

RECOMENDACIÓN UIT-R IS.849-1

DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE COORDINACIÓN PARA ESTACIONES TERRENAS QUE FUNCIONAN CON VEHÍCULOS ESPACIALES NO GEOESTACIONARIOS EN BANDAS COMPARTIDAS CON LOS SERVICIOS TERRENALES*

(Cuestiones UIT-R 3/12, UIT-R 4/12, UIT-R 5/12 y UIT-R 6/12)

(1992-1993)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que en algunos sistemas espaciales que utilizan estaciones espaciales no geoestacionarias, la ganancia de las antenas de la estación terrena hacia el horizonte puede variar considerablemente con el tiempo de una manera coherente y predecible;
- b) que en los casos en los cuales la ganancia de la antena de la estación terrena hacia el horizonte varía considerablemente con el tiempo, una ganancia relativamente elevada hacia el horizonte y una pérdida de transmisión básica relativamente baja en el mismo acimut pueden considerarse fenómenos independientes, que sólo ocurrirán simultáneamente durante pequeños porcentajes de tiempo;
- c) que los límites del ángulo de elevación mínimo del haz principal de la antena y la máxima potencia isotrópica radiada equivalente (p.i.r.e.) en dirección al horizonte prescritos para las estaciones terrenas en el artículo 28 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) ayudan a limitar la magnitud máxima de las distancias de coordinación;
- d) que en el método descrito en la Recomendación UIT-R IS.847 para determinar las distancias de coordinación se supone que la ganancia de la antena de la estación terrena hacia el horizonte es constante,

recomienda

1. que las estaciones terrenas que utilizan antenas para seguir satélites no geoestacionarios se exploten con los valores prácticos más elevados de los ángulos de elevación de antena mínimos, en consonancia con los requisitos operacionales y los límites del ángulo de elevación y de la p.i.r.e. especificados en el artículo 28 del RR;
2. que las zonas de coordinación para las estaciones terrenas que funcionan con satélites no geoestacionarios se determinen utilizando uno de los métodos siguientes, el que dé como resultado la distancia de coordinación más pequeña (nota 1). Estos métodos deben aplicarse utilizando los parámetros de estación terrenas receptora incluidos en el cuadro 1, cuando proceda, en lugar de los que figuran en el cuadro 2 del anexo 1 a la Recomendación UIT-R IS.847 (nota 2).

2.1 Métodos estadísticos

Método de 3% – Cuando las estadísticas de la ganancia de antena hacia el horizonte puedan determinarse de acuerdo con el anexo 1, debe utilizarse el valor de la ganancia de antena hacia el horizonte (es decir, G_t' , o G_r según proceda) rebasado durante el 3% del tiempo, determinado para cada acimut por el método indicado en el anexo 1, junto con el método del anexo 1 a la Recomendación UIT-R IS.847 para las distancias del Modo de propagación 1.

Método compuesto – Cuando se identifica una estación terrena de otra administración que puede ser afectada dentro de la zona de coordinación determinada de acuerdo con este método, y tras llegar a un acuerdo entre las administraciones, este contorno de coordinación puede sustituirse por el contorno de coordinación determinado de acuerdo con el método compuesto del anexo 2. El método compuesto tiene en cuenta las estadísticas conjuntas de pérdida de propagación y ganancia de antena mediante la combinación de sus funciones de densidad de probabilidad (nota 3).

* El procedimiento descrito en esta Recomendación se aplica a situaciones en las cuales la zona de coordinación debe determinarse a partir de niveles umbral de potencia de interferencia especificados. Para los casos en los cuales las distancias de coordinación están predeterminadas, véase la Recomendación UIT-R IS.850. De todos modos debe consultarse la Recomendación UIT-R IS.850 antes de aplicar la presente Recomendación.

2.2 Método de ganancia que no varía con el tiempo (TIG – «Time Invariant Gain»)

Cuando las estadísticas de ganancia de la antena hacia el horizonte no pueden determinarse fiablemente, deben utilizarse los valores de la ganancia de antena hacia el horizonte definidos a continuación para cada acimut en el método del anexo 1 a la Recomendación UIT-R IS.847 para las distancias del Modo de propagación 1 (nota 4).

$$\begin{array}{ll}
 G_e = G_{m\acute{a}x} & \text{para } (G_{m\acute{a}x} - G_{m\acute{i}n}) \leq 20 \text{ dB} \\
 G_e = G_{m\acute{i}n} + 20 & \text{para } 20 \text{ dB} < (G_{m\acute{a}x} - G_{m\acute{i}n}) < 30 \text{ dB} \\
 G_e = G_{m\acute{a}x} - 10 & \text{para } (G_{m\acute{a}x} - G_{m\acute{i}n}) \geq 30 \text{ dB}
 \end{array}$$

donde:

- G_e : ganancia de antena hacia el horizonte de la estación terrena (dBi) en un determinado acimut, para su utilización como G_r' o G_r en la ecuación (2) del anexo 1 a la Recomendación UIT-R IS.847
- $G_{m\acute{a}x}$ y $G_{m\acute{i}n}$: valores máximo y mínimo de la ganancia de antena hacia el horizonte (dBi), respectivamente, en el acimut que se considera;

3. que en el caso de que una estación terrena deba funcionar algunas veces con satélites en órbita geoestacionaria y otras con satélites no geoestacionarios, la distancia de coordinación para cada acimut es la mayor de las distancias de coordinación determinadas para cada tipo de funcionamiento, de conformidad con todas las disposiciones aplicables de la presente Recomendación y de la Recomendación UIT-R IS.847 (nota 5);

4. que los contornos de coordinación publicados para las estaciones terrenas que funcionan con estaciones espaciales no geoestacionarias se complementen con los siguientes datos:

- una indicación del método del § 2 ó 3 del *recomienda* que se utilizó para determinar la zona de coordinación;
- un diagrama o cuadro que muestre para cada acimut los ángulos de elevación operacionales mínimos, y
- una lista de los valores de ganancia de antena hacia el horizonte utilizados en el cálculo de las distancias de coordinación;

5. que las siguientes notas se consideren parte integrante de esta Recomendación:

Nota 1 – Se considera que el método estadístico y el método de ganancia que no varía con el tiempo (TIG «Time invariant gain») indicados en el § 2 del *recomienda* proporcionan distancias de coordinación compatibles con la finalidad de las zonas de coordinación. En los casos prácticos considerados al formular esta Recomendación, se encontró que generalmente el método estadístico da como resultado distancias de coordinación menores que el método TIG. De este modo, la distancia de coordinación será el valor determinado por el método estadístico a menos que los valores determinados por el método TIG sean menores para todos los acimutes, en cuyo caso deben utilizarse los valores obtenidos con el método TIG. En el anexo 3 figuran ejemplos de cálculos de las distancias de coordinación utilizando ambos métodos.

Nota 2 – En el § 2 del *recomienda* no se considera el Modo de propagación 2 (dispersión hidrométrica) porque la probabilidad de que no se rebase el nivel de pérdida de transmisión requerido se reduce considerablemente debido al movimiento de la antena en el caso de antenas de estación terrena con una ganancia relativamente alta, o por las pérdidas de transmisión relativamente altas asociadas a las antenas de estación terrena que tienen una ganancia relativamente baja. En todos los casos, las distancias en el Modo de propagación 2 serían menores que las distancias en el Modo de propagación 1 (círculo máximo). Sin embargo, el mecanismo del Modo 2 puede producir una interferencia importante a distancias de separación más cortas que la distancia de coordinación del Modo 1; por tanto, durante la coordinación es necesario considerar la posibilidad de interferencia a través del Modo propagación 2.

Nota 3 – El modo compuesto descrito en el anexo 2 es un nuevo procedimiento y se insta a las administraciones a utilizarlo. Las pruebas de este procedimiento han indicado hasta ahora que produce una zona de coordinación que es suficientemente grande, pero más pequeña que la producida por el método estadístico (3%) o el método TIG indicados en el § 2 del *recomienda*.

Nota 4 – Las disposiciones del método TIG permiten aprovechar algunas ventajas de la naturaleza cambiante con el tiempo de la ganancia de la antena hacia el horizonte para las estaciones terrenas que utilizan antenas que funcionan siguiendo estaciones espaciales no geoestacionarias. Sin embargo, ninguna ventaja puede obtenerse de manera fiable con este método para las estaciones terrenas que utilizan antenas de baja ganancia (es decir, las antenas que tienen una ganancia máxima inferior a unos 23 dBi generalmente no pueden producir diferencias de 20 dB o superiores entre los valores mínimo y máximo de la ganancia de la antena hacia el horizonte).

CUADRO 1

**Parámetros para la determinación de la distancia de coordinación para estaciones terrenas receptoras
que funcionan con estaciones espaciales no geoestacionarias**

Designaciones del servicio de radiocomunicaciones espaciales		Servicio de investigación espacial			Servicio de operaciones espaciales		Servicio de exploración de la Tierra por satélite		Servicio meteorológico por satélite		
		Espacio próximo a la Tierra		Espacio lejano							
Bandas de frecuencias (MHz) ⁽¹⁾		No tripulado	Tripulado		2 290-2 300	1 525-1 530	2 200-2 290	8 025-8 400		1 670-1 710 ⁽¹⁴⁾	
		1 700-1 710 2 200-2 290									
Modulación en la estación terrena ⁽²⁾		-	-	-	-	-	N	N	N	N	N
Parámetros y criterios de interferencia de la estación terrena	p_0 (%)	0,1	0,001	0,001	1,0	1,0	0,02	0,022	0,012	0,012	0,006
	n	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
	p (%)	0,05	0,001	0,001	1,0	0,5	0,01	0,011	0,006	0,006	0,003
	N_L (dB) ⁽³⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
	M_s (dB) ⁽⁴⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24
	W (dB) ⁽⁵⁾	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0
Parámetro de la estación terrenal	E (dBW) A	62 ⁽⁶⁾	62 ⁽⁶⁾	62 ⁽⁶⁾	50	62 ⁽⁷⁾	55	55	92 ⁽⁷⁾	92 ⁽⁷⁾	55
	E (dBW) N	-	-	-	37	-	42	42	-	-	-
	P_t (dBW) A	10 ⁽⁶⁾	10 ⁽⁶⁾	10 ⁽⁶⁾	13	10 ⁽⁷⁾	13	13	40 ⁽⁷⁾	40 ⁽⁷⁾	13
	P_t (dBW) N	-	-	-	0	-	0	0	-	-	-
	ΔG (dB)	10 ⁽⁶⁾	10 ⁽⁶⁾	10 ⁽⁶⁾	-5	10 ⁽⁷⁾	0	0	10 ⁽⁷⁾	10 ⁽⁷⁾	0
Anchura de banda de referencia ⁽⁸⁾	B (Hz)	1	1	1	10^3	10^3	100×10^6 ⁽⁹⁾	40×10^6 ⁽⁹⁾	$5,33 \times 10^6$	$1,334 \times 10^6$	10^6
Nivel de interferencia umbral	$P_r(p)$ (dBW) en B	-216	-216	-222	-184	-184	-118 ⁽¹⁰⁾	-126 ⁽¹¹⁾	-124 ⁽¹²⁾	-144 ⁽¹³⁾	-142

Notas relativas al cuadro 1:

- (1) Las bandas de frecuencias atribuidas figuran en el artículo 8 del Reglamento de Radiocomunicaciones.
- (2) A: Modulación analógica; N: Modulación digital.
- (3) (4) y (5) Véanse las notas 2, 3 y 4 en el § 2.3.1 del anexo 1 a la Recomendación UIT-R IS.847.
- (6) En estas bandas, se han utilizado los parámetros para las estaciones terrenales asociadas con sistemas transhorizonte.
Para el servicio de investigación espacial solamente, cuando no se consideran los sistemas transhorizonte, suponiendo que se han estimado para la anchura de banda de 1 Hz y que están 30 dB por debajo de la potencia total supuesta para la emisión, pueden utilizarse los siguientes valores:
 $E = 20$ dBW, $P_t = -17$ dBW, $\Delta G = -5$ dB para estaciones terrenales analógicas
 $E = -23$ dBW, $P_t = -60$ dBW, $\Delta G = -5$ dB para estaciones terrenales digitales.
- (7) En estas bandas se han utilizado los parámetros para las estaciones terrenales asociadas a los sistemas transhorizonte. Si una administración estima que los sistemas transhorizonte no necesitan ser considerados, pueden utilizarse los parámetros de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa asociados a la banda de frecuencias 1 525-1 530 MHz para determinar la zona de coordinación.
- (8) En algunos sistemas puede ser conveniente elegir una anchura de banda de referencia B diferente de la que figura en el cuadro, cuando los requisitos del sistema indican que ello puede hacerse. Sin embargo, puesto que no deben cambiarse los valores de E y P_t una anchura de banda mayor tendrá como resultado distancias de coordinación más pequeñas, y una decisión tardía de reducir la anchura de banda de referencia puede exigir una nueva coordinación por parte de la estación terrena. También puede ser conveniente disminuir el valor de la anchura de banda de referencia; por ejemplo, para transmisiones en banda estrecha, podría suponerse que la anchura de banda de referencia B es igual a la anchura de banda estrecha ocupada por las transmisiones deseadas.
- (9) En ciertos casos es necesario considerar una anchura de banda de referencia B más pequeña, debido a las características de los sistemas. En tales casos, debe suponerse que la anchura de banda de referencia B es igual a la anchura de banda real ocupada o a 1 MHz, de estos dos valores el más alto, y los criterios de interferencia umbral se han de adoptar proporcionalmente (por ejemplo, si $P_r(p)$ es -118 dBW en 100 MHz, será -138 dBW de 1 MHz).
- (10) Este valor se aplica para una estación terrena utilizada en la adquisición de datos registrados y con una ganancia de antena de 55,2 dBi (9 m de diámetro). Para otras ganancias de antena, el nivel total de interferencia admisible varía de forma directamente proporcional a la ganancia de la antena.
- (11) Este valor se aplica para una estación terrena utilizada en lectura directa de datos y con una ganancia de antena de 36,4 dBi (1 m de diámetro). Para otras ganancias de antena, el nivel total de interferencia admisible varía de forma directamente proporcional a la ganancia de antena.
- (12) Este valor se aplica para una estación terrena con una ganancia de antena de 46,8 dBi (15,9 m de diámetro). Para otras antenas, en la gama 39 dBi (6,5 m de diámetro) $< \sigma < 46,8$, $P_r(p) = \sigma - 170,8$ dBW.
- (13) Este valor se aplica para una estación terrena con una ganancia de antena de 29,8 dBi (2,2 m de diámetro). Para antenas con otros valores de ganancia de σ ($\sigma \leq 38$ dBi), los valores adecuados de $P_r(p)$ son los siguientes:
- | | | | |
|---------------------------------|-----|------|-----------------------------------------------------------|
| $P_r(p) = -144$ | dBW | para | $\sigma \leq 30$ dBi (2,3 m de diámetro) |
| $P_r(p) = 2(\sigma - 30) - 144$ | dBW | para | $30 \text{ dBi} < \sigma \leq 34$ dBi (3,6 m de diámetro) |
| $P_r(p) = \sigma - 170$ | dBW | para | $34 \text{ dBi} < \sigma < 38$ dBi (5,8 m de diámetro). |
- (14) En la banda 1 670-1 700 MHz, se requiere un contorno de coordinación adicional con el servicio de ayudas a la meteorología. Para los detalles de los cálculos, véase el cuadro 2 de la Recomendación UIT-R IS.850.

Nota 5 – En los casos en que se aplica el § 3 del *recomienda*, las distancias de propagación del Modo 2 deben determinarse y aplicarse para las operaciones de satélites geoestacionarios, como se describe en la Recomendación UIT-R IS.847. En estos casos, la distancia de coordinación para cualquier acimut determinado es la mayor de las distancias determinadas para el funcionamiento de satélites geoestacionarios (Modos de propagación 1 y 2) y el funcionamiento de estaciones espaciales no geoestacionarias (Modo de propagación 1 solamente).

ANEXO 1

Estadísticas aplicables a la ganancia de antena en la dirección del horizonte

Es preciso considerar para cada acimut las distribuciones acumulativas de la ganancia de antena hacia el horizonte, con miras a determinar:

- la ganancia de antena hacia el horizonte que se excede durante el 3% del tiempo, y
- las densidades probables de la ganancia de antena hacia el horizonte en los casos en los cuales tenga que calcularse el contorno de coordinación mediante el método compuesto.

Esas distribuciones se determinan como se indica a continuación. Mediante soportes lógicos de simulación de vuelo de estación espacial, o por otros medios, se determinarán las estadísticas de la orientación de antena de la estación terrena y, por tanto, las estadísticas de la ganancia de antena hacia el horizonte en determinados acimutes. Pueden utilizarse diagramas de radiación de antena medidos o de referencia, según se describe en el apéndice 1 al anexo 1 a la Recomendación UIT-R IS.847. En consonancia con la finalidad de esta Recomendación, es esencial que las estadísticas aplicadas de ganancia de antena hacia el horizonte no subestimen los valores estadísticos reales.

Cuando la estación terrena actúa como receptora, el umbral de interferencia aplicable $P_r(p)$ se especifica con respecto al porcentaje de tiempo durante la recepción. Por lo tanto, las estadísticas de ganancia de antena hacia el horizonte deben especificarse con respecto al tiempo total durante el cual el receptor está en funcionamiento, y no con respecto al tiempo total transcurrido. Las estadísticas se refieren a las operaciones de recepción previstas de las estaciones terrenas, con excepción de aquéllas que funcionan con satélites geoestacionarios. Así pues, al considerar el funcionamiento de una estación terrena con estaciones espaciales en diversas órbitas o trayectorias, el porcentaje de tiempo durante el cual se excede una determinada ganancia de antena hacia el horizonte es el máximo de los porcentajes de tiempo durante el cual dicho nivel se excede en el funcionamiento con cada estación espacial. Puesto que las probabilidades temporales están normalizadas por un tiempo total de recepción para cada tipo de operación, existe cierta tolerancia que permite pasar por alto algunas operaciones de estación terrena que puedan conducir a valores más elevados de ganancia de antena hacia el horizonte, excedidos durante un porcentaje de tiempo determinado. Generalmente estas omisiones conducen a lo sumo a una pequeña subestimación de la ganancia de antena hacia el horizonte excedida durante el 3% del tiempo (por ejemplo, un error de 1 dB) y, en consecuencia, el contorno de coordinación sigue siendo fiable. Además, en los casos en que se calcula un contorno de coordinación por el método compuesto, el error real en lo que respecta a la distancia de coordinación resultante se verá reducido gracias al proceso de convolución (que aplica valores de pérdida de transmisión básicamente conservadoramente bajos).

En el caso de una estación terrena de transmisión, las estadísticas de ganancia de antena se especifican con respecto al tiempo total transcurrido, independientemente de que la estación terrena esté o no funcionando durante todo ese tiempo. Esto es necesario en aras de la compatibilidad con los umbrales de interferencia especificados para los servicios terrenales.

Así pues, es indispensable considerar cuidadosamente todas las operaciones de estación terrena previstas que correspondan con el calendario de funcionamiento más cargado, de tal forma que produzcan estadísticas correspondientes al mes más deficiente para la ganancia de antena hacia el horizonte. (Las estadísticas de ganancia de antena hacia el horizonte para el mes más deficiente son las relacionadas con los 30 días contiguos de funcionamiento de una estación terrena que producen el nivel más elevado de ganancia de antena hacia el horizonte excedido durante el 3% del tiempo. En muchos casos puede definirse el calendario de funcionamiento de la estación terrena más intenso posible y los tipos de órbitas y trayectorias conexas de la estación terrena, para utilizarlo como base para el cálculo de las estadísticas correspondientes al mes más desfavorable.)

Zona de coordinación para estaciones terrenas con antenas de seguimiento. Determinación mediante el método compuesto

1. Introducción

En este anexo se modifica la metodología del anexo 1 de la Recomendación UIT-R IS.847 para obtener distancias de coordinación compatibles con los niveles relativamente bajos de ganancia de antena hacia el horizonte que se producen durante grandes porcentajes de tiempo en determinadas estaciones terrenas que funcionan con estaciones espaciales no geostacionarias.

Según el método compuesto, el contorno de coordinación se determina utilizando cálculos en los que se aplican precisamente las estadísticas temporales asociadas con la pérdida de transmisión básica y la ganancia de antena hacia el horizonte de una estación terrena. En consecuencia, las distancias determinadas con este método son más pequeñas que las distancias de coordinación determinadas por el método estadístico (3%), que necesariamente formula hipótesis conservadoras con fines de simplificación. Cuando las estadísticas de la ganancia de antena hacia el horizonte pueden predecirse con un alto grado de confianza, el contorno de coordinación determinado por medio del método compuesto asegurará que ninguna estación terrena situada fuera de dicho contorno causará o sufrirá interferencia inadmisibles con respecto a la estación terrena.

El método compuesto requiere la utilización de cálculos relativamente complejos que sólo deben aplicarse mediante acuerdo con las administraciones afectadas. Toda la terminología y los símbolos de parámetros utilizados en este caso se definen en la Recomendación UIT-R IS.847 salvo cuando las definiciones se incluyen en este anexo.

Para determinar el contorno de coordinación con el método compuesto se utiliza una forma alternativa de la ecuación (2) del anexo 1 a la Recomendación UIT-R IS.847, que conlleva un cálculo iterativo con convergencia a la distancia de coordinación. La ecuación en la cual se basan las iteraciones es la siguiente:

$$I(p) = P_{t'} + G_{terr} + [G_{es} - L_b(d')] (p) \quad (1a)$$

$$e = P_r(p) - I(p) \quad (1b)$$

$$d_{m1} = d', \text{ cuando } 0 < e < 0,5 \text{ dB} \quad (1c)$$

donde:

- $I(p)$: nivel de potencia interferente (dBW) en la anchura de banda de referencia que se prevé ocurrirá durante no más del $p\%$ del tiempo en la entrada de la antena receptora;
- $P_{t'}$: potencia del transmisor (dBW) en la anchura de banda de referencia a la entrada de la antena de la estación potencialmente interferente (véase una definición más completa en la Recomendación UIT-R IS.847);
- G_{terr} : Ganancia de antena (dBi) de la estación terrenal;
- G_{es} : ganancia de antena (dBi) de la estación terrena hacia el horizonte físico (es decir, la ganancia de antena en la dirección del horizonte);
- $L_b(d')$: pérdida de transmisión básica (dB) en un trayecto de longitud de d' ;
- d' : distancia de coordinación estimada (km);
- e : magnitud (dB) en la cual el nivel umbral de coordinación de la potencia de la señal interferente excede el nivel de la potencia de la señal interferente, que se prevé ocurrirá en la distancia de coordinación estimada;
- $P_r(p)$: nivel umbral de coordinación (dBW) de la potencia de la señal interferente en la anchura de banda de referencia;
- d_{m1} : distancia de coordinación (km), que resulta de la aplicación iterativa de las ecuaciones (1a) y (1b).

2. Determinación de los valores de la función $[G_{es} - L_b(d')](p)$

El valor de la función $[G_{es} - L_b(d')](p)$ se determina a partir de la distribución acumulativa que se calcula mediante la convolución de las densidades de probabilidad temporal de G_{es} y $L_b(d')$. Estas densidades de probabilidad, a su vez, se determinan a partir de las distribuciones acumulativas de G_{es} y $L_b(d')$. La distribución acumulativa de la ganancia de antena de una estación terrena se determina de conformidad con el anexo 1.

La distribución acumulativa de $L_b(d')$ se establece a partir de estadísticas calculadas utilizando el método del § 3 del anexo 1 a la Recomendación UIT-R IS.847, según se complementa en el § 4 de este anexo. Se utiliza la interpolación logarítmica para lograr una distribución acumulativa continua a partir de las estadísticas calculadas, como sigue:

$$\begin{array}{ll}
 p \leq 0,0001: & L_b(d') = L_b(0,001) - 10 \text{ dB} \\
 \\
 \left. \begin{array}{l}
 p = 0,001 \\
 p = 0,01 \\
 p = 0,1 \\
 p = 1,0 \\
 p = 10,0
 \end{array} \right\} & \text{Los valores se calculan utilizando el § 3 del anexo 1 a la Recomendación} \\
 & \text{UIT-R IS.847} \\
 \\
 p = 50,0: & L_b(d') = \text{calculado de conformidad con el § 4} \\
 p = 90,0: & L_b(d') = (2 \times L_b(50)) - L_b(10,0) \\
 p = 99,0: & L_b(d') = (2 \times L_b(50)) - L_b(1,0) \\
 p = 99,9: & L_b(d') = (2 \times L_b(50)) - L_b(0,1) \\
 p \geq 99,99 & L_b(d') = L_b(99,9) + 20 \text{ dB}
 \end{array}$$

3. Convergencia iterativa de la distancia de coordinación según el método compuesto

La estimación inicial de la distancia de coordinación d' debe considerarse como el 95% de la distancia de coordinación resultante del método estadístico (3%) indicado en el § 2 de *recomienda*. En las ecuaciones (1a) y (1b) se utilizan las estimaciones inicial y sucesivas de la distancia de coordinación d' para determinar los valores del parámetro e , que, a su vez, se utiliza para determinar la magnitud en que debe incrementarse d' . Puesto que todas las variables y ecuaciones en estas iteraciones se comportan monótonamente, pueden utilizarse diversos métodos para determinar las estimaciones sucesivas de d' , con miras a converger en la distancia de coordinación de conformidad con la ecuación (1c). Con referencia a los parámetros distancia d_n y atenuación específica β_n definidos en el § 3 del anexo 1 a la Recomendación UIT-R IS.847, ecuaciones (15) y (16), un método de ese tipo para efectuar estimaciones sucesivas de la distancia es el siguiente:

$$L_n = d_n \beta_n \quad (2a)$$

$$d' = \frac{L_1 - 0,8 e}{\beta_1} \quad \text{para } n = 1 \quad (2b)$$

$$d' = \frac{L_n \text{ (a partir del último valor de } d')}{\beta_n \text{ (a partir del último valor de } d')} + \sum_{i=1}^{n-1} D_i \quad \text{km} \quad \text{para } n > 1 \quad (2c)$$

donde:

L_n : componente de pérdida de transmisión básica (dB) obtenido a partir de la n ésima sección del trayecto de la señal interferente

d' : valor siguiente de la distancia de coordinación estimada (km) que ha de aplicarse en las ecuaciones (1a) a (1c).

4. Pérdida de propagación excedida durante todos los porcentajes de tiempo salvo el 50%

La pérdida de transmisión básica o excedida durante todos los porcentajes de tiempo salvo el 50% se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$L_b(50) = 137 + k(f) + 20 \log d' + 0,09 d' + 0,075 |\zeta| + A_g \quad (3)$$

donde:

$L_b(50)$: pérdida de transmisión básica (dB) excedida durante todos los porcentajes de tiempo salvo el 50%

$$k(f) = \begin{cases} 30 \log (f) & \text{para } f \leq 2 \text{ GHz} \\ 3 + 20 \log (f) & \text{para } f > 2 \text{ GHz} \end{cases}$$

f : frecuencia (GHz)

d' : distancia de coordinación estimada (km)

ζ : latitud de la estación terrena (grados)

A_g : atenuación gaseosa (dB)

$$A_g = (\beta_o + \beta_v)d'$$

β_o y β_v : se definen en la Recomendación UIT-R IS.847.

ANEXO 3

Ejemplo de cálculos de la distancia de coordinación para una estación terrena que funciona con satélites de órbita baja

1. Introducción

En este anexo se proporcionan ejemplos de cálculo de la distancia de coordinación para un acimut, utilizando los métodos del § 2 del *recomienda*. El cuadro 2 contiene los parámetros utilizados en este ejemplo.

En el cuadro 3 se indica la distribución acumulativa de la ganancia de antena hacia el horizonte generada para el acimut que se considera en este ejemplo, según lo requerido para el método estadístico.

2. Método de ganancia que no varía con el tiempo (TIG – Time-invariant gain)

A partir del diagrama de antena, el ángulo de elevación mínimo de la antena y el ángulo de horizonte físico especificado para la estación terrena en el cuadro 2, la diferencia entre los valores máximos y mínimos de la ganancia de antena hacia el horizonte es $30,6 - (-1,4)$ dB ó 32 dB. Así pues, la ganancia de antena hacia el horizonte que ha de utilizarse en la ecuación (2) del anexo 1 a la Recomendación UIT-R IS.847 es 20,6 dBi ($30,6 \text{ dBi} - 10 \text{ dB}$).

De la ecuación (2) del anexo 1 a la Recomendación UIT-R IS.847 y los parámetros contenidos en el anterior cuadro 2, se desprende que:

$$\begin{aligned} L_b(0,006) &= 37 + 20,6 - (-144) \\ &= 201,6 \text{ dB} \end{aligned}$$

Del § 3.2 del anexo 1 a la Recomendación UIT-R IS.847:

$$L_1 = 201,6 - 120 - 20 \log 1,7 - \log 0,006 - 5(0,006)^{0,5} - \left(20 \log \left[1 + (4,5) (3) (1,72)^{0,5} \right] + 3(1,7)^{0,33} \right)$$

$$= 49,9 \text{ dB}$$

$$\beta_i(0,006) = 0,01 + \left[0,04 + 0,05 \log 1,7 + 0,16(0,006)^{0,1} \right] + 0,0 + 0,0$$

$$= 0,157 \text{ dB/km}$$

$$d_1 = 318 \text{ km.}$$

CUADRO 2

Parámetros de la estación terrenal receptora y de la órbita del satélite utilizados para determinar la distancia de coordinación con respecto a una estación terrenal digital

Tipo de estación terrena	Meteorológica, receptora
Latitud (grados)	37,5
Frecuencia (GHz)	1,70
Diámetro de antena (m)	2,46
Ángulo de elevación de funcionamiento mínimo (grados)	3
Diagrama de antena (dBi):	
$G(\varphi) = \begin{cases} 30,6 - (2,5 \times 10^{-3}) (14 \varphi)^2 & \text{para } \varphi < 5,4^\circ \\ 16,2 & \text{para } 5,4^\circ \leq \varphi < 9,4^\circ \\ 40,5 - 25 \log \varphi & \text{para } 9,4^\circ \leq \varphi < 48^\circ \\ -1,4 & \text{para } \varphi \geq 48^\circ \end{cases}$	
Parámetros de la órbita	
Satélites múltiples con efemérides similares	
Inclinación (grados)	98,89
Altitud (km)	825
Parámetros del receptor	
$P_r(p)$ (dBW)	-144
Porcentaje de tiempo (p)	0,006
Estación terrenal	
Potencia de transmisión (P_t) (dBW)	0
Ganancia del haz principal (G_{terr}) (dBi)	37
Ajuste de ganancia (G) (dB)	-5
Parámetros de análisis	
Acimut interferente	90
Zona radioclimática	A2
Horizonte físico (grados)	3

CUADRO 3

**Estadísticas de la ganancia de antena hacia el horizonte
para el ejemplo de una estación terrena receptora**

Ganancia de antena en dirección al horizonte de la estación terrena (dBi)	Porcentaje de tiempo de recepción en que se excede la ganancia (cuatro dígitos significativos)
30,6	0,0000
24,0	0,0195
23,0	0,0585
22,0	0,0975
21,0	0,0976
20,0	0,1365
19,0	0,6632
18,0	0,8192
17,0	1,1313
16,0	1,3068
15,0	1,6189
14,0	2,0285
13,0	2,4966
12,0	2,9647
11,0	3,5303
10,0	4,1935
9,0	5,0322
8,0	5,9294
7,0	6,8851
6,0	8,0164
5,0	9,3037
4,0	10,8250
3,0	12,4144
2,0	14,2383
1,0	16,2863
0,0	18,4708
-1,0	20,9674
-1,4	22,2157

3. Método estadístico

Interpolando las estadísticas de la ganancia de antena hacia el horizonte que figuran en el cuadro 3, la ganancia de antena hacia el horizonte que se excede durante el 3% del tiempo es 11,9 dBi. De ahí se desprende que:

$$L_b(0,006) = 192,9 \text{ dB}$$

$$L_1 = 41,1 \text{ dB}$$

$$\beta_i(0,006) = 0,157 \text{ dB/km (según se determinó anteriormente en el § 2)}$$

$$d_1 = 262 \text{ km.}$$

4. Distancia de coordinación resultante para el problema del ejemplo

Puesto que la distancia de coordinación de 262 km determinada mediante el método estadístico es menor que la determinada con el método TIG (318 km), la distancia de coordinación en el acimut que se considera es de 262 km y debe utilizarse el método estadístico para determinar las distancias de coordinación para todos los acimutes.