

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R SF.1485
(05/2000)

**Determinación de la zona de coordinación
de las estaciones terrenas que funcionan
con estaciones espaciales no
geoestacionarias el servicio fijo por
satélite en las bandas de frecuencias
compartidas con el servicio fijo**

Serie SF

**Compartición de frecuencias y coordinación
entre los sistemas del servicio fijo
por satélite y del servicio fijo**



Prólogo

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

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

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

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

Series de las Recomendaciones UIT-R

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

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

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

Publicación electrónica
Ginebra, 2011

© UIT 2011

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 SF.1485*. **

DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE COORDINACIÓN DE LAS ESTACIONES TERRENAS QUE FUNCIONAN CON ESTACIONES ESPACIALES NO GEOESTACIONARIAS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE EN LAS BANDAS DE FRECUENCIAS COMPARTIDAS CON EL SERVICIO FIJO

(Cuestiones UIT-R 253/4 y UIT-R 219/9)

(2000)

Cometido

Esta Recomendación trata de la determinación de la zona de coordinación para estaciones terrenas que funcionan con satélites no geoestacionarios del servicio fijo por satélite en bandas de frecuencias compartidas con el servicio fijo. El Anexo 1 describe la determinación con un método llamado alguna vez método de ganancia variable en el tiempo (*time-varying gain, TVG*) y da ejemplos de su aplicación en los apéndices al Anexo 1 (véase también la Recomendación UIT-R SM.1448, Anexo 1, § 2.2.2). El Anexo 2 contiene una descripción de la determinación de la zona de coordinación con un método llamado algunas veces método compuesto.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la CMR-95 atribuyó espectro a los servicios por satélite, con carácter primario, que utiliza el servicio fijo;
- b) que los servicios por satélite pueden funcionar con estaciones espaciales situadas en órbitas no OSG;
- c) que las emisiones procedentes de estaciones terrenas que funcionan con estaciones espaciales en órbitas no OSG pueden producir interferencia en los receptores del servicio fijo y viceversa;
- d) que la Comisión de Estudio 1 de Radiocomunicaciones está reuniendo los resultados de los estudios efectuados por todas las Comisiones de Estudio interesadas en la elaboración de textos que puedan utilizarse para revisar el Apéndice S7 del RR;
- e) que es posible definir una zona alrededor de una estación terrena no OSG fuera de la cual una estación del servicio fijo causaría o recibiría únicamente interferencia despreciable;
- f) que la puntería de la antena de una estación terrena que funcione con una estación espacial situada en una órbita no OSG varía con el tiempo y de acuerdo con los parámetros orbitales del satélite no OSG operacional y el emplazamiento de la estación terrena;
- g) que deben establecerse procedimientos similares a los actualmente existentes para determinar la zona de coordinación alrededor de las estaciones terrenas que funcionan con satélites situados en órbitas no OSG,

recomienda

- 1 que al determinar la zona de coordinación alrededor de una estación terrena del sistema de satélites no OSG se tenga en cuenta el porcentaje de tiempo en que la estación terrena apunta en la dirección de interés;
- 2 que, al calcular las pérdidas básicas de transmisión, $L_b(p)$, el porcentaje de tiempo, p , durante el que la potencia interferente en el receptor de la estación del servicio fijo puede rebasar el máximo nivel admisible, $P_r(p)$, se sustituya por el porcentaje de tiempo en que la antena de la estación terrena no OSG apunta en la dirección de interés;
- 3 que en la determinación de la zona de coordinación se tengan en cuenta los parámetros orbitales de las estaciones espaciales que funcionan con la estación terrena no OSG;
- 4 que las administraciones consideren los métodos del Anexo 1 o del Anexo 2 al determinar la zona de coordinación (véase la Nota 1).

NOTA 1 – Las ecuaciones orbitales del procedimiento del Anexo 1 son aplicables a órbitas circulares únicamente.

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 1 y 3 de Radiocomunicaciones.

** La Comisión de Estudio 5 de Radiocomunicaciones incorporó enmiendas de forma a la presente Recomendación en diciembre de 2009 con arreglo a la Resolución UIT-R 1.

ANEXO 1

Determinación de la zona de coordinación de las estaciones terrenas que funcionan con estaciones espaciales no OSG del SFS en las bandas de frecuencias compartidas con el servicio fijo

1 Introducción

Este procedimiento se ha elaborado para determinar la zona de coordinación alrededor de una estación terrena que funcione con una estación espacial no OSG en las zonas de frecuencia compartidas con los servicios de radiocomunicación terrenal.

El funcionamiento de las estaciones terrenas transmisoras y receptoras de los sistemas no OSG y de las estaciones terrenas que funcionan en las bandas de frecuencias compartidas puede dar lugar a interferencia entre las estaciones de los dos servicios. La magnitud de dicha interferencia depende de las pérdidas de transmisión a lo largo del trayecto interferente que, a su vez, dependen de factores tales como la longitud y la geometría general del trayecto de interferencia, el ángulo de elevación operacional mínimo, la distribución de la ganancia de la antena en función del tiempo, las condiciones radioclimáticas y el porcentaje de tiempo durante el que las pérdidas de transmisión deben excederse.

El procedimiento descrito permite determinar, en todas las direcciones acimutales desde una estación terrena transmisora o receptora, una distancia a partir de la cual cabe esperar que las pérdidas de transmisión excedan un valor específico durante todo el tiempo, excepto un porcentaje específico de éste. La distancia determinada de esta manera se denomina distancia de coordinación. Los puntos extremos de las distancias de coordinación determinadas para todos los acimuts definen un contorno de coordinación alrededor de la estación terrena que contiene la zona de coordinación. Para las estaciones terrenas situadas fuera de la zona de coordinación, la probabilidad de causar o experimentar interferencia significativa se considera que es despreciable.

Aunque se basa en datos técnicos, la zona de coordinación es un concepto administrativo. Como la zona de coordinación se determina antes de que se examine con detalle todo caso de interferencia potencial, debe basarse en parámetros supuestos de los sistemas terrenales, mientras que los parámetros pertinentes de las estaciones terrenas transmisoras se conocen.

Las estaciones situadas fuera de la zona de coordinación de una estación planificada específica se eliminan de toda consideración de coordinación. En consecuencia, los requisitos de coordinación de una estación pueden ser estrictamente nacionales si la zona de coordinación de la estación planificada entra completamente en el territorio de la administración notificante, o nacionales e internacionales si la zona de coordinación incluye también el territorio de otra administración, en cuyo caso se requiere el acuerdo de coordinación de esta última.

Las estaciones situadas en la zona de coordinación de una estación planificada han de examinarse inicialmente caso a caso, teniendo en cuenta la discriminación de la antena, la distancia de separación y el perfil del trayecto, si es necesario.

Para la determinación de la zona de coordinación, puede ser necesario considerar dos casos:

- a) la estación terrena del sistema no OSG está transmitiendo y es por tanto capaz de interferir con la recepción de las estaciones terrenales;
- b) la estación terrena del sistema no OSG está recibiendo y es por tanto capaz de resultar interferida por las emisiones procedentes de las estaciones terrenales.

Aunque este Anexo describe el caso a) en el que la estación terrena del sistema no OSG transmite y la estación terrenal recibe, las metodologías son aplicables al caso b) en el que la estación terrenal transmite y la estación terrena del sistema no OSG recibe.

2 Consideraciones generales

2.1 Concepto de pérdidas de transmisión admisibles mínimas

La determinación de la distancia de coordinación como distancia desde una estación terrena no OSG a partir de la cual puede considerarse despreciable la interferencia procedente de una estación terrenal o la causada a ella se basa en la premisa de que la atenuación de una señal no deseada es una función creciente y monótona de la distancia, o puede representarse por ella.

La magnitud de la atenuación requerida entre un transmisor interferente y un receptor interferido viene dada por las pérdidas de transmisión admisibles mínimas durante el $p\%$ del tiempo, valor de las pérdidas de transmisión que deben rebasar las pérdidas de transmisión reales o previstas durante todo el tiempo salvo un $p\%$ (cuando p es un pequeño porcentaje de tiempo, comprendido entre 0,001% y 1,0%, se dice que son de corta duración; si $p \geq 20\%$, se dice que son de larga duración):

$$L(p) = P_t - P_r(p) \quad \text{dB} \quad (1)$$

donde:

- P_t : nivel de la potencia de transmisión máximo disponible (dBW) en la anchura de banda de referencia a la entrada de la antena de una estación interferente
- $P_r(p)$: nivel umbral de interferencia de una emisión interferente (dBW) en la anchura de banda de referencia que debe rebasarse durante no más del $p\%$ del tiempo en los terminales de la antena receptora de una estación interferida, cuando la emisión interferente procede de una sola fuente.

P_t y $P_r(p)$ se definen para la misma anchura de banda de radiofrecuencia (la anchura de banda de referencia) y $L(p)$ y $P_r(p)$ para el mismo porcentaje de tiempo, tal como dictan los criterios de calidad del sistema interferido.

Sólo interesan aquí pequeños porcentajes de tiempo. Considerando un mecanismo específico de propagación para la emisión interferente, puede determinarse la distancia de coordinación. El UIT-R desarrolla actualmente modelos de propagación adecuados para la determinación de la zona de coordinación de las estaciones terrenas que funcionan con redes de satélites no OSG.

2.2 Concepto de pérdidas básicas de transmisión admisibles mínimas

Las pérdidas de transmisión se definen en términos de parámetros separables, en relación con las pérdidas básicas de transmisión (es decir, atenuación entre antenas isotropas) y las ganancias efectivas de antena en ambos extremos de un trayecto de interferencia. Las pérdidas básicas de transmisión mínimas admisibles pueden entonces expresarse por la relación:

$$L_b(p) = P_t + G_t + G_r - P_r(p) \quad \text{dB} \quad (2)$$

donde:

- $L_b(p)$: pérdidas básicas de transmisión mínimas admisibles (dB) para el $p\%$ del tiempo; este valor debe ser rebasado por las pérdidas básicas de transmisión reales o previstas durante todo el tiempo excepto el $p\%$
- G_t : ganancia de la antena transmisora de la estación interferente (dBi). Si la estación interferente es una estación terrena de sistema no OSG, es la ganancia variable en el tiempo de la antena hacia el horizonte físico, en un acimut determinado; en el caso de una estación terrenal, se ha de utilizar la ganancia máxima prevista de la antena
- G_r : ganancia de la antena receptora de la estación interferida (dBi). Si la estación interferida es una estación terrena no OSG, es la ganancia variable en el tiempo hacia el horizonte físico en un acimut determinado; en el caso de una estación terrenal, se ha de utilizar la ganancia máxima prevista de la antena.

2.3 Obtención de los parámetros de interferencia

2.3.1 Determinación del nivel umbral de interferencia $P_r(p)$ de una emisión interferente

El nivel umbral de interferencia (dBW) de la emisión interferente en la anchura de banda de referencia que ha de rebasarse durante no más del $p\%$ del tiempo en los terminales de la antena receptora de una estación sometida a la interferencia de cada fuente interferente viene dado por la fórmula general siguiente:

$$P_r(p) = 10 \log(k T_e B) + N_L + 10 \log(10^{M_s/10} - 1) - W \quad \text{dBW} \quad (3)$$

donde:

- k : constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)
- T_e : temperatura de ruido térmico del sistema receptor (K), en el terminal de la antena receptora (véase la Nota 1)
- B : anchura de banda de referencia (Hz), es decir, anchura de banda del sistema interferido en la que puede promediarse la potencia de la emisión interferente
- N_L : contribución del ruido al enlace (véase la Nota 2)

- p : porcentaje del tiempo durante el que puede excederse el valor umbral de la interferencia procedente de una sola fuente; como no es probable que las fuentes de interferencia se den simultáneamente: $p = p_0/n$
- p_0 : porcentaje del tiempo durante el que la interferencia procedente de todas las fuentes puede rebasar el valor umbral
- n : número de fuentes de interferencia equivalentes con igual nivel e igual probabilidad, supuestas sin correlación durante pequeños porcentajes de tiempo
- M_s : margen de calidad del enlace (dB)
- W : factor de equivalencia (dB) que relaciona la interferencia procedente de las emisiones interferentes con la causada, alternativamente, por la introducción de ruido térmico adicional de potencia igual en la anchura de banda de referencia (véase la Nota 3).

NOTA 1 – La temperatura de ruido (K) del sistema receptor, referida a los terminales de salida de la antena receptora puede determinarse a partir de la ecuación:

$$T_e = T_a + (e - 1) 290 + eT_r \quad \text{K} \quad (4)$$

siendo:

- T_a : temperatura del ruido (K) que aporta la antena receptora
- e : pérdidas numéricas en la línea de transmisión (por ejemplo, guíaonda) entre el terminal de antena y el paso de entrada del receptor
- T_r : temperatura de ruido (K) del paso de entrada del receptor, incluyendo todos los pasos sucesivos a la entrada de éste.

Para los receptores de los radioenlaces, y cuando se conocen las pérdidas de la guía de onda de una estación terrena receptora, debe utilizarse un valor de $e = 1,0$.

NOTA 2 – El factor N_L es la contribución del ruido al enlace. En el caso de un transpondedor de satélite, incluye el ruido del enlace ascendente, la intermodulación, etc. Por ejemplo, en ausencia de datos específicos de interferencia, se supone que:

$$N_L = 1 \text{ dB} \quad \text{para un enlace del SFS}$$

$$N_L = 0 \text{ dB} \quad \text{para enlaces terrenales}$$

NOTA 3 – El factor W (dB) es el nivel de la potencia de ruido térmico de radiofrecuencia relativa a la potencia recibida de una emisión interferente que, en lugar de la anterior y contenida en la misma anchura de banda (de referencia), produciría la misma interferencia (por ejemplo, un aumento de la potencia de ruido en el canal de sonido o de vídeo, o en la BER). El factor W depende generalmente de las características de las señales deseada e interferente. El factor W es positivo cuando las emisiones interferentes causarían más degradación que el ruido térmico. Cuando la señal deseada es digital, W suele ser igual o inferior a 0 dB, independientemente de las características de la señal interferente.

3 Determinación de la ganancia de la antena de la estación terrena del sistema por satélite no OSG

Para una estación terrena que funcione con un satélite no OSG, la ganancia de la antena varía en función del tiempo. Las estadísticas de la ganancia en el horizonte de la antena de una estación terrena no OSG pueden venir dadas por las administraciones o pueden obtenerse sobre la base de simulaciones por computador.

Utilizando estas simulaciones, la metodología para calcular la ganancia variable en el tiempo de la antena de la estación terrena no OSG es la siguiente:

- Se simula la constelación de satélites no OSG durante un período de tiempo suficientemente largo (por ejemplo, un ciclo de repetición de la constelación) con un paso de tiempo apropiado para que en la altitud de la órbita haya una representación válida de las variaciones de la ganancia de la antena.
- En cada paso de tiempo, se registran los ángulos acimutales y de elevación en la estación terrena de todos los satélites visibles en dicha estación y que se encuentran por encima del ángulo de elevación mínimo operacional. Pueden utilizarse criterios adicionales al del ángulo de elevación para evitar ciertas geometrías, por ejemplo, la de evitación del arco de la órbita geostacionaria.
- Se utiliza el diagrama de la antena de la estación terrena real o una fórmula que dé una buena aproximación de éste para calcular la ganancia hacia el horizonte en cada acimut alrededor de la estación terrena.

- Para cada acimut en el horizonte alrededor de la estación terrena, se calcula el porcentaje de tiempo durante el que se produce cada valor. La función de densidad de probabilidad de la ganancia de la antena del horizonte varía en la gama G_{min} a G_{max} . Se recomienda utilizar incrementos de s (dB) entre G_{min} y G_{max} , es decir, $G = \{G_{min}, G_{min} + s, G_{min} + 2s, \dots, G_{max}\}$.
- Se obtiene la función de distribución acumulada de la ganancia integrando la función de densidad de la ganancia; esta función de distribución acumulada da el porcentaje de tiempo en que la ganancia es inferior o igual a un valor específico.

3.1 Determinación de la geometría de la antena

Las ecuaciones indicadas a continuación se utilizan en el enfoque del algoritmo anterior para describir la geometría del eje de puntería de la antena de la estación terrena del sistema no OSG en función del tiempo.

Para una Tierra esférica y una órbita circular, el ángulo de elevación (χ_t) hacia un satélite no OSG visto desde la estación terrena del sistema no OSG viene dado por:

$$\text{sen}(\chi_t) = \frac{r_s \cos(\beta) - r_g}{\sqrt{(r_s^2 + r_g^2 - 2r_s r_g \cos(\beta))}} \quad (5)$$

siendo:

$$\begin{aligned} \cos(\beta) = \cos(\zeta_g) & \left[\cos(\dot{\theta}t + \lambda_g - \lambda_s) \cos(\omega + f) + \text{sen}(\dot{\theta}t + \lambda_g - \lambda_s) \cos(i) \text{sen}(\omega + f) \right] \\ & + \text{sen}(\zeta_g) \text{sen}(i) \text{sen}(\omega + f) \end{aligned} \quad (5a)$$

$$\dot{\theta} = \omega_e - \dot{\Omega}$$

ω_e : velocidad de rotación de la Tierra = 0,004178 (grados/s)

$\dot{\Omega}$: velocidad de precesión de los nodos del satélite no OSG (grado/s)

β : ángulo entre los vectores desde el centro de la Tierra al satélite no OSG y desde el centro de la Tierra a la estación terrena del sistema no OSG (grados)

r_s : distancia desde el centro de la Tierra al satélite no OSG (km)

r_g : distancia desde el centro de la Tierra a la estación terrena del sistema no OSG (km)

λ_s : longitud del nodo ascendente de la órbita del satélite no OSG en el instante $t = 0$ (grados)

i : inclinación de la órbita del satélite no OSG (grados)

ω : argumento del perigeo de la órbita del satélite no OSG en el instante t (grados)

f : anomalía verdadera del satélite no OSG en su órbita en el instante t (grados)

λ_g, ζ_g : longitud y latitud de la estación terrena del sistema no OSG (grados)

t : tiempo (s).

El vector del satélite desde el centro de la Tierra en función del tiempo viene dado por:

$$\vec{r}_s = r_s \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = r_s \begin{bmatrix} \text{sen}(\dot{\theta}t - \lambda_s) \cos(i) \text{sen}(\omega + f) + \cos(\dot{\theta}t - \lambda_s) \cos(\omega + f) \\ \cos(\dot{\theta}t - \lambda_s) \cos(i) \text{sen}(\omega + f) - \text{sen}(\dot{\theta}t - \lambda_s) \cos(\omega + f) \\ \text{sen}(i_s) \text{sen}(\omega + f) \end{bmatrix} \quad (6)$$

La longitud, λ_t , y la latitud, ζ_t , subsatelitales en función del tiempo son:

$$\lambda_t = \text{tg}^{-1} (y/x) \quad \zeta_t = \text{sen}^{-1} (z) \quad (7)$$

El acimut, α_t , con el que se ve el satélite desde la estación terrena del sistema no OSG viene dado por:

$$\alpha_t = \text{tg}^{-1} \left\{ \frac{\cos(\zeta_t) \text{sen}(\Delta\lambda)}{\text{sen}(\zeta_g) \cos(\zeta_t) \cos(\Delta\lambda) - \cos(\zeta_g) \text{sen}(\zeta_t)} \right\} \quad (8)$$

siendo:

$$\Delta\lambda = \lambda_g - \lambda_t \quad (9)$$

El ángulo $\varphi(\alpha_t)$ (entre el eje de puntería de la antena y la dirección del horizonte) correspondiente a un acimut pertinente, α_t , expresado en función de los ángulos de acimut y elevación del eje de puntería (α_t, χ_t) y de los ángulos de acimut y elevación (α_0, χ_0) en la dirección pertinente, viene dado por:

$$\varphi(\alpha_t) = \cos^{-1} \{ \cos(\alpha_t - \alpha_0) \cos(\chi_t) \cos(\chi_0) + \text{sen}(\chi_t) \text{sen}(\chi_0) \} \quad (10)$$

cuando $\chi_0 = 0^\circ$:

$$\varphi(\alpha_t) = \cos^{-1} \{ \cos(\alpha_t - \alpha_0) \cos(\chi_t) \} \quad (11)$$

La componente de ganancia de la antena hacia el horizonte puede obtenerse utilizando el diagrama real de la antena de la estación terrena, o a partir de una fórmula que da una buena aproximación. El Apéndice 1 al Anexo 1 muestra ejemplos del cálculo de la ganancia de la antena en el horizonte de una estación terrena no OSG.

4 Determinación de la distancia de coordinación

La distancia de coordinación para un modelo de propagación específico es la distancia d (km), que se traducirá en un valor de las pérdidas básicas de transmisión disponibles igual a las pérdidas básicas de transmisión mínimas definidas en el § 2.2.

En los casos en que la estación terrenal sea la estación desconocida, puede utilizarse la metodología indicada a continuación para determinar la zona de coordinación. Esta metodología exige conocer las estadísticas de la ganancia variable en el tiempo de la antena en el horizonte de la estación terrena no OSG, pero no requiere la obtención de la función de distribución de las pérdidas de transmisión.

La solución a la ecuación (2) de las pérdidas básicas de transmisión mínimas admisibles que se indica a continuación se basa en el caso de una estación terrena transmisora que funciona con una estación espacial no OSG. Puede adoptarse un procedimiento similar para el caso de una estación terrena receptora no OSG en la que la ganancia de la antena, G_r , varíe con el tiempo.

La ecuación de las pérdidas básicas de transmisión mínimas admisibles puede presentarse de la siguiente manera:

$$L_b(p') - G_t(p_i) = P_t + G_r - P_r(p) \quad \text{dB} \quad (12)$$

donde:

$P_t, P_r(p)$ y G_r se definen en las ecuaciones (1) y (2), siendo p el porcentaje de tiempo en el que se permite al nivel de interferencia rebasar el umbral de interferencia $P_r(p)$

p_i y p' se definen por las probabilidades siguientes:

$$\begin{aligned} p(G_t \geq G_{ti}) &= p_i \\ p(L_b \leq L_{bi}) &= p' \end{aligned}$$

$G_t(p_i)$ es la ganancia variable en el tiempo de la antena transmisora (dBi) hacia el horizonte físico para un acimut determinado de la estación terrena interferente que funciona con una estación espacial no OSG.

Con la hipótesis de que las pérdidas del trayecto, L_b , y la ganancia de la antena, G_t , son variables independientes, el porcentaje de tiempo, p , en el que se permite a $\{L_b - G_t\}$ ser inferior o igual a $\{P_t + G_r - P(p)\}$ es igual al producto de p' y p_i :

$$p(L_b - G_t \leq L_{bi} - G_{ti}) = p' p_i$$

Para cada par de valores de p' y p_i que satisface la relación $p = p' p_i$ existe una familia de valores de L_b y G_t que satisface la ecuación (12). Utilizando la función de la distribución acumulada de la ganancia de la antena G_t , para cada acimut, se selecciona un valor de G_{ti} tal que G_t exceda de G_{ti} para únicamente el $p_i\%$ del tiempo. En cada paso se fijan los valores de G_{ti} y de p_i . La ecuación (12) puede volver a formularse entonces de la siguiente manera:

$$L_{bi}(p') = P_t + G_{ti}(p_i) + G_r - P_r(p) \quad \text{dB}$$

Los cálculos de $L_{bi}(p')$ se repiten para todos los niveles de ganancia G_{ti} , tal como se describe en los pasos de implementación indicados más adelante. Entre los valores de $L_{bi}(p')$, se selecciona uno correspondiente al valor de la distancia máxima, como distancia de coordinación en el acimut especificado.

La distancia de coordinación se determina tal como se describe en los pasos siguientes:

Paso 1: Se calcula la función de distribución acumulada de la ganancia de la antena en el horizonte de la estación terrena para un acimut especificado, tal como se describe en el § 3. Esta función también pueden facilitarla las administraciones.

Paso 2: A partir de la función de distribución acumulada de la ganancia de la antena en el horizonte, se determina el valor de la ganancia mínima ($G_{t_{min}}$) y el valor de la ganancia máxima ($G_{t_{max}}$). Se elige únicamente una ganancia s (dB) y se divide esta gama de ganancias por el número de niveles de ganancia $\{G_{t_{min}}, G_{t_{min}} + s, G_{t_{min}} + 2s, \dots, G_{t_{max}}\}$. Se recomienda un valor de s comprendido entre 0,1 y 0,5 dB.

Paso 3: Se determina el porcentaje de tiempo, p_i , asociado al nivel de ganancia i -ésimo, G_{ti} . Este valor de p_i representa el porcentaje de tiempo en el que la ganancia de la antena en el horizonte es superior o igual a G_{ti} .

Paso 4: Se determina el porcentaje de tiempo p' de las pérdidas mínimas requeridas asociadas a cada valor de p_i :

$$\begin{aligned} p' &= p/p_i & \text{si} & \quad p/p_i \leq Z\% \\ p' &= Z\% & \text{si} & \quad p/p_i > Z\% \end{aligned}$$

donde el valor recomendado de Z es $Z = 20\%$, y p' se define en la gama $0 \leq p' \leq 100\%$. Si p' es superior a 100%, ha de ignorarse.

Paso 5: Se calculan las pérdidas mínimas requeridas para la emisión interferente:

$$L_{bi}(p') = P_t + G_{ti}(p_i) + G_r - P_r(p) \quad \text{dB}$$

Paso 6: Se determina la distancia, d_i (km), entre la estación interferente y la estación que está sujeta a interferencia utilizando un modelo adecuado de propagación, tal como el modelo de la Recomendación UIT-R P.620.

Paso 7: Se repiten los Pasos 3 a 6 para cada nivel de ganancia, G_{ti} , en la gama comprendida entre $G_{t_{min}}$ y $G_{t_{max}}$. A partir de los valores de distancia d_i (km), calculados en el Paso 6, se selecciona uno correspondiente a la distancia máxima, como distancia de coordinación en el acimut especificado.

Paso 8: Se comprueba si d_i (km) está comprendida entre el límite mínimo, d_{min} , y el máximo, d_{max} , de la distancia de coordinación:

$$\begin{aligned} \text{si } d_i(\text{km}) < d_{min} & \quad \text{se hace} & \quad d_i(\text{km}) = d_{min} \\ \text{si } d_i(\text{km}) > d_{max} & \quad \text{se hace} & \quad d_i(\text{km}) = d_{max} \end{aligned}$$

donde d_{min} y d_{max} se definen en la Recomendación UIT-R P.620.

Paso 9: Se repiten los Pasos 1 a 8 para cada acimut alrededor de la estación terrena. En la práctica, puede generalmente ser suficiente efectuar esta repetición en un incremento de 5°.

En el Apéndice 2 al Anexo 1 figuran ejemplos de contornos de distancias de coordinación calculados utilizando esta metodología.

APÉNDICE 1

AL ANEXO 1

Ejemplos de distribución de la ganancia de antena**1 Generalidades**

Este Apéndice presenta ejemplos para la determinación de las estadísticas de la ganancia de antena transmisora de una estación terrena que funcione con satélites no OSG. Todos los ejemplos que aquí se presentan utilizan la fórmula siguiente para el diagrama de antena de la estación terrena:

$$G(\varphi) = \begin{cases} G_{m\acute{a}x} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 & \text{para } 0 < \varphi < \varphi_m \\ 2 + 15 \log(D/\lambda) & \text{para } \varphi_m \leq \varphi < \varphi_r \\ 29 - 25 \log(\varphi) & \text{para } \varphi_r \leq \varphi < 48^\circ \\ -10 & \text{para } 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \end{cases}$$

donde:

$$\varphi_m = \frac{20\lambda}{D} \sqrt{G_{m\acute{a}x} - 2 - 15 \log(D/\lambda)} \quad \text{grados}$$

$$\varphi_r = 15,85 (D/\lambda)^{-0,6} \quad \text{grados}$$

D : diámetro de la antena

λ : longitud de onda expresada en la misma unidad que D

$G_{m\acute{a}x}$: ganancia máxima de la antena (dBi)

φ : ángulo respecto al eje (grados).

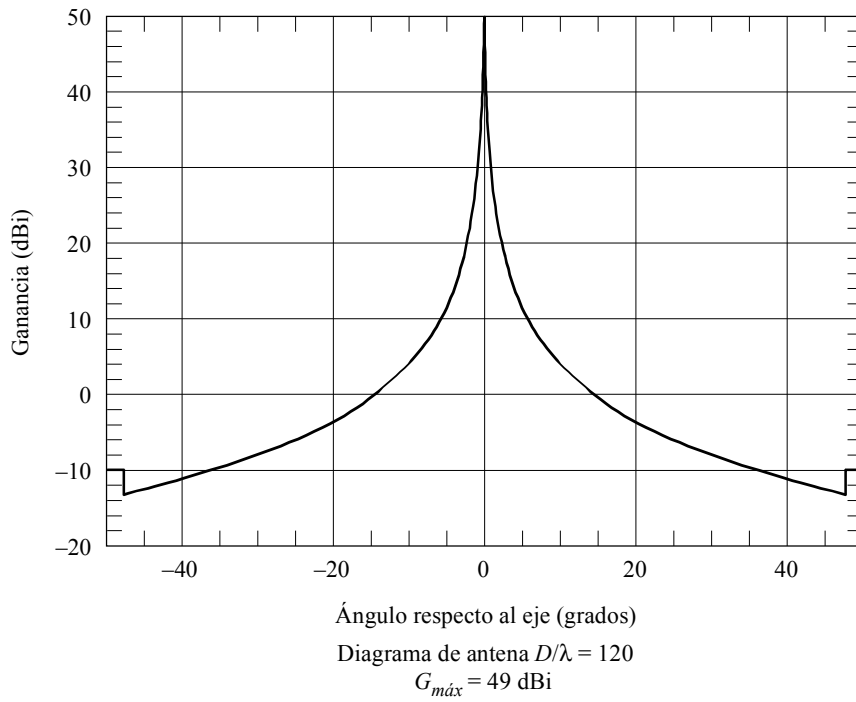
Este diagrama de antena se representa en la Fig. 1 para $D/\lambda = 120$ y $G_{m\acute{a}x} = 49$ dBi (el 55% aproximadamente de eficiencia). Este diagrama tiene una apertura del haz de unos $0,5^\circ$.

Los ejemplos presentados en este Apéndice se refieren a una órbita circular y utilizan una Tierra esférica para el cálculo de los ángulos de acimut y elevación del eje de puntería de la estación terrena.

Ejemplo 1: Este ejemplo considera una estación terrena emplazada en ($22,5^\circ$ N, 0° E) funcionando con un satélite no OSG en una órbita circular con un semieje mayor de 8 000 km y una inclinación, i , de $98,2^\circ$.

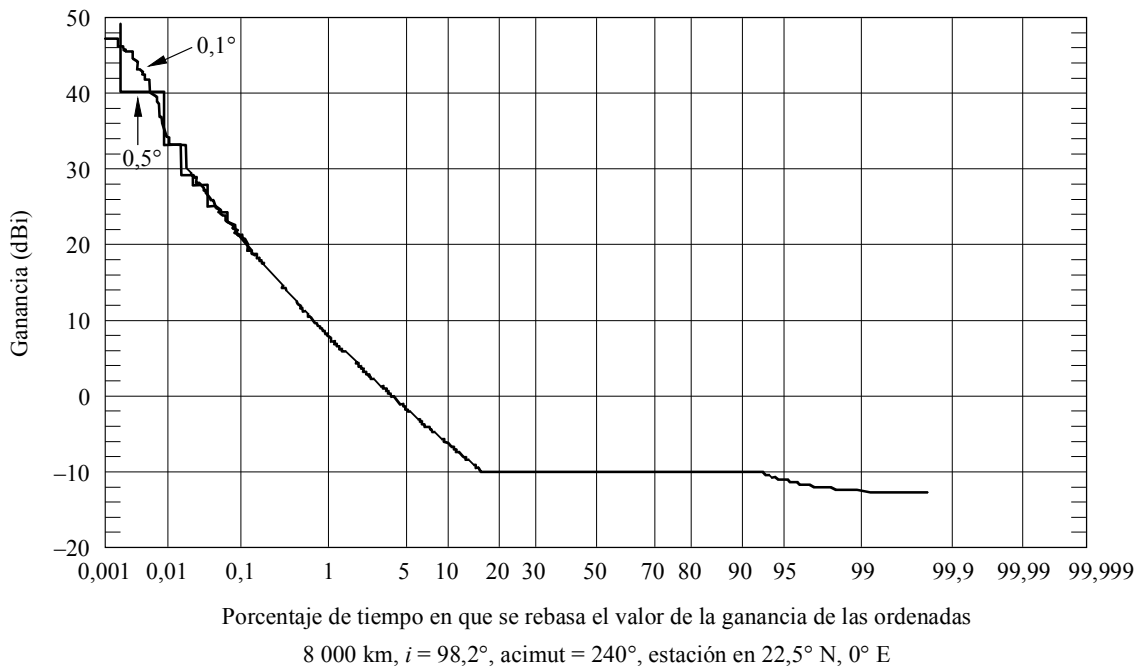
La Fig. 2 muestra curvas típicas de distribución del rebasamiento de la ganancia para resoluciones de $0,1^\circ$ y $0,5^\circ$ en los ángulos de acimut y elevación. Ambas curvas se toman a un acimut de 240° . Como puede verse, la curva de $0,5^\circ$ es bastante abrupta para pequeños porcentajes de tiempo, por lo que un paso de $0,5^\circ$ representa una variación significativa en la ganancia, especialmente cerca del haz principal. Una resolución inferior se traduce en una curva más suave, similar a la que se obtiene con una resolución de $0,1^\circ$ en los ángulos de acimut y elevación.

FIGURA 1
 Diagrama de antena utilizado en los ejemplos



1485-01

FIGURA 2
 Distribución típica del rebasamiento de la ganancia en el horizonte con una resolución de $0,1^\circ$ y $0,5^\circ$ de los ángulos de elevación y acimut

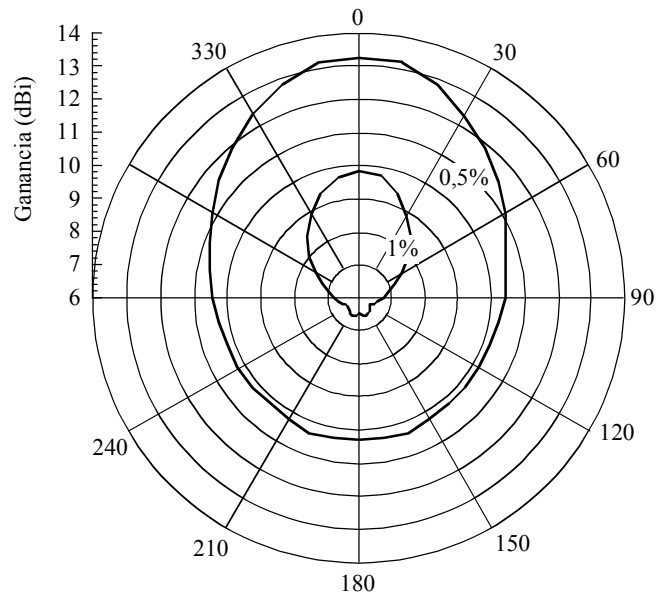


1485-02

La Fig. 3 muestra la ganancia que se rebasa durante el 0,5% y el 1% del tiempo en función del ángulo acimutal. Estos resultados se obtuvieron con un paso de 0,5° de resolución en los ángulos de elevación y acimut.

FIGURA 3

Contornos de la ganancia del Ejemplo 1 para el 0,5% y el 1% del tiempo

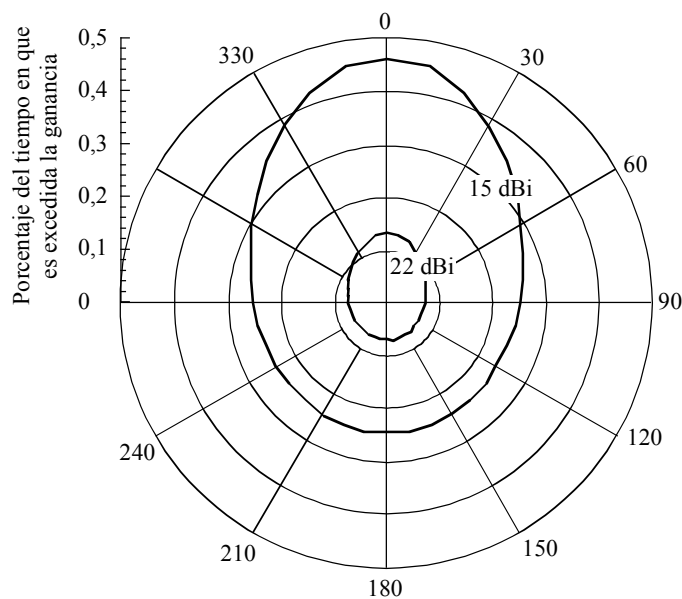


1485-03

En la Fig. 4, la ganancia es fija y el porcentaje de tiempo durante el que se rebasa la ganancia se representa en función del acimut. Se indican los contornos para ganancias de 15 dBi y 22 dBi obteniéndolos con una resolución en pasos de 0,5°.

FIGURA 4

Contornos que dan el porcentaje del tiempo durante el que es excedido un valor de ganancia específico en cada ángulo acimutal



1485-04

Ejemplo 2: Este ejemplo se refiere a la misma estación terrena de sistema no OSG y satélite descritos en el Ejemplo 1, pero la órbita del satélite tiene una inclinación, i , de 45° .

La Fig. 5 muestra las distribuciones correspondientes de rebasamiento de la ganancia para ángulos acimutales de 0° y 140° . La diferencia en porcentajes de tiempo cercana al 1% es significativa en términos de ganancia. La Fig. 6 muestra la ganancia que se rebasa durante el 0,5% y el 1% del tiempo en función del ángulo acimutal. El pequeño valle en el acimut 0° es debido a que no se ve nunca el satélite en dicha dirección. Estos resultados se obtienen con una resolución en pasos de $0,1^\circ$ para los ángulos de elevación y de acimut.

FIGURA 5
Distribuciones de rebasamiento de la ganancia para dos ángulos acimutales en 0° y 140° con una inclinación de 45°

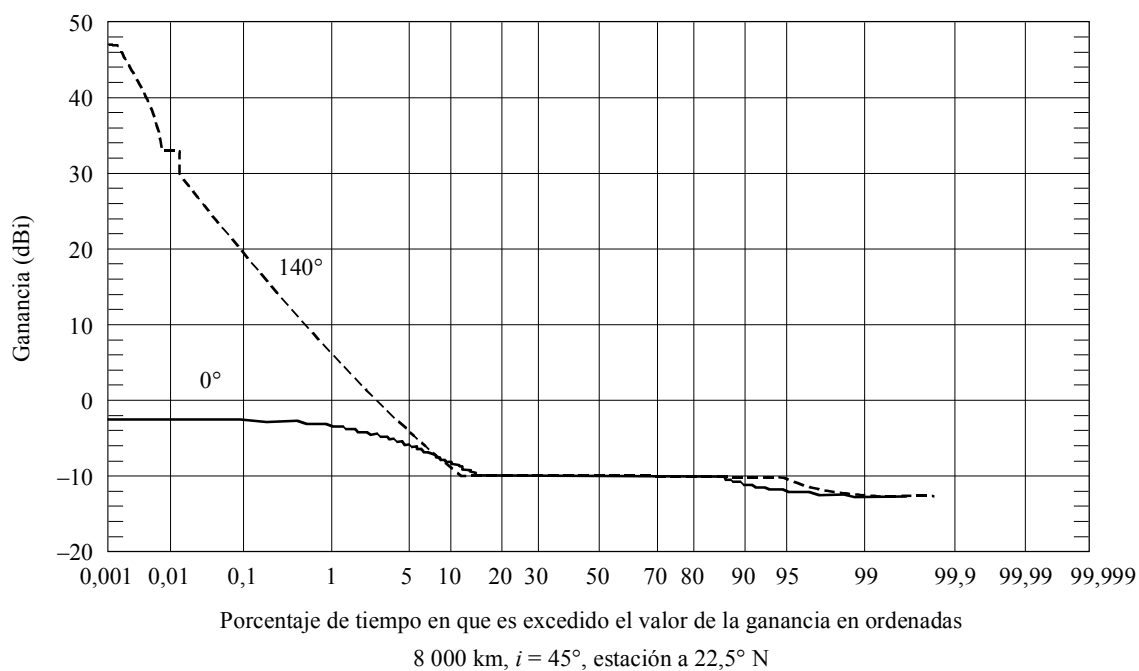
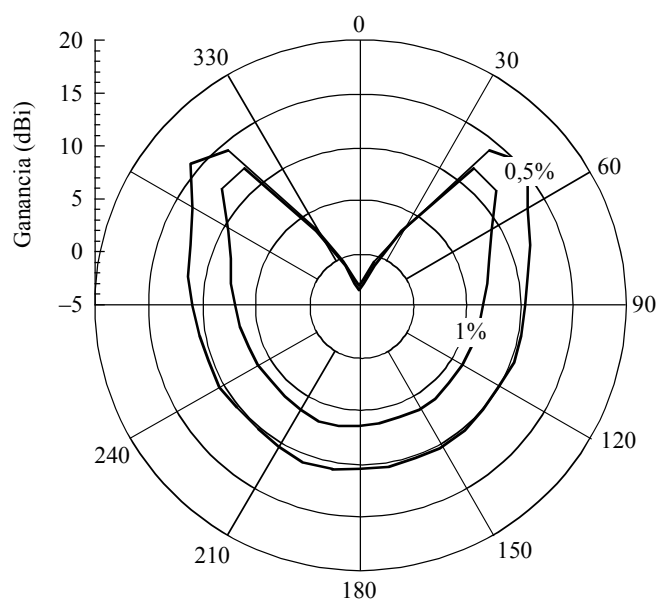


FIGURA 6

Contornos de la ganancia del Ejemplo 2 para una inclinación de 45°



APÉNDICE 2

AL ANEXO 1

**Distancias de coordinación para estaciones terrenas no OSG
respecto a las estaciones terrenales****1 Generalidades**

Este Apéndice presenta ejemplos que sirven para la determinación de la zona de coordinación alrededor de estaciones terrenas no OSG que coordinan con estaciones terrenales en la banda de frecuencia 6 700-7 075 MHz.

2 Parámetros del sistema

Los parámetros del sistema de las estaciones terrenas no OSG y las estaciones terrenales figuran en el Cuadro 1 para una estación terrena transmisora no OSG y una estación terrenal receptora, y en el Cuadro 2 para una estación terrena receptora no OSG y una estación terrenal transmisora.

CUADRO 1

Parámetros del sistema para la coordinación de una estación terrena transmisora no OSG y una estación terrenal receptora

<i>Parámetros orbitales de los satélites no OSG:</i>	
Altitud (km)	1 414
Número de satélites	48
Ángulo de inclinación (grados)	52
<i>Tipo de estación terrena no OSG:</i>	
Latitud (grados)	50
Longitud (grados)	0
Ángulo de elevación mínimo operativo (grados)	10
Diagrama de ganancia de la antena	Recomendación UIT-R S.465
<i>Estación terrena transmisora no OSG:</i>	
Ganancia de la antena transmisora (dBi)	50
p.i.r.e./portadora (dBW)	56,5
Anchura de banda de transmisión (kHz)	1 230
<i>Estación receptora terrenal:</i>	
Modulación	Digital
Porcentaje del tiempo, $p\%$	0,002
Ganancia de la antena receptora (dBi)	47
Anchura de banda de referencia (MHz)	1
$P_r(p)$ (dBW)	-103,0

CUADRO 2

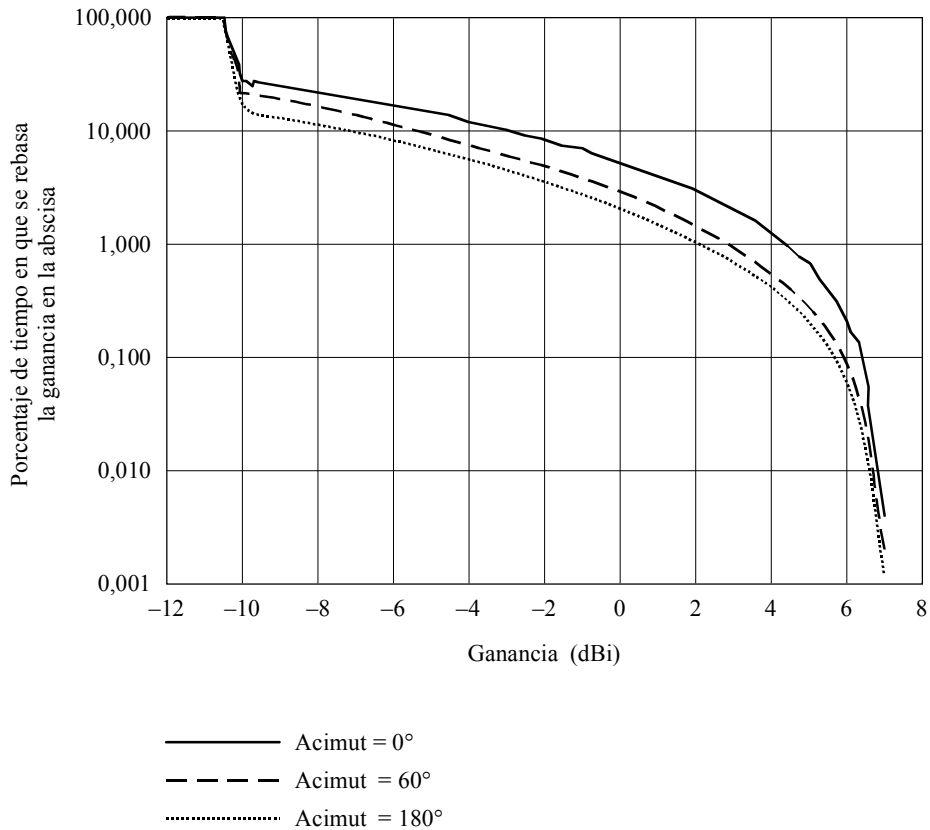
Parámetros del sistema para la coordinación de una estación terrena receptora no OSG y una estación terrenal transmisora

<i>Parámetros orbitales de los satélites no OSG:</i>	
Altitud (km)	1 414
Número de satélites	48
Ángulo de inclinación (grados)	52
<i>Tipo de estación terrena no OSG:</i>	
Latitud (grados)	50
Longitud (grados)	0
Ángulo mínimo operativo de elevación (grados)	10
Diagrama de ganancia de la antena	Recomendación UIT-R S.465
<i>Estación terrena receptora no OSG:</i>	
Modulación	Digital
Porcentaje del tiempo, $p\%$	0,002
M_s (dB)	2
N_L (dB)	1
W (dB)	0
Ganancia de la antena receptora (dBi)	50
Anchura de banda de referencia (MHz)	1
T_e (K)	127,7
$P_r(p)$ (dBW)	-149,0
<i>Estación terrenal transmisora:</i>	
Ganancia de la antena transmisora (dBi)	42
p.i.r.e./portadora (dBW)	3

3 Distancia de coordinación

La Fig. 7 muestra ejemplos de la función de distribución acumulada de la ganancia de antena en el horizonte para la estación terrena transmisora de satélite no OSG que se indica en el Cuadro 1.

FIGURA 7
Función de distribución acumulada de la ganancia en el horizonte de la estación terrena no OSG para acimuts de 0°, 60° y 180°



1485-07

Los Cuadros 3 y 4 muestran ejemplos que sirven para la determinación de la distancia de coordinación entre la estación terrena transmisora no OSG y la estación terrenal receptora indicada en el Cuadro 1. Las distancias estimadas se indican para incrementos de 0,5 dB en la gama de ganancias de antena en el horizonte y para un ángulo de elevación en el horizonte de 0°. Estas distancias se calculan utilizando el método descrito en el § 4 y los modelos de propagación de la Recomendación UIT-R P.620. Se elige el valor máximo (indicado en negritas) de la columna *d* (km) como distancia de coordinación para el acimut especificado.

El Cuadro 5 enumera las distancias de coordinación para las estaciones terrenas no OSG, transmisoras y receptoras y las estaciones terrenales receptoras y transmisoras indicadas en los Cuadros 1 y 2. Estas distancias de coordinación se representan en la Fig. 8.

CUADRO 3

**Determinación de la distancia de coordinación para una estación terrena transmisora no OSG
y una estación terrenal receptora a un acimut = 0°**

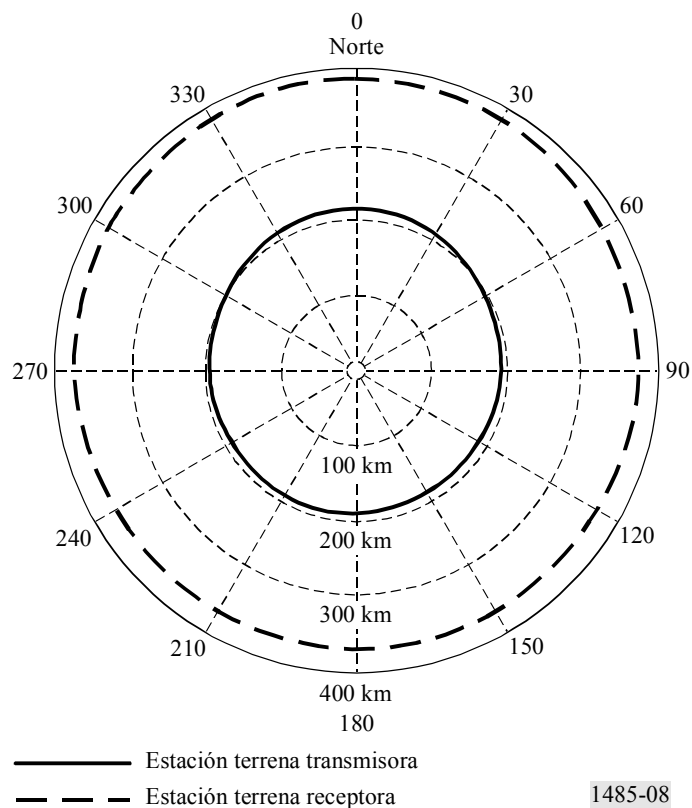
Ganancia de la antena transmisora, G_{ti} (dBi)	Función de distribución de probabilidad de la ganancia	Función de distribución acumulada de la ganancia	$p' = p/p_i$	Pérdidas requeridas (dB)	Distancia de coordinación, d_i (km)
-12,0	0,000000	1,000000	0,000020	148,5	163,73
-11,5	0,000000	1,000000	0,000020	149,0	168,23
-11,0	0,000000	1,000000	0,000020	149,5	172,83
-10,5	0,709370	1,000000	0,000020	150,0	177,33
-10,0	0,016990	0,290630	0,000069	150,5	165,63
-9,5	0,016410	0,273640	0,000073	151,0	169,03
-9,0	0,015890	0,257230	0,000078	151,5	172,33
-8,5	0,015360	0,241340	0,000083	152,0	175,53
-8,0	0,014800	0,225980	0,000089	152,5	178,73
-7,5	0,014190	0,211180	0,000095	153,0	181,83
-7,0	0,013670	0,196990	0,000102	153,5	184,83
-6,5	0,013100	0,183320	0,000109	154,0	187,73
-6,0	0,012570	0,170220	0,000118	154,5	190,43
-5,5	0,012040	0,157650	0,000127	155,0	193,13
-5,0	0,011530	0,145610	0,000137	155,5	195,73
-4,5	0,011030	0,134080	0,000149	156,0	198,13
-4,0	0,010510	0,123050	0,000163	156,5	200,53
-3,5	0,009990	0,112540	0,000178	157,0	202,63
-3,0	0,009480	0,102550	0,000195	157,5	204,73
-2,5	0,008970	0,093070	0,000215	158,0	206,63
-2,0	0,008500	0,084100	0,000238	158,5	208,33
-1,5	0,007950	0,075600	0,000265	159,0	209,83
-1,0	0,007460	0,067650	0,000296	159,5	211,13
-0,5	0,007040	0,060190	0,000332	160,0	212,23
0,0	0,006540	0,053150	0,000376	160,5	213,03
0,5	0,006190	0,046610	0,000429	161,0	213,63
1,0	0,005640	0,040420	0,000495	161,5	213,83
1,5	0,005330	0,034780	0,000575	162,0	213,63
2,0	0,004850	0,029450	0,000679	162,5	212,93
2,5	0,004450	0,024600	0,000813	163,0	211,63
3,0	0,004060	0,020150	0,000993	163,5	209,63
3,5	0,003610	0,016090	0,001243	164,0	206,53
4,0	0,003220	0,012480	0,001603	164,5	202,23
4,5	0,002830	0,009260	0,002160	165,0	196,03
5,0	0,002370	0,006430	0,003110	165,5	186,63
5,5	0,001940	0,004060	0,004926	166,0	172,33
6,0	0,001440	0,002120	0,009434	166,5	147,23
6,5	0,000640	0,000680	0,029412	167,0	104,43
7,0	0,000040	0,000040	0,200000	167,5	104,43

CUADRO 5

Distancias de coordinación entre estaciones terrenas no OSG y estaciones terrenales

Acimut (grados)	Distancia de coordinación, d (km)		Acimut (grados)	Distancia de coordinación, d (km)	
	Estación terrena transmisora	Estación terrena receptora		Estación terrena transmisora	Estación terrena receptora
10	212,82	387,42	190	191,02	371,72
20	210,42	386,02	200	191,02	371,72
30	207,33	384,12	210	191,12	371,82
40	204,22	382,02	220	191,12	371,92
50	201,32	380,02	230	191,32	372,12
60	198,93	378,22	240	191,62	372,42
70	196,82	376,62	250	192,22	372,82
80	195,12	375,32	260	192,92	373,42
90	193,82	374,32	270	193,82	374,32
100	192,93	373,42	280	195,12	375,32
110	192,22	372,82	290	196,82	376,62
120	191,63	372,42	300	198,92	378,22
130	191,32	372,12	310	201,32	380,02
140	191,22	371,92	320	204,22	382,02
150	191,03	371,82	330	207,32	384,12
160	191,03	371,72	340	210,42	386,02
170	191,03	371,72	350	212,82	387,42
180	191,03	371,72	0 ó 360	213,83	387,92

FIGURA 8
Contornos de coordinación para estaciones terrenas no OSG y estaciones terrenales



ANEXO 2

Descripción del método compuesto**1 Introducción**

En el método compuesto (véase la Recomendación UIT-R SM.1448), el contorno de coordinación se determina utilizando cálculos que aplican de forma precisa las estadísticas variables en el tiempo asociadas a las pérdidas básicas de transmisión previstas y a la ganancia de la antena en el horizonte de una estación terrena. El método compuesto tiene en cuenta las estadísticas conjuntas de las pérdidas de propagación y de la ganancia de antena, efectuando una convolución de sus funciones de densidad de probabilidad.

En los casos en que pueden predecirse las estadísticas de la ganancia de la antena en el horizonte con cierta confianza, el contorno de coordinación se determina por medio del método compuesto mediante el que se garantiza que ninguna estación terrenal situada fuera de él causará interferencia inaceptable a la estación terrena o la recibirá de ella.

En el método compuesto, la ecuación (2) del Anexo 1 se sustituye por la condición siguiente:

$$(L_c - G_a)(p) > P_t + G_b - P_r(p) \quad (13)$$

donde:

- $(L_c - G_a)(p)$: combinación de las pérdidas básicas de transmisión a la distancia d km y de la ganancia de la antena en el horizonte no rebasada durante el $p\%$ del tiempo. El método para evaluar esta función se describe más adelante
- P_t : nivel de potencia de transmisión máxima disponible (dBW) en la anchura de banda de referencia a la entrada de la antena de una estación interferente
- G_b : ganancia de la antena de la estación terrenal (o, en el caso bidireccional de la estación terrena receptora)
- $P_r(p)$: nivel umbral de interferencia de una emisión interferente (dBW) en la anchura de banda de referencia que debe rebasarse durante no más del $p\%$ del tiempo, en los terminales de la antena receptora de una estación interferida, procediendo la emisión interferente de una sola fuente.

Se utiliza un proceso repetitivo para incrementar sucesivamente la distancia de coordinación hasta que el término de la izquierda de la ecuación (13) rebase al de la derecha. La primera distancia en la que se produce dicha condición es la distancia de coordinación. Para cada incremento de distancia, es necesario repetir el cálculo de $(L_c - G_a)(p)$ mediante un proceso que implica una convolución discreta.

En esta descripción se ha supuesto que el modelo de propagación cumple dos requisitos:

- a) el modelo da las pérdidas no rebasadas durante porcentajes de tiempo comprendidos entre 0,001% y 50%;
- b) el modelo da pérdidas que son una función creciente monótona de la distancia.

Si se hubiera utilizado el método compuesto con un modelo de propagación que no cumpla el requisito a), habría que revisar el método consistente en ampliar la distribución acumulada a porcentajes de tiempo mayores del 50% (§ 2.3 del presente Anexo). Si el modelo de propagación no cumpliera el requisito b) (por ejemplo, si se utilizase con la Recomendación UIT-R P.452), habría que revisar el método de repetición utilizado para determinar la distancia con la que se llega al umbral de interferencia. El modelo de propagación de la Recomendación UIT-R P.620 cumple ambos requisitos y por tanto puede utilizarse con el método compuesto descrito aquí.

El proceso se describe mediante los pasos siguientes:

2 Metodología de cálculo**2.1 Nomenclatura**

En la descripción, se utiliza la siguiente nomenclatura:

- X : grupo o conjunto de valores
- X_i : valor i -ésimo en el conjunto de valores de X
- N_X : número de valores en X

- $q_G(\mathbf{G})$: función de distribución de probabilidad de la ganancia de la antena en el horizonte; es decir, $q_G(G_i)$ indica la probabilidad de que la ganancia de la antena en el horizonte sea igual a G_i
- $q_L(\mathbf{L})$: función de distribución de probabilidad de las pérdidas del trayecto para una distancia determinada; es decir, $q_L(L_i)$ indica la probabilidad de que las pérdidas en el trayecto sean iguales a L_i
- $r_L(\mathbf{L})$: función de distribución acumulativa de las pérdidas del trayecto para una distancia determinada; es decir, $r_L(L_i)$ indica la probabilidad de que las pérdidas del trayecto sean inferiores a L_i
- $q_C(\mathbf{C})$: función de distribución de probabilidad de las pérdidas del trayecto combinadas – ganancia de la antena en el horizonte para una distancia determinada; es decir, $q_C(C_i)$ indica la probabilidad de que la combinación pérdidas del trayecto – ganancia de la antena en el horizonte sea igual a C_i
- $r_C(\mathbf{C})$: función de distribución acumulativa de la combinación pérdidas del trayecto – ganancia de la antena en el horizonte para una distancia determinada; es decir, $r_C(C_i)$ indica la probabilidad de que la combinación pérdidas del trayecto – ganancia de la antena en el horizonte sea superior a C_i
- s : resolución de la ganancia de la antena en el horizonte y de la función de distribución de probabilidad de las pérdidas del trayecto. Se recomienda un valor de $s = 0,1$ dB
- d_{min} : distancia mínima de coordinación, definida en la Recomendación UIT-R P.620
- $d_{máx}$: distancia máxima de coordinación, definida en la Recomendación UIT-R P.620
- d_s : incremento de la longitud del trayecto para la repetición. Se recomienda un valor comprendido entre 0,1 km y 0,5 km.

2.2 Metodología de cálculo – fundamentos

- a) Conforme al § 3 del Anexo 1, se determina la distribución compleja de probabilidad de la ganancia de la antena en el horizonte, $q_G(\mathbf{G})$ para cada acimut α . Cada valor de \mathbf{G} debe ser un múltiplo entero de s dB, por ejemplo, $q_G(\mathbf{G}) = \{-10,0, -9,9, -9,8, \dots\}$ dBi
- b) Para cada α , se efectúan los pasos siguientes:

Paso 1: La distancia en consideración se denomina d_i y viene dada por:

$$d_i = \{d_{min}, d_{min} + d_s, d_{min} + 2d_s, \dots\} \quad \text{km}$$

Paso 2: Empezando por la distancia d_1 , se efectúan los pasos siguientes:

Paso 2.1: Se determina la distribución de probabilidad de las pérdidas básicas de transmisión $q_L(\mathbf{L})$ que se describen en el § 2.3 de este Anexo.

Paso 2.2: Se efectúa una convolución de las dos distribuciones de probabilidad $q_L(\mathbf{L})$ y $q_G(\mathbf{G})$ y a continuación se integra para dar una distribución de probabilidad acumulada $r_C(\mathbf{C})$, como se describe en el § 2.4 de este Anexo.

Paso 2.3: El valor de $(L_c - G_a)(p)$ es el valor que no rebasa la distribución acumulada de la combinación de pérdidas básicas de transmisión y ganancia de la antena en el horizonte durante el p por ciento del tiempo. Dicho de otra manera, es el valor de C_i para el que $r_C(C_i) = p$, siendo p el porcentaje de tiempo asociado al nivel umbral de interferencia. Cuando no hay un valor de $r_C(C_i)$ que corresponda exactamente a p , suele ser aceptable tomar el valor más próximo.

Paso 2.4: Si la desigualdad de la ecuación (13) no se da y $d_i < d_{máx}$, se incrementa d_i y se repiten los Pasos 2.1 a 2.4. Si no, la distancia de coordinación es d_i .

NOTA 1 – Pueden utilizarse métodos más eficaces de repetición que convergerían más rápidamente en la distancia requerida de coordinación. Pueden utilizarse métodos alternativos de repetición, siempre que su solución converja con un error no superior a 0,5 km.

2.3 Determinación de la distribución de probabilidad de las pérdidas básicas de transmisión

Se necesita una función de distribución de probabilidad de las pérdidas básicas de transmisión para la distancia d_i . La gama de valores de las pérdidas básicas de transmisión se denomina \mathbf{L} , siendo:

$$\mathbf{L} = \{L_{min}, L_{min} + s, L_{min} + 2s, \dots, L_{máx}\} \quad \text{dB}$$

y s indica el valor incremental de cada paso.

El valor mínimo de L_{min} es el valor de las pérdidas básicas de transmisión correspondientes a $p = 0,001\%$. El valor máximo, $L_{máx}$, viene dado por:

$$L_{máx} = 2L_{mean} - L_{min} \quad \text{dB}$$

en la que L_{mean} es el valor de las pérdidas básicas de transmisión correspondientes a $p = 50\%$.

Los valores de L_{min} y $L_{máx}$ deben redondearse para el valor de s dB más próximo. Para cada valor de L , es necesario asociar un porcentaje de tiempo que representa el porcentaje durante el que el valor de las pérdidas no se excede, $r_L(L_i)$. El método para determinar $r_L(L_i)$ varía dependiendo del valor de L_i , tal como se indica en el Cuadro 6:

CUADRO 6

L_i	$r_L(L_i)$
L_{min}	0,001
$L_{min} < L_i < L_{mean}$	Determinada mediante repetición, es decir, en el modelo de propagación, se fijan los valores de la distancia y de las pérdidas básicas de transmisión, y el valor correspondiente de p se obtiene mediante repetición
L_{mean}	50
$L_{mean} < L_i < L_{máx}$	$100 - r_L(2L_{mean} - L_i)$
$L_{máx}$	99,999

A continuación es necesario obtener la función de distribución de probabilidad de las pérdidas básicas de transmisión a partir de la distribución acumulada. Esta función se denomina $q_L(L)$ y viene determinada por:

$$q_L(L_i) = r_L(L_i) \quad \text{para } i = 1$$

y

$$q_L(L_i) = r_L(L_i) - r_L(L_{i-1}) \quad \text{para } i > 1$$

2.4 Método para efectuar la convolución de las distribuciones de probabilidad

Se utilizan los pasos indicados a continuación para determinar la función de distribución de probabilidad y a continuación la función de distribución acumulativa de la combinación de la ganancia de antena en el horizonte y las pérdidas básicas de transmisión, para la distancia d_i .

Los valores máximo y mínimo de las distribuciones combinadas vienen dados por:

$$C_{máx} = L_{máx} - G_{min} \quad \text{dB}$$

y

$$C_{min} = L_{min} - G_{máx} \quad \text{dB}$$

El conjunto de valores C es entonces:

$$C = \{C_{min}, C_{min} + s, C_{min} + 2s \dots, C_{máx}\} \quad \text{dB}$$

N_L y N_G son los números de los valores de cada L y G , respectivamente.

Para cada valor de C_i , se efectúa una convolución discreta a fin de dar la probabilidad total de las pérdidas del trayecto y la ganancia de la antena en el horizonte que sea igual al valor de C_i :

$$q_C(C_i) = \sum_{n=1}^u q_L(L_n) \cdot q_G(L_n - C_i)$$

Los límites inferior y superior de la suma vienen dados por:

$$l = \begin{cases} i - N_G + 1 & \text{para } i > N_G \\ 1 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

$$u = \begin{cases} i & \text{para } i \leq N_L \\ N_L & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

La distribución combinada acumulada de las pérdidas de transmisión y de la ganancia de la antena en el horizonte viene dada por:

$$r_C(C_i) = q_C(C_i) \quad \text{para } i = 1$$

$$r_C(C_i) = r_C(C_{i-1}) + q_C(C_i) \quad \text{para } i > 1$$
