha} - X(t)_{NOSG\beta})^2 + (Y(t)_{NOSG\alpha} - Y(t)_{NOSG\beta})^2 + (Z(t)_{NOSG\alpha} - Z(t)_{NOSG\beta})^2} \quad (24)$$

*Paso A.3.4:* Verificación de la existencia de trayectos en línea utilizando la separación angular

La separación angular de los satélites del sistema no OSG  $\alpha$  desde la línea de visibilidad entre su punto subsatelital y los satélites de los sistemas de satélites no OSG  $\beta$   $\psi_{\alpha,\beta}(t)$  puede calcularse utilizando el teorema del coseno:

$$\psi_{\alpha,\beta}(t) = \arccos \left( \frac{D(t)_{NOSG\alpha,\beta}^2 + (X(t)_{NOSG\alpha}^2 + Y(t)_{NOSG\alpha}^2 + Z(t)_{NOSG\alpha}^2) - (X(t)_{NOSG\beta}^2 + Y(t)_{NOSG\beta}^2 + Z(t)_{NOSG\beta}^2)}{2D(t)_{NOSG\alpha,\beta} \sqrt{X(t)_{NOSG\alpha}^2 + Y(t)_{NOSG\alpha}^2 + Z(t)_{NOSG\alpha}^2}} \right) \quad (25)$$

Para verificar la existencia o no de trayectos en línea, deben comprobarse las siguientes desigualdades.

Si:

$$\sqrt{X(t)_{NOSG\alpha}^2 + Y(t)_{NOSG\alpha}^2 + Z(t)_{NOSG\alpha}^2} \geq \sqrt{X(t)_{NOSG\beta}^2 + Y(t)_{NOSG\beta}^2 + Z(t)_{NOSG\beta}^2}, \quad (26)$$

$$D(t)_{NOSG\alpha-\beta} < \sqrt{X(t)_{NOSG\alpha}^2 + Y(t)_{NOSG\alpha}^2 + Z(t)_{NOSG\alpha}^2 - R_E^2}$$

$$\Psi_{\alpha-\beta}(t) < \arccos \left( \frac{\sqrt{X(t)_{NOSG\alpha}^2 + Y(t)_{NOSG\alpha}^2 + Z(t)_{NOSG\alpha}^2 - R_E^2}}{\sqrt{X(t)_{NOSG\alpha}^2 + Y(t)_{NOSG\alpha}^2 + Z(t)_{NOSG\alpha}^2}} \right) \quad (27)$$

Si:

$$\sqrt{X(t)_{NOSG\alpha}^2 + Y(t)_{NOSG\alpha}^2 + Z(t)_{NOSG\alpha}^2} < \sqrt{X(t)_{NOSG\beta}^2 + Y(t)_{NOSG\beta}^2 + Z(t)_{NOSG\beta}^2}, \quad (28)$$

$$D(t)_{NOSG\beta-\alpha} < \sqrt{X(t)_{NOSG\beta}^2 + Y(t)_{NOSG\beta}^2 + Z(t)_{NOSG\beta}^2 - R_E^2}$$

$$\Psi_{\beta-\alpha}(t) < \arccos \left( \frac{\sqrt{X(t)_{NOSG\beta}^2 + Y(t)_{NOSG\beta}^2 + Z(t)_{NOSG\beta}^2 - R_E^2}}{\sqrt{X(t)_{NOSG\beta}^2 + Y(t)_{NOSG\beta}^2 + Z(t)_{NOSG\beta}^2}} \right) \quad (29)$$

Cuando se satisfacen ambas desigualdades, existen trayectos en línea en alguna parte de la superficie de la Tierra. Es decir, la posibilidad de que se produzca una situación en línea puede ser cero si alguna de estas desigualdades no se satisface.

Aun si esta verificación indica la existencia de sucesos de interferencia en línea en alguna parte de la superficie de la Tierra, existe la posibilidad de que no aparezcan dichos sucesos de interferencia en línea cuando se tengan en cuenta todos los datos de la zona de servicio de ambos sistemas.