

**UIT-R**

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

**Recomendación UIT-R M.1642-2  
(10/2007)**

**Metodología para evaluar el valor máximo de la densidad de flujo de potencia equivalente combinada de una estación del servicio de radionavegación aeronáutica procedente de todos los sistemas del servicio de radionavegación por satélite que funcionan en la banda 1 164-1 215 MHz**

**Serie M**

**Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos**



## Prólogo

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

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

## Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

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

### Series de las Recomendaciones UIT-R

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

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

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

Publicación electrónica  
Ginebra, 2010

© UIT 2010

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

## RECOMENDACIÓN UIT-R M.1642-2

**Metodología para evaluar el valor máximo de la densidad de flujo de potencia equivalente combinada de una estación del servicio de radionavegación aeronáutica procedente de todos los sistemas del servicio de radionavegación por satélite que funcionan en la banda 1 164-1 215 MHz**

(2003-2005-2007)

**Cometido**

Esta Recomendación proporciona una metodología y las características de la antena de referencia para evaluar el nivel máximo de la densidad de flujo de potencia equivalente (dfpe) combinada producida a la entrada de una estación del servicio de radionavegación aeronáutica (SRNA) por todos los sistemas del servicio de radionavegación por satélite (SRNS) que funcionan en cualquier sub-banda de la banda 1 164-1 215 MHz.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que conforme al Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), la banda 960-1 215 MHz está atribuida con carácter primario al servicio de radionavegación aeronáutica (SRNA), en todas las Regiones de la UIT;
- b) que los análisis muestran que las señales del servicio de radionavegación por satélite (SRNS) en la banda 1 164-1 215 MHz pueden diseñarse para no causar interferencia a los receptores DME/TACAN del SRNA que funcionan en esta banda;
- c) que se ha elaborado un criterio de protección para el SRNA, expresado en términos de la densidad de flujo de potencia equivalente (dfpe), el cual se indica en la Recomendación UIT-R M.1639,

*reconociendo*

- a) que la CMR-2000 introdujo una atribución primaria con igualdad de derechos al SRNS en la banda de frecuencias 1 164-1 215 MHz sujeta a la condición de que el SRNS proteja al SRNA contra la interferencia perjudicial;
- b) que la CMR-03 determinó que la protección del SRNA contra el SRNS puede lograrse si el valor de la densidad del flujo de potencia equivalente (dfpe) producida por todas las estaciones espaciales de todos los sistemas del SRNS (espacio-Tierra) en la banda 1 164-1 215 MHz no rebasa el nivel de  $-121,5 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en cualquier banda de 1 MHz, y adoptó la Resolución 609 (CMR-03) para asegurar que no se supera este nivel;
- c) que el SRNA es un servicio de seguridad, conforme al número 1.59 del RR y que es preciso que las administraciones adopten medidas especiales para proteger estos servicios, conforme a la disposición del número 4.10 del RR,

*recomienda*

1 que se utilice la metodología del Anexo 1 y las características de referencia del SRNA del Anexo 2 para calcular el valor máximo de la dfpe combinada producida por las emisiones de todos los sistemas del SRNS en toda estación de radionavegación aeronáutica.

## **Anexo 1**

### **Metodología para evaluar el valor máximo de la dfpe combinada de una estación del SRNA procedente de todos los sistemas del SRNS que funcionan en la banda 1 164-1 215 MHz**

#### **Resumen del método**

Con este método que se describe en este Anexo es posible calcular el nivel máximo de la dfpe combinada de todos los sistemas SRNS en la banda 1 164-1 215 MHz.

Este método permite combinar fácilmente los distintos sistemas, de forma que pueda examinarse durante una reunión de consultas el efecto de modificaciones tales como la inclusión o exclusión de uno o varios sistemas o el efecto de modificar las características de sistemas específicos.

El método da cabida a los sistemas no OSG, con constelaciones de satélite en cualquier órbita de cualquier inclinación, y a los sistemas OSG.

El método se basa en un proceso de dos etapas:

*Etapas 1:* Cálculo de la dfpe de cada sistema individual del SRNS. Esta etapa puede efectuarla independientemente cada operador antes de la reunión de consultas, siempre que los resultados se presenten en un formato compatible (véase el § 1.3 para los sistemas no OSG y el § 1.4 para los sistemas OSG).

*Etapas 2:* Combinación del nivel máximo de la dfpe de los sistemas individuales, mediante superposición de los mapas, si es necesario en frecuencias distintas, a fin de obtener el nivel máximo de la dfpe combinada (véase el § 2) en la banda 1 164-1 215 MHz.

#### **Descripción del método**

### **1 Método para calcular la dfpe máxima procedente de los satélites de un sistema del SRNS**

#### **1.1 Definición de la dfpe**

La definición de la densidad de flujo de potencia equivalente (dfpe) se basa en el número 22.5C.1 del RR adoptado en la CMR-2000.

Cuando una antena recibe potencia en su anchura de banda de referencia, simultáneamente de transmisores situados en distancias distintas, en diversas direcciones y con niveles varios de dfp incidente, la dfpe es la dfp que, si se recibiera desde un único transmisor en el campo lejano de la antena en la dirección de la ganancia máxima, produciría la misma potencia de entrada al receptor que la realmente recibida del conjunto de los diversos transmisores.

La *dfpe* instantánea se calcula utilizando la fórmula siguiente:

$$dfpe = 10 \log_{10} \left[ \sum_{i=1}^{N_a} 10^{10} \cdot \frac{P_i}{4\pi d_i^2} \cdot \frac{G_t(\theta_i)}{G_{r, \text{máx}}} \right]$$

siendo:

- $N_a$ : número de estaciones espaciales visibles desde el receptor
- $i$ : índice de la estación espacial considerada
- $P_i$ : potencia de RF (en la anchura de banda de referencia) a la entrada de la antena (o potencia radiada de RF en el caso de una antena activa) de la estación espacial transmisora (dB(W/MHz))
- $\theta_i$ : ángulo (grados) entre el eje de apuntamiento de la estación espacial transmisora y la dirección del receptor
- $G_t(\theta_i)$ : ganancia de la antena transmisora (relación) de la estación espacial en la dirección del receptor
- $d_i$ : distancia (m) entre la estación transmisora y el receptor
- $\varphi_i$ : ángulo (grados) entre la dirección de apuntamiento del receptor y la dirección de la estación espacial transmisora
- $G_r(\varphi_i)$ : ganancia de la antena receptora (relación) del receptor, en la dirección de la estación espacial transmisora (véase el Anexo 2)
- $G_{r, \text{máx}}$ : ganancia máxima (relación) del receptor
- $dfpe$ : densidad de flujo de potencia equivalente instantánea (dB(W/(m<sup>2</sup> · MHz))) en el receptor.

NOTA 1 – Se supone que cada transmisor está situado en el campo lejano del receptor (esto es, a una distancia superior a  $2D^2/\lambda$ , donde  $D$  es el diámetro efectivo de la antena del receptor y  $\lambda$  es la longitud de onda observada en la misma unidad). En el caso que se considera, siempre se satisface.

## 1.2 Consideración general

En la primera etapa del método, se calcula la *dfpe* máxima para cada constelación de satélites del SRNS en cada latitud y longitud a lo largo de toda la superficie de la Tierra, para cada tramo de 1 MHz de espectro ocupado por el sistema.

Como el receptor del SRNA que sufre la interferencia puede ir montado en una aeronave que vuele a una altitud de hasta 40 000 pies (12 192 m) (véase el § 2 del Anexo 2), el cálculo debe incluir todos los satélites con ángulos de elevación comprendidos entre 90° y –3,54°.

El cálculo de la distribución de la *dfpe* de cada sistema sólo es necesario a una única frecuencia de referencia, preferentemente la frecuencia en la que la potencia de la señal es máxima. Debe comunicarse la forma espectral de la señal de SRNS a la reunión de consultas, de forma que los resultados del cálculo puedan entonces multiplicarse por los factores adecuados de conformación espectral para obtener los resultados en cualquier otra frecuencia.

## 1.3 Método para calcular la *dfpe* máxima de un sistema del SRNS no OSG

Para este cálculo puede utilizarse la metodología de simulación del Apéndice 1 al Anexo 1, que se basa enteramente en la Recomendación UIT-R S.1325.

La metodología que figura en el Apéndice 2 al Anexo 1 se basa plenamente en una técnica analítica. El método puede utilizarse para obtener estimaciones rápidas, pero no da un resultado exacto del extremo superior.

#### **1.4 Método para calcular la dfpe máxima de un sistema del SRNS OSG**

Es preciso calcular la dfpe máxima de cada satélite OSG en cada latitud y longitud a lo largo de toda la superficie de la Tierra para cada tramo de 1 MHz de espectro ocupado por el sistema.

En este caso, la dfpe no dependerá del tiempo, de forma que puede calcularse directamente un cuadro único de resultados.

### **2 Método para calcular la dfpe máxima combinada procedente de todos los sistemas del SRNS**

#### **2.1 Datos necesarios para cada sistema**

Si se ha seguido la metodología del § 1.3, cada sistema del SRNS no OSG que no tenga un periodo geosíncrono aportará a la reunión de consultas una relación de los valores máximos de la dfpe en función de la latitud (aplicable a todas las longitudes) y una forma espectral de la señal.

Si se ha seguido la metodología del § 1.3, cada sistema del SRNS no OSG con un periodo geosíncrono, aportará a la reunión de consultas una relación de los valores máximos de la dfpe en función de la latitud y la longitud y una forma espectral de la señal.

Si se ha seguido el método del § 1.4, cada sistema del SRNS OSG aportará a la reunión de consultas un cuadro de los valores máximos de la dfpe en función de la latitud y la longitud y una forma espectral de la señal.

#### **2.2 Combinación de los valores de la dfpe de sistemas con características de señal similares**

La determinación de la dfpe combinada de sistemas del SRNS con la misma frecuencia del máximo espectral de la señal puede lograrse utilizando tres pasos:

*Paso 1a:* Suma punto a punto de los valores máximos de la dfpe en el tramo de 1 MHz de banda en que la señal tiene una potencia máxima en cada latitud de todas las listas de los sistemas no OSG (que no tengan un periodo geosíncrono), a fin de obtener la lista de los valores de la dfpe combinada de sistemas no OSG (que no tengan un periodo geosíncrono) en función de la latitud;

*Paso 1b:* Suma punto a punto de los valores máximos de las dfpe en el tramo de 1 MHz de banda en que la señal tiene una potencia máxima en cada latitud y longitud de todas las listas de los sistemas no OSG (con un periodo geosíncrono) a fin de obtener la lista de los valores de la dfpe combinada de sistemas no OSG (con un periodo geosíncrono) en función de la latitud y la longitud;

*Paso 2:* Suma punto a punto de los valores máximos de la dfpe en el tramo de 1 MHz de la banda en que la señal tiene una potencia máxima en cada punto de latitud y longitud de todos los cuadros OSG, para obtener el cuadro de los valores de la dfpe combinada de sistemas OSG en función de la latitud y de la longitud;

*Paso 3:* Suma punto a punto de la lista de valores de la dfpe combinada de sistemas no OSG (que no tengan un periodo geosíncrono) en función de la latitud y la lista de valores de la dfpe combinada de sistemas no OSG (con un periodo geosíncrono) en función de la latitud y la longitud para cada columna de longitud del cuadro de valores de la dfpe combinada de sistemas OSG en función de la latitud y la longitud, a fin de obtener el cuadro general de valores de la dfpe combinada en función de la latitud y la longitud.

El examen de la dfpe más alta de este cuadro indicará si se respeta el criterio de protección de la Recomendación UIT-R M.1639 en todo tramo de 1 MHz de la banda.

### **2.3 Combinación de valores de la dfpe de sistemas con características de señal diferentes**

Debe señalarse que el valor máximo de la dfpe combinada dependerá de la frecuencia. Si los espectros de los sistemas del SRNS en consideración tienen sus máximos en la misma frecuencia, bastará con un análisis único. No obstante, si los distintos sistemas tienen máximos diferentes, debido a la utilización de frecuencias centrales distintas con espectros que se superponen o porque utilizan técnicas diferentes de modulación, el análisis del valor máximo de la dfpe combinada exigirá tener en cuenta la frecuencia.

La determinación del valor máximo de la dfpe combinada de los sistemas del SRNS con distintas frecuencias centrales exigirá, como mínimo, la realización de los tres pasos anteriores en cada frecuencia para la que cualquiera de los sistemas tiene su máximo espectral de la señal, y puede también exigir un análisis en frecuencias intermedias.

Para cada frecuencia, cada lista o cuadro se ponderará con el factor adecuado de conformación espectral, antes de la suma con otras listas y cuadros.

El examen de la dfpe más alta en todos los cuadros resultantes determinará si se respeta el criterio de protección de la Recomendación UIT-R M.1639 en todo tramo de 1 MHz de la banda.

### **2.4 Verificación de resultados**

Tras la determinación del valor máximo de la dfpe combinada, puede considerarse la posibilidad de realizar una simulación única simultánea de todos los sistemas del SRNS en el emplazamiento de la estación del SRNA en que se determinó la aparición del valor máximo absoluto de la dfpe, para confirmar los resultados obtenidos utilizando el Apéndice 1 ó 2 al Anexo 1.

## **Apéndice 1 al Anexo 1**

### **Metodología de simulación para determinar la dfpe máxima de un sistema del SRNS no OSG**

#### **1 Descripción del método y el enfoque de simulación**

El marco de esta metodología basada en la Recomendación UIT-R S.1325 consiste en el establecimiento de un modelo de todos los satélites de un sistema del SRNS en una frecuencia de referencia específica (generalmente en el tramo de 1 MHz de la banda 1164-1215 MHz con la máxima densidad espectral de la señal del SRNS). Se muestra una simulación de la constelación durante un periodo de tiempo a un índice relativamente fino. En cada muestra se calcula la dfpe para todos los puntos de latitud y longitud. La muestra máxima debe registrarse para cada punto de latitud y longitud. Pueden descartarse otras muestras. El resultado es un cuadro que puede representarse como un mapa, tal como ilustra las Figs. 5 y 6. Tras esto, se debe determinar la dfpe máxima para cada latitud, con lo que se eliminarán las aproximaciones debidas a la limitación del tiempo de simulación.

## 2 Hipótesis de la simulación

### 2.1 Modelo de la órbita

Los modelos de la órbita con el que se simulan las estaciones espaciales en sus órbitas se refieren a órbitas circulares y elípticas, teniendo en cuenta únicamente la precesión de la línea de nodos a lo largo del plano ecuatorial, debida a la esfericidad de la Tierra.

El modelo de la órbita representa el movimiento del satélite en un marco de coordenadas inerciales geocéntricas, tal como se representa en la Fig. 1. El origen de este marco inercial está en el centro de la Tierra. El eje  $x$  apunta al primer punto de la constelación de Aries (es decir, el equinoccio vernal), el eje  $z$  es el eje de rotación media de la Tierra y el eje  $y$  se determina como el producto de los vectores unitarios en la dirección  $z$  y la  $x$ , es decir,  $\vec{y} = \vec{z} \times \vec{x}$ .

Los modelos orbitales se basan en la ecuación de Newton del movimiento de un satélite que describe una órbita circular y elíptica alrededor de una Tierra perfectamente esférica. Para los sistemas no OSG que utilizan órbita circular, las características de este movimiento que facilitan el establecimiento del modelo son que el radio orbital del satélite y su velocidad son constantes.

#### 2.1.1 Constantes relacionadas con la Tierra

Para la Tierra, las constantes generales son:

$R_e$ : radio de la Tierra (6 378,137 km)

$O$ : centro de la Tierra

$\mu$ : constante de rotación de la Tierra ( $3,986005 \times 10^5 \text{ km}^3/\text{s}^2$ )

$J_2$ : constante del segundo armónico del potencial de la Tierra ( $1\,082,63 \times 10^{-6}$ )

$T_e$ : periodo de rotación de la Tierra (23 h 56' 4,0989" = 86 164,0989 s)

$\Omega_e$ : velocidad angular de rotación de la Tierra =  $2\pi/T_e \cong 7,2921151467 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$

$t$ : tiempo transcurrido desde la época simulada (s).

#### 2.1.2 Constantes relacionadas con la estación espacial de un sistema de satélite no OSG

Para las estaciones espaciales de sistemas de satélites no OSG que utilizan órbitas circulares (véase la Fig. 1), las constantes son las siguientes:

$N$ : número de estaciones espaciales del sistema no OSG

$i$ : índice de cada uno de los satélites no OSG ( $0 \leq i < N$ )

$h_{sat}$ : altitud del satélite sobre la Tierra (km)

$r$ : radio de la órbita del satélite (km) =  $h_{sat} + R_e$

$I$ : ángulo de inclinación del plano orbital sobre el ecuador (rad)

RAAN: ascensión recta del nodo ascendente

$\Omega_{i,0}$ : RAAN del  $i$ -ésimo satélite no OSG en el instante  $t$  (rad)

$u_{i,0}$ : argumento de la latitud del  $i$ -ésimo satélite no OSG en el instante  $t$  (rad)

$T$ : periodo orbital del satélite (s) =  $2\pi (r^3/\mu)^{1/2}$

$n$ : movimiento medio de un satélite (rad/s) =  $2\pi/T$

$u_{i,t}$ : argumento de la latitud del  $i$ -ésimo satélite en el instante  $t$  (rad) =  $u_{i,0} + n_t$

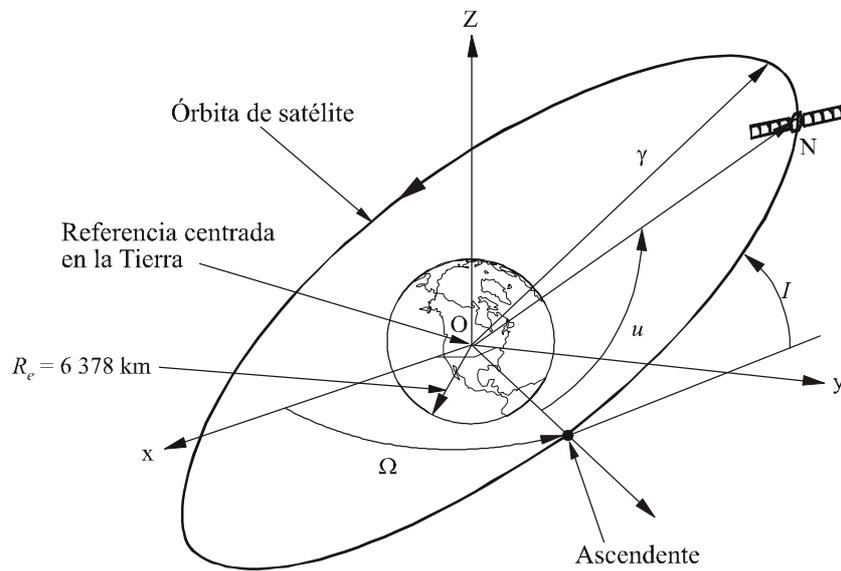
$\Omega_r$ : regresión nodal del nodo ascendente (rad/s) =  $-\frac{3}{2} J_2 \cos(I) R_e^2 \frac{\sqrt{r\mu}}{r^4}$

$\Omega_{i,t}$ : RAAN del  $i$ -ésimo satélite en el instante  $t$  (rad) =  $\Omega_{i,0} + \Omega_i t$

$\vec{ON}_i$ : vector de coordenadas (sistema de coordenadas inercial) de un satélite no OSG en el marco de coordenadas fijas centrado en la Tierra:

$$\vec{ON}_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = r \begin{bmatrix} \cos(u_{i,t}) \cdot \cos(\Omega_{i,t}) - \cos(I) \cdot \text{sen}(u_{i,t}) \cdot \text{sen}(\Omega_{i,t}) \\ \cos(u_{i,t}) \cdot \text{sen}(\Omega_{i,t}) + \cos(I) \cdot \text{sen}(u_{i,t}) \cdot \cos(\Omega_{i,t}) \\ \text{sen}(u_{i,t}) \cdot \text{sen}(I) \end{bmatrix}$$

FIGURA 1  
Geometría de la órbita circular



- $\gamma$ : semieje mayor
- $u$ : argumento de la latitud del satélite
- $I$ : ángulo de inclinación
- $\Omega$ : RAAN

1642-01

Para las estaciones espaciales del sistema de satélites no OSG que utilizan órbitas elípticas (véanse las Figs. 2 y 3), las constantes son las siguientes:

- $N$ : número de estaciones espaciales del sistema de satélites no OSG
- $i$ : índice de cada uno de los satélites no OSG ( $0 \leq i < N$ )
- $a_i$ : semieje mayor del  $i$ -ésimo satélite (km)
- $e_i$ : excentricidad del  $i$ -ésimo satélite
- $M_{i,0}$ : anomalía media del  $i$ -ésimo satélite no OSG en el instante inicial (rad)
- $T_i$ : periodo orbital del  $i$ -ésimo satélite (s) =  $2\pi(a_i^3 / \mu)^{1/2}$
- $n_i$ : movimiento medio del  $i$ -ésimo satélite (rad/s) =  $2\pi/T_i$

$v_{i,t}$ : anomalía verdadera del  $i$ -ésimo satélite en el instante  $t = 2 \cdot \text{tg}^{-1} \left[ \sqrt{\frac{1+e_i}{1-e_i}} \text{tg} \frac{E_{i,t}}{2} \right]$

$E_{i,t}$ : anomalía excéntrica del  $i$ -ésimo satélite en el instante

$$t = 2 \cdot \text{tg}^{-1} \left[ \frac{\sqrt{1-e_i} \text{tg} \left( \frac{v_{i,t}}{2} \right)}{\sqrt{1+e_i}} \right]$$

$M_{i,t}$ : anomalía media del  $i$ -ésimo satélite en el instante

$$t = M_{i,0} + n_i \cdot t = E_{i,t} - e_i \cdot \text{sen} E_{i,t}^*$$

$I_i$ : ángulo de inclinación del plano orbital por encima del ecuador del  $i$ -ésimo satélite (rad)

RAAN: ascensión recta del nodo ascendente

$\Omega_{i,0}$ : RAAN de cada  $i$ -ésimo satélite no OSG en el instante inicial (rad)

$\omega_{i,0}$ : argumento del perigeo de cada  $i$ -ésimo satélite no OSG en el instante inicial (rad)

$u_{i,t}$ : argumento de la latitud del  $i$ -ésimo satélite en el instante  $t$  (rad) =  $\omega_{i,0} + v_{i,t}$

$\Omega_{ri}$ : regresión nodal del nodo ascendente del  $i$ -ésimo satélite (rad/s)

$$= -\frac{3}{2} J_2 \cos(I_i) R_e^2 \frac{\sqrt{a_i \mu}}{a_i^4 (1-e_i^2)^2}$$

$\Omega_{i,t}$ : RAAN del  $i$ -ésimo satélite en el instante  $t$  (rad) =  $\Omega_{i,0} + \Omega_{ri} t$

$\vec{ON}_{i,t}$ : vector de coordenadas (sistema de coordenadas inercial) del  $i$ -ésimo satélite no OSG en el sistema de coordenadas fijas centrado en la Tierra en el instante  $t$ .

$$\vec{ON}_{i,t} = \text{rot3}(-\Omega_{i,t}) \cdot \text{rot1}(-I_i) \cdot \text{rot3}(-\omega_{i,0}) \cdot \vec{r}_{i,t}$$

$\text{rot1}(\alpha)$ : rotación en torno al eje x

$$\text{rot1}(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \text{sen} \alpha \\ 0 & -\text{sen} \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

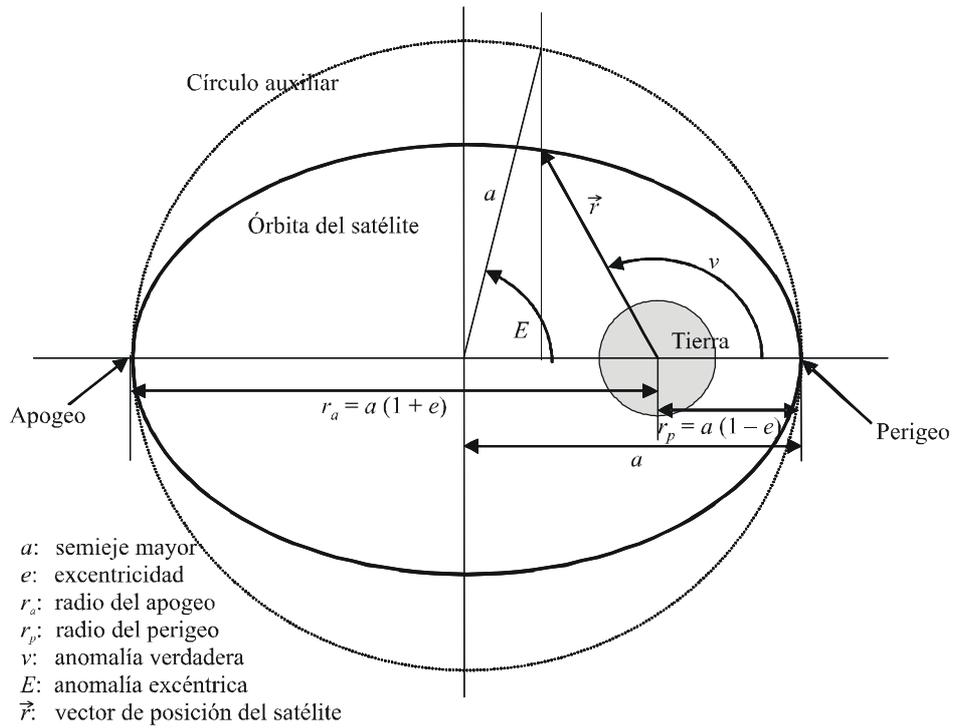
$\text{rot3}(\alpha)$ : rotación en torno al eje z

$$\text{rot3}(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \text{sen} \alpha & 0 \\ -\text{sen} \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\vec{r}_{i,t} : \vec{r}_{i,t} = r_{i,t} \begin{bmatrix} \cos v_{i,t} \\ \text{sen} v_{i,t} \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{a(1-e^2)}{1+e_i \cdot \cos v_{i,t}} \cdot \begin{bmatrix} \cos v_{i,t} \\ \text{sen} v_{i,t} \\ 0 \end{bmatrix}$$

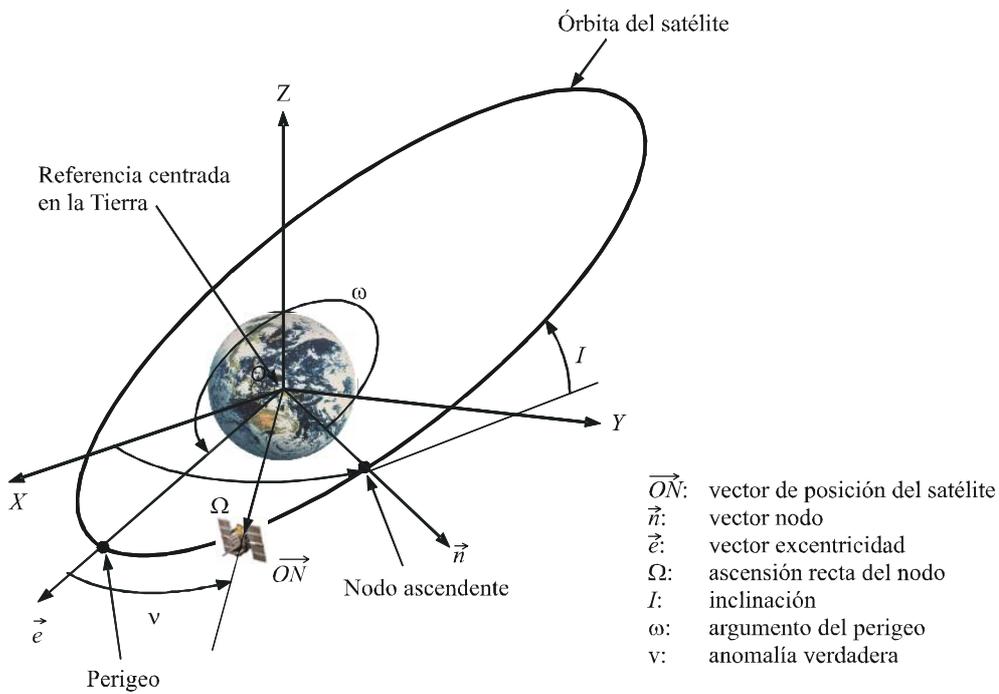
\* Una vez obtenido  $M_{i,t}$ ,  $E_{i,t}$  se determina mediante iteración. Normalmente para intervalos de tiempo breves puede utilizarse como estimación inicial el último valor de  $E_{i,t}$ .

FIGURA 2  
Geometría de la órbita elíptica en el plano focal



1642-02

FIGURA 3  
Geometría de la órbita elíptica en un sistema de coordenadas inercial



1642-03

Puede considerarse la perturbación no OSG al calcular las constantes relacionadas con la constelación no OSG, pues la posición puede variar al tener en cuenta la perturbación.

### 2.1.3 Constantes relacionadas con la estación del SRNA

- Lat: latitud de la estación del SRNA (rad)  
 Lon: longitud de la estación del SRNA (rad)  
 $h_{SRNA}$ : altitud de la estación del SRNA (km)  
 $\vec{OM}$ : coordenadas de la estación del SRNA en un sistema de coordenadas inercial centrado en la Tierra

$$\vec{OM} = \begin{cases} X = (R_e + h_{SRNA}) \cos(\text{Lat}) \cos(\text{Lon} + \Omega_e t) \\ Y = (R_e + h_{SRNA}) \cos(\text{Lat}) \sin(\text{Lon} + \Omega_e t) \\ Z = (R_e + h_{SRNA}) \sin(\text{Lat}) \end{cases}$$

## 2.2 Parámetros de la antena

### 2.2.1 Parámetros de la antena de la estación del SRNA

El diagrama de la antena para esta estación del SRNA es un parámetro de entrada de la simulación (véase el Anexo 2).

### 2.2.2 Parámetros de la antena de la estación espacial no OSG

A fin de realizar el análisis de interferencia, debe establecerse un modelo de las antenas de satélite no OSG utilizando algunos de los parámetros siguientes, según la disponibilidad:

- diagramas de antena medidos;
- diagramas de antena de referencia propuestos;
- una función analítica que establezca un modelo del diagrama de radiación de la antena del satélite no OSG.

## 2.3 Cálculo del tiempo de simulación

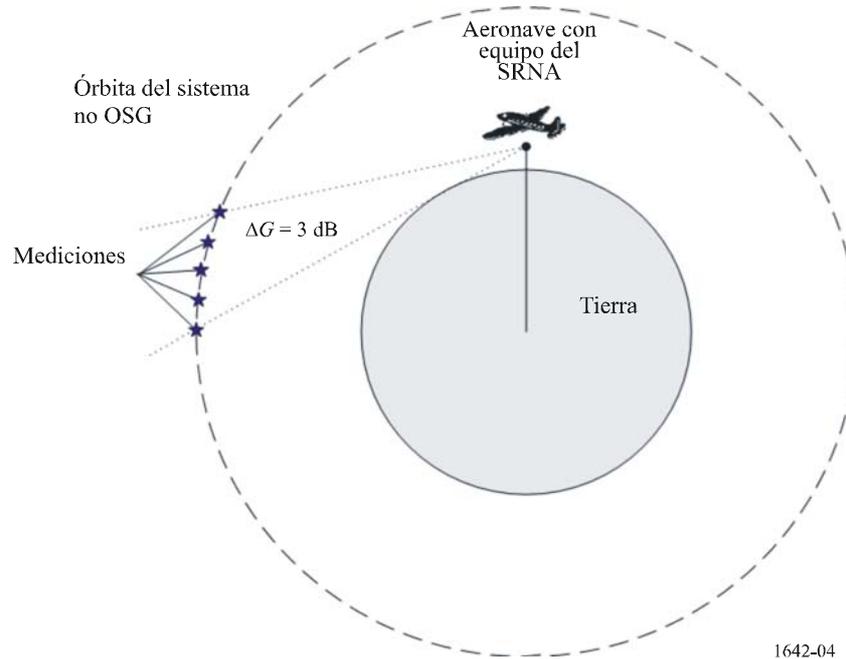
### 2.3.1 Incremento temporal de la simulación

Para obtener resultados precisos, el incremento temporal de la simulación,  $t_{inc}$ , debe ser lo más corto posible, pero por otro lado, el tiempo de simulación debe ser razonable. A fin de obtener la precisión requerida, es necesario asegurar la realización de un número suficiente de mediciones de la dfpe ( $N_{hits}$ ) cuando el vehículo espacial del SRNS no OSG entra dentro del diagrama de antena del SRNA con la ganancia máxima visible para una estación espacial. Se considera que un valor  $N_{hits} = 5$  es suficiente.

La ganancia máxima visible para una estación espacial se produce a un ángulo de elevación comprendido entre  $-3,54^\circ$  y  $+3^\circ$  (Anexo 2) en el caso de una aeronave a 40 000 pies (12 192 m). Es importante que haya 5 mediciones ( $N_{hits}$ ) en esta gama, lo que implica que unos incrementos de simulación de  $1^\circ$  del movimiento de la constelación son suficientes.

FIGURA 4

## Consideración del incremento temporal de la simulación



### 2.3.2 Tiempo de simulación total

Un satélite de una constelación no OSG en cualquier órbita traza un trayecto en la superficie de la Tierra. Tras un cierto tiempo, que es específico del sistema, el satélite u otros satélites de la constelación vuelven al mismo punto o prácticamente al mismo. El tiempo entre estos dos casos es el periodo de repetición de la constelación. Los periodos de repetición de las distintas constelaciones oscilan entre algunos días y varios meses. En la Fig. 5 se ilustran los resultados típicos del cálculo de la dfpe de un sistema del SRNS a lo largo del periodo de repetición de una constelación.

El índice exacto de precesión de la longitud de los satélites de una constelación no OSG resultará afectado por las derivas debidas a los errores de mantenimiento en posición longitudinal. Puede establecerse un modelo de este efecto e integrarse en las simulaciones.

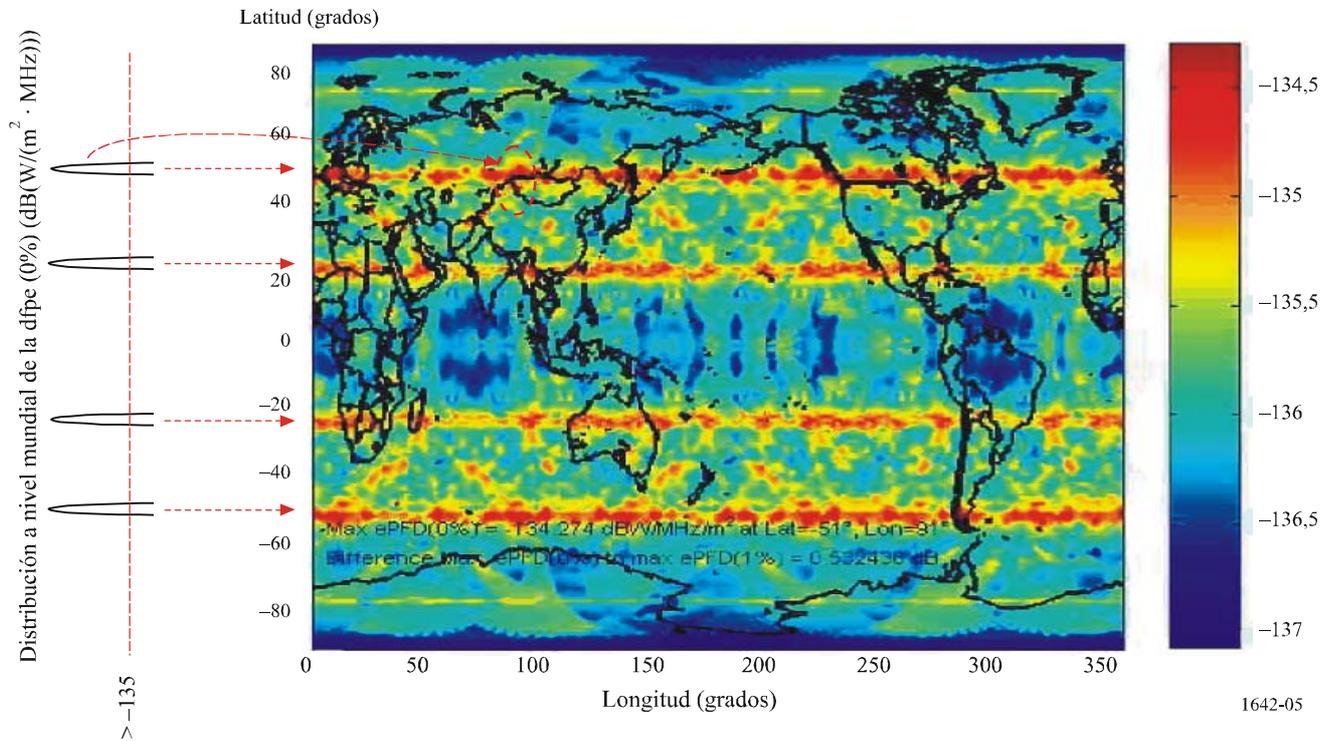
Para el caso de sistemas no OSG que no tengan periodo geosíncrono, el efecto mencionado hará que la dfpe máxima en cualquier longitud pase a ser, de hecho, la dfpe máxima en todas las longitudes (dicho de otra manera, si hubiera que ampliar la simulación para abarcar todos los estados posibles de la constelación, los «puntos rojos» de la dfpe máxima en el mapa de la Fig. 5 se extenderían horizontalmente convirtiéndose en franjas horizontales uniformes). Se considera por tanto más adecuado tomar, en cada latitud, la dfpe máxima para cualquier longitud y utilizarla con todas las longitudes. De esta manera se convierte el cuadro de la dfpe máxima en función de la latitud y la longitud en una simple relación de valores máximos de la dfpe en función de la latitud.

Si se hace así, el tiempo de simulación puede reducirse a un solo periodo orbital en el caso de sistemas no OSG que no tengan periodo geosíncrono. El «mapa» producido por una simulación limitada de este tipo mostrará únicamente algunos «puntos rojos», pero en cada latitud, el valor de los «puntos rojos» que representan la dfpe máxima para cada longitud, será el mismo.

Como consecuencia, el volumen de información que debe presentarse a la reunión de consultas se reduciría considerablemente.

FIGURA 5

## Ejemplo de distribución a nivel mundial de la dfpe máxima

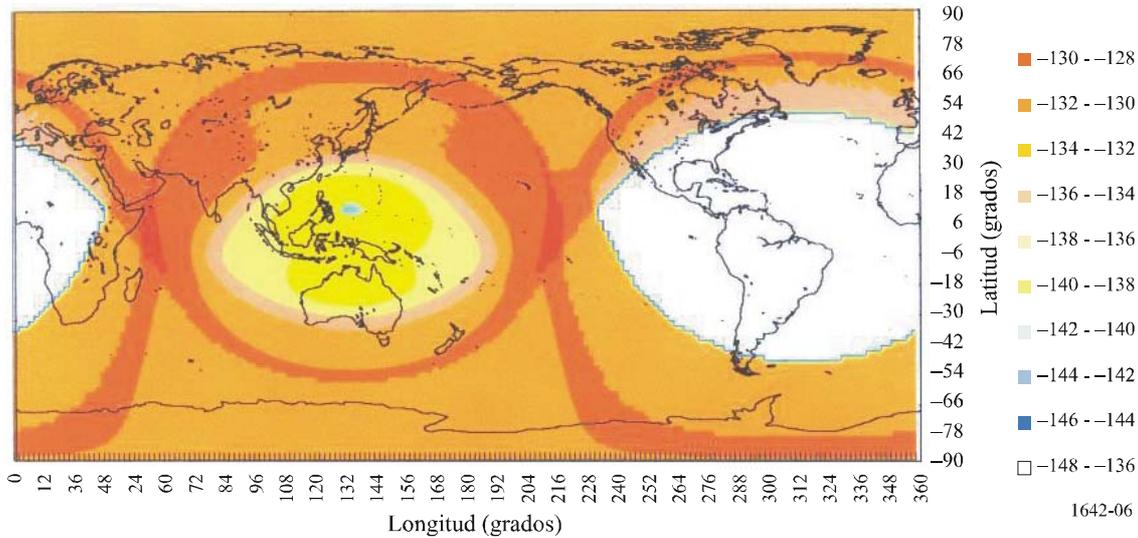


Por otro lado, los sistemas no OSG con periodo geosíncrono producen trazas en el suelo confinadas a una gama de longitudes limitada en la superficie de la Tierra. Ello dará lugar a que los «puntos rojos» de máxima dfpe aparezcan únicamente en una zona limitada de la superficie de la Tierra. (En otras palabras, los «puntos rojos» de máxima dfpe en la superficie de la Tierra no se extenderían horizontalmente). Por lo tanto, la dfpe combinada causada por los sistemas no OSG con periodo geosíncrono, deberá calcularse para los puntos de latitud y longitud situados dentro de la gama visible desde el satélite no geoestacionario.

En el caso de un sistema no OSG con periodo geosíncrono, el cálculo se realizaría considerando un solo periodo orbital. En la Fig. 6 se muestran los resultados típicos del cálculo de dfpe para un sistema no OSG con periodo geosíncrono.

FIGURA 6

Ejemplo de la distribución mundial de valores máximos de *dfpe* para un sistema no OSG con periodo geosíncrono



## Apéndice 2 al Anexo 1

### Metodología típica para evaluar la *dfpe* máxima de un único sistema del SRNS con funcionamiento en la banda 1 164-1215 MHz

#### 1 Introducción

El objeto de esta metodología es mostrar la forma de evaluar la *dfpe* máxima de un único sistema del SRNS.

La definición de la *dfpe* figura en el § 1.1 del Anexo 1.

#### 2 Descripción de la metodología

Si se supone que las constelaciones de sistemas del SRNS no OSG se componen de una serie de planos orbitales, lo más probable es que, en cualquier plano particular, un satélite como máximo por plano tendrá un ángulo de elevación comprendido entre  $-3,54^\circ$  a  $+3^\circ$  en el diagrama de antena del SRNA (véase el Anexo 2). Además, para los sistemas no OSG, es probable que, cuando un satélite esté dentro del diagrama de antena del SRNA con la ganancia máxima visible para una estación espacial, otros satélites del plano aporten una contribución a la *dfpe* relativamente insignificante. Por consiguiente, el número de satélites con una contribución significativa a la *dfpe* combinada de un sistema SRNS probablemente sea inferior o igual al número de planos orbitales del sistema. Utilizando estas hipótesis, se puede formular la *dfpe* máxima ( $dfpe_{m\acute{a}x}$ ) de la constelación del SRNS no OSG de la siguiente manera:

$$dfpe_{m\acute{a}x} = 10 \log N_p + dfpe_{i, m\acute{a}x} \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$$

siendo:

$N_p$ : máximo número de satélites en el haz principal de la antena receptora del SRNA (normalmente, el número de planos orbitales de la constelación)

$dfpe_{i, \text{máx}}$ : contribución máxima a la dfpe de un solo satélite (dB(W/(m<sup>2</sup> · MHz))).

### 3 Ejemplos no OSG

Para una contribución a la dfpe máxima de un solo satélite de  $-136,9$  dB(W/(m<sup>2</sup> · MHz)) con una constelación del SRNS no OSG de seis planos utilizando la ecuación del § 2, la  $dfpe_{\text{máx}}$  es:

$$dfpe_{\text{máx}} = (-136,9) + 10 \log 6 = -129,12 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$$

Un cálculo similar, con una contribución a la dfpe máxima de un solo satélite de  $-130,24$  dB(W/(m<sup>2</sup> · MHz)), en una constelación del SRNS no OSG de tres planos y utilizando la ecuación del § 2, da una dfpe máxima de  $-125,47$  dB(W/(m<sup>2</sup> · MHz)).

Estos valores guardan una gran concordancia con los del método de simulación del Apéndice 1 al Anexo 1, con una diferencia únicamente de 1,2 dB.

## Anexo 2

### Características de la estación de referencia del SRNA que se utilizan en el cálculo de la dfpe

#### 1 Características de la antena del SRNA

El Cuadro 1 da la ganancia de la antena para valores de elevación comprendidos entre  $-90^\circ$  y  $90^\circ$ . Para valores de elevación comprendidos entre estos dos valores del Cuadro 1 debe utilizarse una interpolación lineal. El valor de la  $G_r, \text{máx}$  es de 3,4 dBi, tal como se especifica en la Recomendación UIT-R M.1639, incluyendo 2 dB de desajuste de la polarización circular/lineal. Se supone que el diagrama de elevación y ganancia es el mismo para todos los ángulos acimutales.

CUADRO 1

Ángulo de elevación (grados)	Ganancia de antena incluyendo el desajuste de polarización circular/lineal $G_r/G_r, \text{máx}$ (dB)	Ángulo de elevación (grados)	Ganancia de antena incluyendo el desajuste de polarización circular/lineal $G_r/G_r, \text{máx}$ (dB)	Ángulo de elevación (grados)	Ganancia de antena incluyendo el desajuste de polarización circular/lineal $G_r/G_r, \text{máx}$ (dB)
-90	-17,22	22	-10,72	57	-15,28
-80	-14,04	23	-10,81	58	-15,49
-70	-10,51	24	-10,90	59	-15,67
-60	-8,84	25	-10,98	60	-15,82
-50	-5,40	26	-11,06	61	-16,29
-40	-3,13	27	-11,14	62	-16,74
-30	-0,57	28	-11,22	63	-17,19

CUADRO 1 (Fin)

Ángulo de elevación (grados)	Ganancia de antena incluyendo el desajuste de polarización circular/lineal $G_r/G_r, máx$ (dB)	Ángulo de elevación (grados)	Ganancia de antena incluyendo el desajuste de polarización circular/lineal $G_r/G_r, máx$ (dB)	Ángulo de elevación (grados)	Ganancia de antena incluyendo el desajuste de polarización circular/lineal $G_r/G_r, máx$ (dB)
-20	-1,08	29	-11,29	64	-17,63
-10	0,00	30	-11,36	65	-18,06
-5	-1,21	31	-11,45	66	-18,48
-3	-1,71	32	-11,53	67	-18,89
-2	-1,95	33	-11,60	68	-19,29
-1	-2,19	34	-11,66	69	-19,69
0	-2,43	35	-11,71	70	-20,08
1	-2,85	36	-11,75	71	-20,55
2	-3,26	37	-11,78	72	-20,99
3	-3,66	38	-11,79	73	-21,41
4	-4,18	39	-11,80	74	-21,80
5	-4,69	40	-11,79	75	-22,15
6	-5,20	41	-12,01	76	-22,48
7	-5,71	42	-12,21	77	-22,78
8	-6,21	43	-12,39	78	-23,06
9	-6,72	44	-12,55	79	-23,30
10	-7,22	45	-12,70	80	-23,53
11	-7,58	46	-12,83	81	-23,44
12	-7,94	47	-12,95	82	-23,35
13	-8,29	48	-13,05	83	-23,24
14	-8,63	49	-13,14	84	-23,13
15	-8,97	50	-13,21	85	-23,01
16	-9,29	51	-13,56	86	-22,88
17	-9,61	52	-13,90	87	-22,73
18	-9,93	53	-14,22	88	-22,57
19	-10,23	54	-14,51	89	-22,40
20	-10,52	55	-14,79	90	-22,21
21	-10,62	56	-15,05		

## 2 Emplazamiento de la estación del SRNA

Debe tomarse la altitud de la estación del SRNA del caso más desfavorable (40 000 pies, es decir 12 192 m), lo que da la visibilidad máxima de los satélites potencialmente interferentes desde la antena receptora del SRNA.