

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1256

METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DE FLUJO DE POTENCIA TOTAL MÁXIMA EN LA ÓRBITA DE LOS SATÉLITES GEOESTACIONARIOS EN LA BANDA 6700-7075 MHz PRODUCIDA POR ENLACES DE CONEXIÓN DE SISTEMAS DE SATÉLITES NO GEOESTACIONARIOS DEL SERVICIO MÓVIL POR SATÉLITE EN EL SENTIDO DE TRANSMISIÓN ESPACIO-TIERRA

(Cuestión UIT-R 206/4)

(1997)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la banda 6700-7075 MHz está atribuida al servicio fijo por satélite (SFS), en el sentido espacio-Tierra, a título primario, para utilización por enlaces de conexión que funcionan con redes de satélites no geoestacionarios del servicio móvil por satélite (SMS);
- b) que la banda 6700-7075 MHz está atribuida también al SFS en el sentido Tierra-espacio, a título primario, y la banda 6725-7025 MHz sujeta al Plan de Adjudicaciones del Apéndice 30B del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) para redes de satélites geoestacionarios;
- c) que, en virtud del número S22.5A del RR, la densidad de flujo de potencia (dfp) total máxima producida dentro de $\pm 5^\circ$ de la órbita de los satélites geoestacionarios (OSG) por un sistema de satélites no geoestacionarios del SFS no deberá exceder de -168 dB(W/m²) en cualquier banda de 4 kHz de anchura;
- d) que la Resolución 115 de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (Ginebra, 1995) (CMR-95) invita al UIT-R a elaborar una metodología para determinar la densidad de flujo de potencia total máxima producida en la OSG por una red de satélites no geoestacionarios;
- e) que las redes de satélites no geoestacionarios del SMS tienen parámetros de transmisión y planos orbitales que caracterizan adecuadamente a estos sistemas según se especifica en el § A.3 vii) del Anexo 1 a la Resolución 46 (Rev.CMR-95),

recomienda

1 que para determinar el nivel máximo de densidad de flujo de potencia total (dB(W/m²) en cualquier anchura de banda de 4 kHz), en cualquier posición dentro de $\pm 5^\circ$ de inclinación de la OSG, producidos por los enlaces de conexión de una red de satélites no geoestacionarios que funcionan en la banda 6700-7075 MHz, en el sentido espacio-Tierra, se utilice la metodología que figura en el Anexo 1.

ANEXO 1

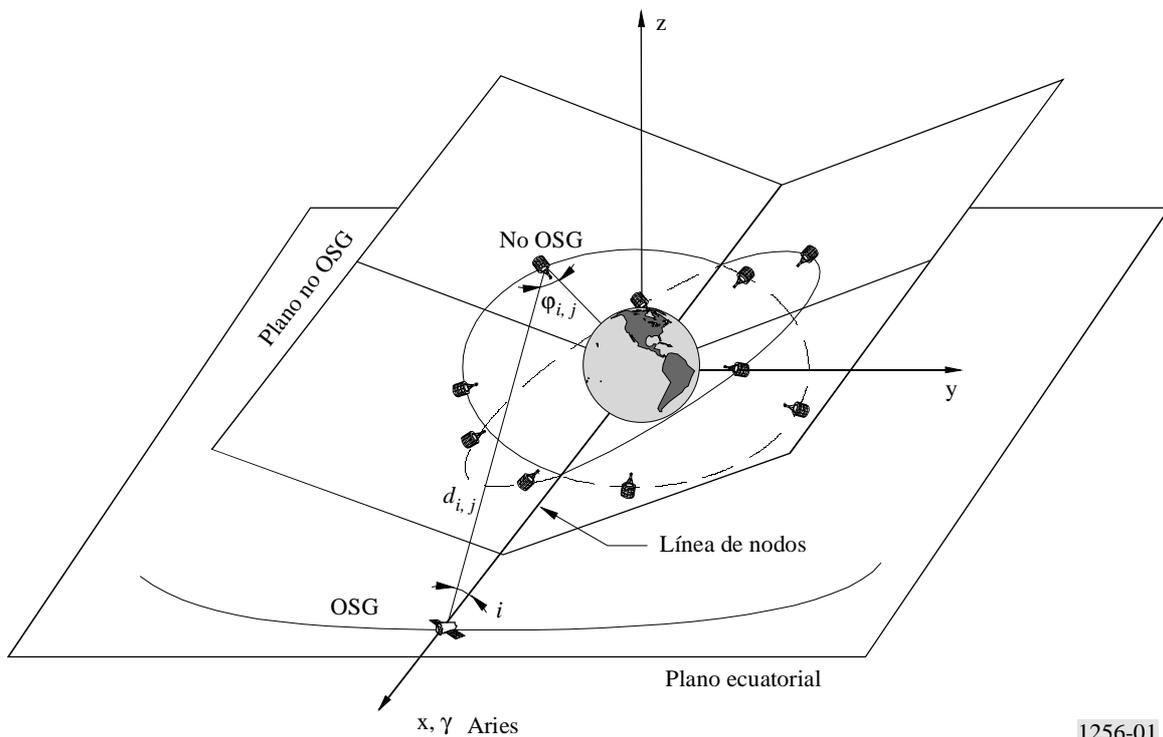
Metodología**1 Descripción de la metodología**

Para calcular la dfp total de una red de órbita de satélites no geoestacionarios (no OSG) en un solo emplazamiento de prueba en la OSG, es preciso establecer modelos de cálculo por computador de toda la constelación no OSG y un emplazamiento de prueba en la OSG.

Al observar básicamente que en una situación ordinaria un satélite OSG recorrerá la órbita en un periodo $T_{OSG} = 24$ h aproximadamente y que el periodo orbital de un satélite no OSG ($T_{no\ OSG}$) no es necesariamente un submúltiplo de T_{OSG} , pueden ser necesarias simulaciones estadísticas que emplean un tiempo considerable para determinar el escenario del caso más desfavorable que conduciría al nivel de dfp máximo en el emplazamiento OSG.

Para determinar la dfp máxima en cualquier posición OSG se puede efectuar una simulación simple que consume mucho menos tiempo. En lugar de un verdadero satélite OSG en órbita, se considera un emplazamiento de prueba fijo en la OSG cuya posición orbital está fija con respecto a un sistema cartesiano de referencia $0xyz$ (véase la Fig. 1) pero no con respecto al sistema de referencia de la Tierra en rotación. Teniendo esto presente, pues los satélites no OSG tienen un periodo orbital $T_{no\ OSG}$, significa que la posición de los satélites no OSG, vistos desde un emplazamiento de prueba OSG fijo (véase la Fig. 1), se repetirá al menos una vez por periodo orbital $T_{no\ OSG}$. Además, en el caso en que los satélites no OSG están uniformemente distribuidos en cada plano orbital, se repetirá la misma disposición geométrica de los satélites no OSG con un periodo igual a $T_{no\ OSG}/N_s$ (donde N_s es el número de satélites no OSG uniformemente distribuidos en un plano). Con estas consideraciones básicas, la dfp total (integrada por la sumatoria de los satélites no OSG visibles) en el emplazamiento de prueba OSG tendrá valores que se repetirán en ese periodo.

FIGURA 1
Geometría de la constelación OSG/no OSG para calcular la dfp: $\Delta\Omega = 0^\circ$



1256-01

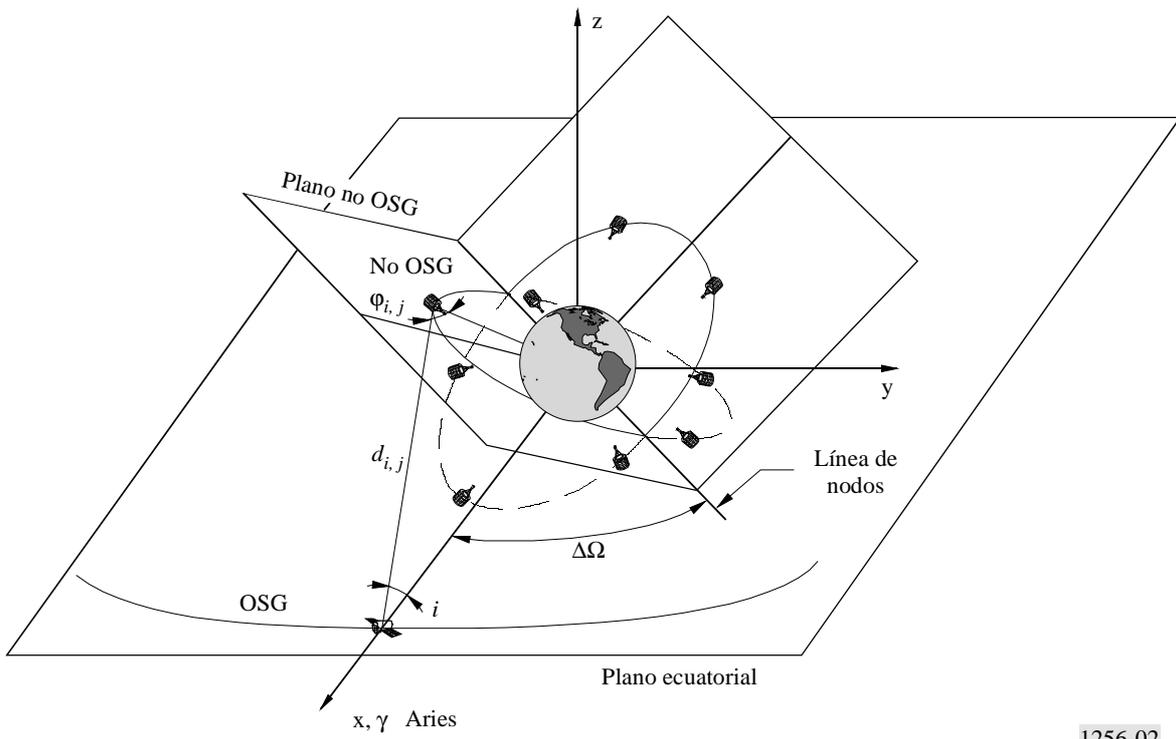
Se puede calcular la dfp total para cada incremento de tiempo, y determinar la dfp total máxima, para el emplazamiento de prueba OSG elegido, durante el periodo de simulación de T_0 a $T_0 + T_{no\ OSG}/N_s$.

El valor hallado para el emplazamiento de prueba OSG en la Fig. 1 no es necesariamente el nivel máximo de dfp. Para encontrar el nivel de dfp total máximo lo más elevado posible, se debe repetir el mismo procedimiento a las otras posiciones de prueba OSG incrementando el ángulo $\Delta\Omega$ (véase la Fig. 2) entre el emplazamiento de prueba OSG y la línea de nodos no OSG. Esta segunda iteración se dará para ángulos de $\Delta\Omega$ entre 0° y $\Delta\Omega_{m\acute{a}x} = 360^\circ/N_p$, donde N_p es el número de planos orbitales de satélites no OSG. En los casos en que N_p es par (como para LEO-F y LEO-D), $\Delta\Omega_{m\acute{a}x} = 180^\circ/N_p$.

Este método también se puede aplicar para cualquier constelación no OSG que no satisface los requisitos orbitales especificados anteriormente (por ejemplo, distribución de satélite no uniforme, órbitas elípticas). En tales casos la simulación de tiempo se efectuará para un periodo de tiempo igual al periodo de repetibilidad mínimo de la configuración de la constelación, que en muchos casos es igual al periodo de constelación $T_{no\ OSG}$.

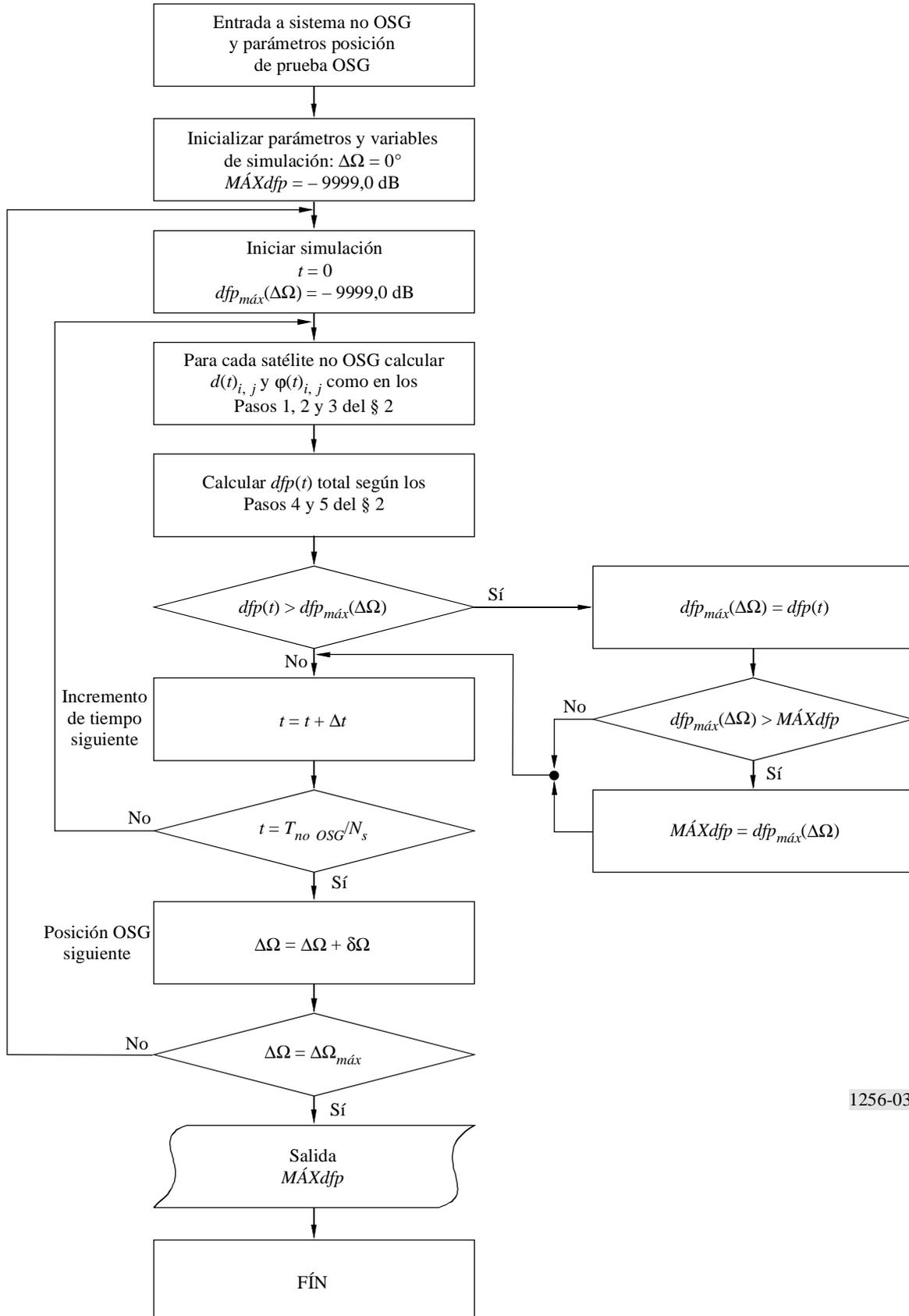
En el § 2 figuran todas las ecuaciones básicas necesarias para llegar al nivel de dfp total desde una red no OSG determinada a un determinado emplazamiento de prueba en la OSG, y la Fig. 3 muestra el diagrama de flujos para la realización del soporte lógico de la metodología aquí descrita.

FIGURA 2
 Geometría de la constelación OSG/no OSG para calcular la dfp: $\Delta\Omega \neq 0^\circ$



1256-02

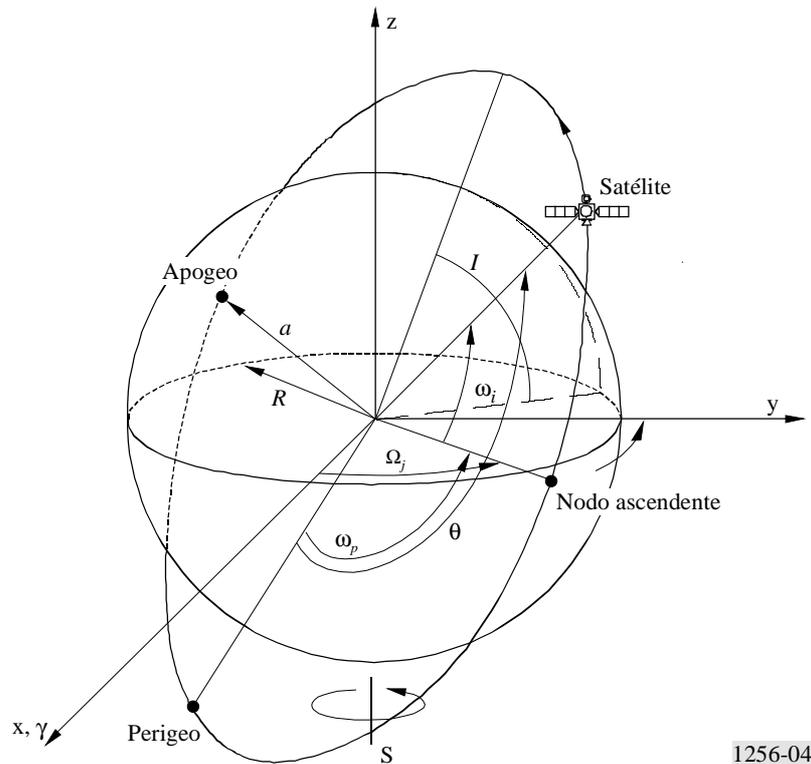
FIGURA 3
Diagrama de flujos de metodología



2 Pasos de simulación básicos

Paso 1: Posición orbital de los satélites no OSG

FIGURA 4
Órbita no OSG y sistemas de referencia



1256-04

La Fig. 4 indica los diversos parámetros que son necesarios para determinar plenamente y en todo instante la posición de cualquier satélite no OSG en su órbita. Estos parámetros figuran en el § A.3 vii) del Anexo 1 a la Resolución 46 (Rev.CMR-95):

- a : semieje mayor, en el caso de una órbita circular el semieje mayor es constante e igual al radio de la órbita
- I : inclinación de la órbita relativa al plano ecuatorial
- Ω_j : ascensión recta del nodo ascendente para el j -ésimo plano orbital, medido en el sentido contrario a las agujas del reloj en el plano ecuatorial en la dirección del equinoccio vernal hacia el punto en que el satélite atraviesa el plano ecuatorial de Sur a Norte ($0^\circ \leq \Omega_j < 360^\circ$)
- ω_p : argumento del perigeo, para una órbita circular, el perigeo es igual al apogeo y así ω_p se puede poner a 0°
- ω_i : ángulo de fase inicial para el i -ésimo satélite en su plano orbital en el tiempo de referencia $t=0$, medido desde el punto de nodo ascendente ($0^\circ \leq \omega_i < 360^\circ$)
- θ : anomalía verdadera del satélite.

Para una constelación de satélites no OSG que utilizan órbitas circulares, a e I serán constantes y ω_p será igual a cero, la variación de la posición de cada satélite estará definida entonces por Ω y θ .

Para una órbita circular, la velocidad angular de un satélite es constante, la posición angular de un satélite es entonces igual a su anomalía verdadera y viene dada por la siguiente expresión:

$$\theta(t)_{i,j} = \frac{360^\circ}{T} t + \omega_{i,j} \quad (1)$$

Para $i = 1$ a N_s y $j = 1$ a N_p , donde N_s es el número de satélites en cada plano orbital, N_p es el número de planos orbitales y T es el periodo orbital en segundos dado por:

$$T = 2 \pi \sqrt{a^3/\mu} \quad (2)$$

donde μ es la constante gravitacional geocéntrica que es igual a $3,986 \text{ E}14(\text{m}^3\text{s}^{-2})$.

Los diversos valores de Ω_j dependerán de la geometría de la constelación y se darán en el conjunto de elementos que figuran en el § A.3 vii) del Anexo 1 a la Resolución 46 (Rev.CMR-95). El mismo principio se aplica a los valores de $\omega_{i,j}$.

Conociendo la anomalía verdadera $\theta_{i,j}(t)$ de cada satélite y la ascensión recta de su nodo ascendente Ω_j , sus coordenadas geocéntricas se calculan mediante las siguientes expresiones:

$$x(t)_{i,j} = a \left[\cos \Omega_j \cos \theta(t)_{i,j} - \cos I \sin \Omega_j \sin \theta(t)_{i,j} \right] \quad (3)$$

$$y(t)_{i,j} = a \left[\sin \Omega_j \cos \theta(t)_{i,j} + \cos I \cos \Omega_j \sin \theta(t)_{i,j} \right] \quad (4)$$

$$z(t)_{i,j} = a \left[\sin I \sin \theta(t)_{i,j} \right] \quad (5)$$

La posición del emplazamiento de prueba OSG con respecto a la línea de nodos de la constelación no OSG se determina por $\Delta\Omega$ (véase el § 1). En consecuencia, en las ecuaciones (3), (4) y (5), $\Omega_j = \Omega_{j,0} + \Delta\Omega$, donde $\Delta\Omega$ varía de 0 a $\Delta\Omega_{m\acute{a}x}$ (véase el § 1) y $\Omega_{j,0} = \Omega_j$ para $\Delta\Omega = 0$.

Paso 2: Distancia entre el satélite no OSG y el emplazamiento de prueba en el OSG

x_{OSG} , y_{OSG} y z_{OSG} son las coordenadas geocéntricas del emplazamiento de prueba OSG expresado por:

$$x_{OSG} = a_{OSG} \cdot \cos I_{OSG} \quad (6)$$

$$y_{OSG} = 0 \quad (7)$$

$$z_{OSG} = a_{OSG} \cdot \sin I_{OSG} \quad (8)$$

donde:

a_{OSG} : semieje principal de la órbita geoestacionaria (42 164 km)

I_{OSG} : inclinación de la órbita geoestacionaria ($-5^\circ \leq I_{OSG} \leq 5^\circ$).

Estas ecuaciones permanecen constantes durante la simulación dado que es más simple variar Ω_j en las ecuaciones (3), (4) y (5) incrementando el desplazamiento $\Delta\Omega$.

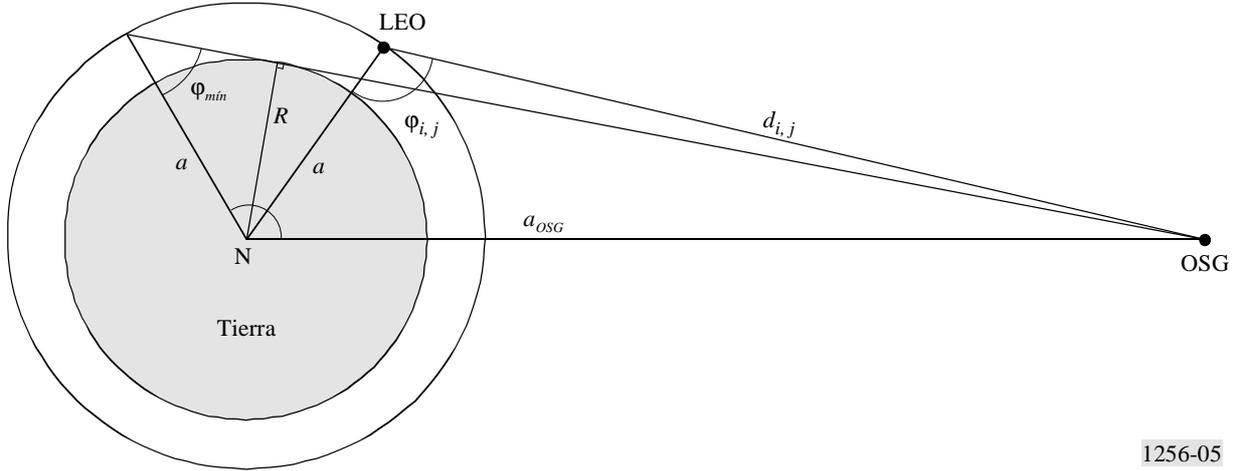
La distancia entre un satélite no geoestacionario y el emplazamiento de prueba OSG se puede calcular mediante el teorema de Pitágoras:

$$d(t)_{i,j} = \sqrt{(x_{OSG} - x(t)_{i,j})^2 + y(t)_{i,j}^2 + (z_{OSG} - z(t)_{i,j})^2} \quad (9)$$

Paso 3: Cálculo del ángulo fuera del eje de la antena no OSG con respecto al emplazamiento de prueba en la OSG

La Fig. 5 muestra la geometría, representada en un diagrama bidimensional, del ángulo fuera del eje de un satélite no OSG con respecto al emplazamiento de prueba en la OSG.

FIGURA 5
Cálculo de $\varphi_{i,j}$



1256-05

El ángulo fuera del eje de la antena no OSG se puede determinar utilizando el teorema de Carnot (también conocido como teorema del «coseno»):

$$\varphi(t)_{i,j} = \arccos \left(\frac{a^2 + d(t)_{i,j}^2 - a_{OSG}^2}{2 a d(t)_{i,j}} \right) \quad (10)$$

Paso 4: Cálculo de la ganancia de antena fuera del eje no OSG con respecto al emplazamiento de prueba en la OSG

Tomando el valor del ángulo fuera del eje calculado mediante la ecuación (10), es posible calcular la ganancia de antena fuera del eje $G(\varphi(t)_{i,j})$ para cada satélite visible. Sin embargo, como se ve en la Fig. 5 esto sólo es necesario si $\varphi(t)_{i,j}$ es mayor que un valor mínimo de $\varphi_{mín}$ dado por:

$$\varphi_{mín} = \arcsen (R/a) \quad (11)$$

Paso 5: Cálculo del nivel de dfp total radiada hacia el emplazamiento de prueba OSG

El nivel de dfp total se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$dfp(t) = \frac{P_{cresta, 4kHz}}{4\pi} \sum_{i,j=1 \text{ a } N(t)_v} \frac{G(\varphi(t)_{i,j})}{d(t)_{i,j}^2} \quad \text{para } \varphi(t)_{i,j} \geq \varphi_{mín} \quad (12)$$

donde:

$P_{cresta, 4kHz}$: potencia de cresta en la banda de 4 kHz más desfavorable a la entrada de la antena de satélite no OSG, suponiendo constante e igual para todos los satélites no OSG

$N(t)_v$: número de satélites no OSG visibles desde el emplazamiento de prueba OSG en el tiempo t .

3 Número total de pasos e incrementos por paso para la simulación

Para calcular la dfp total máxima en dirección de la OSG desde una red no OSG son necesarios dos pasos de simulación, el paso de incremento de tiempo Δt y el paso de incremento de ascensión recta $\delta\Omega$.

Considerando que no hay interferencia directa en línea producida por los satélites no OSG (utilizan antenas de baja ganancia e isoflujo o bien la interferencia procede de los lóbulos laterales de la antena transmisora), diversas simulaciones (para LEO-D y LEO-F) han mostrado que un incremento angular no mayor que $0,5^\circ$ es suficiente para obtener resultados válidos. Los incrementos serán entonces:

$$\Delta t = \frac{T(s) \times 0,5^\circ}{360^\circ}$$

$$\delta\Omega = 0,5^\circ$$

El tiempo de simulación total para cada emplazamiento de prueba OSG y el número total de emplazamientos de prueba OSG figuran en el § 1.
