

RECOMENDACIÓN UIT-R IS.847-1

DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE COORDINACIÓN DE UNA ESTACIÓN TERRENA QUE FUNCIONA CON UNA ESTACIÓN ESPACIAL GEOESTACIONARIA Y UTILIZA LA MISMA BANDA DE FRECUENCIAS QUE UN SISTEMA DE UN SERVICIO TERRENAL*

(Cuestión UIT-R 6/12)

(1992-1993)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que, en donde las estaciones terrenas y las estaciones terrenales comparten las mismas bandas de frecuencias, existe una posibilidad de interferencia, bien sea que la transmisión de la estación terrena interfiera en la recepción de las estaciones terrenales o que la transmisión de la estación terrenal interfiera en la recepción de las estaciones terrenas, o que se produzcan ambos fenómenos;
- b) que, para evitar esa interferencia, será deseable que las frecuencias de transmisión y recepción utilizadas por las estaciones terrenas estén coordinadas con las frecuencias empleadas por los servicios terrenales, que pueden recibir interferencia procedente de las transmisiones de estaciones terrenas o causar interferencia en la recepción de las estaciones terrenas;
- c) que será necesario efectuar esta coordinación dentro de la zona que rodee a la estación terrena y extenderla hasta distancias más allá de las cuales se considere despreciable la posibilidad de interferencia mutua;
- d) que esa zona puede extenderse al territorio sometido a la jurisdicción de otra administración;
- e) que tal interferencia mutua dependerá de varios factores, que incluyen la potencia del transmisor, el tipo de modulación, las ganancias de antena en la dirección de las señales no deseadas, los niveles de interferencia admisible en los receptores, los mecanismos de propagación de las ondas radioeléctricas, la radioclimatología, la distancia entre las estaciones y el perfil del terreno;
- f) que tendrá que examinarse con detalle la posibilidad de interferencia en cada caso, tomando en cuenta todos los factores;
- g) que, como condición preliminar a ese examen detallado, es conveniente establecer un método para determinar, basándose en amplios supuestos, la zona de coordinación alrededor de una estación terrena, de modo que pueda considerarse despreciable la posibilidad de interferencia mutua con las estaciones terrenales situadas fuera de esa zona y que sólo se requiera la coordinación mutua cuando la zona de coordinación de la estación terrena coincida en parte con un territorio sometido a la jurisdicción de otra administración;
- h) que la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones, Ginebra, 1979, adoptó el método de determinación de la zona de coordinación establecido en el apéndice 28 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) y pidió al ex CCIR que prosiguiera sus estudios sobre el tema (véase la Recomendación N.º 711 de la CAMR-79);
- j) que la Conferencia adoptó también la Resolución N.º 60 invitando al ex CCIR a mantener los textos pertinentes resultantes de esos estudios en un formato que permitiera la inserción directa en el apéndice 28 del RR, en lugar de los actuales § 3, 4 y 6 o del anexo 3, cuando la Asamblea Plenaria del ex CCIR llegue a la conclusión de que tal inserción es necesaria;
- k) que se necesita elaborar Recomendaciones adecuadas que sirvan como textos básicos para actualizar el apéndice 28 del RR,

recomienda

1. que se utilicen los métodos de determinación de las zonas de coordinación de las estaciones terrenas transmisora y receptora descritos en el anexo 1 para completar o actualizar en parte los procedimientos establecidos actualmente en el apéndice 28 del RR;

* El procedimiento descrito en la presente Recomendación se aplica sólo a estaciones de radiocomunicaciones situadas en la superficie de la Tierra.

2. que toda actualización del apéndice 28 del RR vaya acompañada de la adopción de una Resolución, análoga a la Resolución N.º 60 de la CAMR-79 pero de mayor alcance, para permitir que el apéndice 28 sea modificado teniendo en cuenta los progresos técnicos y los conocimientos recién adquiridos que sugieran la conveniencia de tales modificaciones.

Nota 1 – El procedimiento descrito en el anexo 1 a la presente Recomendación se aplica a situaciones en las que ha de determinarse la zona de coordinación a partir de los valores especificados de interferencia admisible. El procedimiento sirve para la determinación de la zona de coordinación en las bandas de frecuencias en las que el servicio espacial funciona con una estación espacial en una órbita geoestacionaria o geoestacionaria ligeramente inclinada, teniendo una atribución unidireccional (Tierra-espacio o espacio-Tierra).

El procedimiento que ha de seguirse en las bandas de frecuencias que están bidireccionalmente atribuidas (esto es, Tierra-espacio y espacio-Tierra) a servicios espaciales, se halla establecido en la Recomendación UIT-R IS.848.

El procedimiento que ha de seguirse en el caso de las estaciones terrenas de servicios espaciales que utilizan estaciones espaciales no geoestacionarias (por ejemplo, de órbita terrena baja) se halla establecido en la Recomendación UIT-R IS.849.

Para los casos en los que la zona de coordinación está basada en la distancia de coordinación predeterminada con respecto al emplazamiento de una estación terrena o con respecto a la zona dentro de la cual puede funcionar la estación terrena, se aplica la Recomendación UIT-R IS.850. La Recomendación UIT-R IS.850 es adecuada para una estación terrena que funciona con estaciones espaciales geoestacionarias y no geoestacionarias, cuando se necesita utilizar una distancia de coordinación predeterminada, por ejemplo, cuando no puede determinarse con los procedimientos que figuran, respectivamente, en las Recomendaciones UIT-R IS.847 ó UIT-R IS.849.

Obsérvese que, en las bandas bajo la Resolución N.º 46, las distancias de coordinación mencionadas en la Resolución N.º 46 de la CAMR-92 pueden sentar precedente respecto a las determinadas con los métodos mencionados anteriormente.

Los mapas de las figs. 4, 5 y 6 se han tomado de la Recomendación UIT-R PN.837. Esta Recomendación se actualizará a medida que se obtengan más datos estadísticos sobre precipitaciones, y debería utilizarse la versión más reciente en este caso.

Nota 2 – Los métodos descritos en esta Recomendación y en la Recomendación UIT-R IS.848 para la determinación de la zona de coordinación difieren en varios detalles importantes de los del apéndice 30A del RR. Asimismo, los mapas sobre zonas hidrometeorológicas incluidos en los apéndices 30 y 30A del RR difieren también de los de esta Recomendación. Sería preferible que en las futuras revisiones del RR, los apéndices 30 y 30A se armonicen con los textos más recientes del UIT-R.

ANEXO 1

Determinación de la zona de coordinación para una estación terrena que funciona con una estación espacial geoestacionaria

1. Introducción

Este anexo incluye un procedimiento para determinar la zona de coordinación en torno a una estación terrena que transmite señales de radiofrecuencia o que recibe tales señales procedentes de una estación espacial geoestacionaria en las bandas de frecuencias comprendidas entre 1 y 60 GHz compartidas entre servicios de radiocomunicación espaciales y terrenales.

El presente procedimiento permite determinar la zona de coordinación en bandas de frecuencias en las que el servicio espacial tiene una atribución unidireccional (Tierra-espacio o espacio-Tierra). El procedimiento que debe seguirse en las bandas de frecuencias atribuidas bidireccionalmente (es decir, Tierra-espacio y espacio-Tierra) a los servicios espaciales se halla establecido en la Recomendación UIT-R IS.848. El procedimiento que debe seguirse para las estaciones terrenas de servicios espaciales que utilizan estaciones espaciales no geoestacionarias (por ejemplo, en órbita terrena baja) se halla establecido en la Recomendación UIT-R IS.849.

El funcionamiento de estaciones terrenales y terrenas, transmisoras y receptoras, en bandas de frecuencia compartidas comprendidas entre 1 y 60 GHz, puede dar lugar a interferencias entre estaciones de los dos servicios. La magnitud de dicha interferencia depende de la pérdida de transmisión a lo largo del trayecto de interferencia el cual, a

su vez, depende de factores tales como la longitud y la disposición geométrica general del trayecto de interferencia (es decir, del apantallamiento del emplazamiento), de la directividad de la antena, de las condiciones radioclimatológicas y del porcentaje de tiempo durante el cual debe excederse la pérdida de transmisión.

El procedimiento descrito permite determinar, en todas las direcciones acimutales alrededor de la estación transmisora o receptora, una distancia a partir de la cual se prevé que la pérdida de transmisión excederá a un nivel especificado durante todo el tiempo, salvo un determinado porcentaje establecido. Una distancia determinada de esta manera se denomina distancia de coordinación y los puntos extremos de las distancias de coordinación determinadas para todos los acimutes definen un contorno alrededor de la estación terrena (el contorno de coordinación) que delimita la zona de coordinación. Para las estaciones terrenales situadas fuera de la zona de coordinación, la probabilidad de que causen o experimenten interferencia significativa se considera despreciable.

La zona de coordinación se obtiene calculando, para todas las direcciones acimutales a partir de la estación terrena, las distancias de coordinación y dibujando a escala en un mapa apropiado el contorno de coordinación que es el límite de la zona de coordinación.

Aunque el concepto de zona de coordinación esta fundado en datos técnicos, tiene carácter administrativo. Dado que la zona de coordinación se determina antes de haber estudiado con detalle casos precisos de posibles interferencias, es forzoso basar esta determinación en valores supuestos de los parámetros de los sistemas terrenales, mientras que se conocen los parámetros pertinentes de las estaciones terrenales. Para no obstaculizar los progresos de la técnica en materia de sistemas terrenales, deben elegirse para los parámetros supuestos valores ligeramente superiores a los que actualmente se utilizan.

Conviene subrayar que la presencia o la instalación de una estación terrenal en la zona de coordinación de una estación terrena, no impide necesariamente la explotación satisfactoria de la estación terrena o de la estación terrenal, pues el procedimiento para la determinación de la zona de coordinación se basa en supuestos muy desfavorables en lo que respecta a la interferencia mutua.

También debe destacarse que el funcionamiento de una estación terrenal dentro de una zona de coordinación no se ve afectado si se ha coordinado dicha estación. Así, no es preciso que las administraciones eviten la instalación o el despliegue de nuevas instalaciones terrenales dentro de una zona de coordinación.

Para determinar la zona de coordinación habrá que considerar dos casos:

- cuando la estación terrena está transmitiendo (y por consiguiente en condiciones de causar interferencia a las estaciones terrenales en recepción);
- cuando la estación terrena está recibiendo (y por consiguiente expuesta a las interferencias de las emisiones de estaciones terrenales).

Cuando una estación terrena está destinada a transmitir o a recibir diferentes clases de emisión, los parámetros de la estación terrena a utilizar para la determinación del contorno de coordinación deben ser aquellos que conducen a las mayores distancias de coordinación, para cada haz de antena de la estación terrena y en cada banda de frecuencias atribuidas que la estación terrena se propone utilizar en compartición con los servicios terrenales.

Se sugiere que deben trazarse, además del contorno de coordinación, contornos auxiliares basados en hipótesis menos desfavorables que las empleadas para establecer el contorno de coordinación. Esos contornos auxiliares pueden utilizarse para excluir de las negociaciones entre las partes interesadas ciertas estaciones terrenales existentes, o en proyecto, situadas dentro de la zona de coordinación sin que sea necesario recurrir a cálculos más precisos.

Además deberían prepararse contornos de coordinación suplementarios, en donde sea posible, a fin de definir una zona de coordinación más pequeña para un tipo distinto de servicio terrenal si los supuestos técnicos son aplicables a todas las posibles condiciones correspondientes a los dos servicios afectados. Estos contornos suplementarios tienen particular importancia en los casos en que se ha supuesto que las estaciones del servicio fijo utilizan la dispersión troposférica, pero tienen que tenerse en cuenta otras estaciones que funcionan en una configuración de visibilidad directa, o en los casos en que los supuestos comprenden estaciones de servicio fijo, han de tenerse en cuenta estaciones del servicio móvil (salvo móvil aeronáutico). También pueden establecerse contornos auxiliares respecto al contorno suplementario que deben presentarse en un mapa distinto al del contorno de coordinación.

La zona de coordinación de una estación terrena que funciona con una estación espacial geoestacionaria en una órbita geosíncrona ligeramente inclinada debe determinarse en relación con el ángulo mínimo de elevación y con el acimut asociado en el que la estación espacial es visible para la estación terrena.

2. Consideraciones generales

2.1 Concepto de la pérdida de transmisión mínima admisible

La determinación de la distancia de coordinación entendida como distancia desde una estación terrena, más allá de la cual la interferencia sufrida o causada por una estación terrenal puede considerarse despreciable, se basa en el postulado de que la atenuación de una señal interferente aumenta regularmente en función de la distancia.

El grado de atenuación necesario entre un transmisor interferente y un receptor interferido lo da la «pérdida de transmisión mínima admisible (dB) para el $p\%$ del tiempo» (valor que debe rebasar la atenuación de la transmisión prevista o real durante el $(100 - p)\%$ del tiempo)*.

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

donde:

$P_t'^{**}$: potencia máxima de transmisión (dBW) disponible a la entrada de la antena de una estación interferente, en la anchura de banda de referencia

$P_r(p)$: nivel admisible de una emisión interferente (dBW) en la anchura de banda de referencia que no ha de rebasarse durante un porcentaje de tiempo superior a p , a la salida de la antena receptora de una estación interferida cuando la emisión interferente procede de una sola fuente.

P_t' y $P_r(p)$ están definidas para la misma anchura de banda de radiofrecuencia (anchura de banda de referencia) y $L(p)$ y $P_r(p)$ para el mismo porcentaje de tiempo, valores que están determinados por los criterios de calidad de funcionamiento del sistema interferido.

Para los pequeños porcentajes de tiempo que aquí interesan, es necesario distinguir entre dos mecanismos de propagación muy diferentes para una emisión interferente:

- propagación troposférica a lo largo de trayectos que siguen más o menos el círculo máximo; Modo (1), véase el § 3;
- propagación de señales por dispersión debida a hidrometeoros; Modo (2), véase el § 4.

2.2 Concepto de pérdida básica de transmisión mínima admisible

En el caso del Modo de propagación (1) la pérdida de transmisión se define por parámetros separables, por ejemplo una pérdida básica de transmisión (es decir, la atenuación entre antenas isótropas) y las ganancias efectivas de las antenas en uno y otro extremo de un trayecto de interferencia. La pérdida básica de transmisión mínima admisible puede entonces expresarse como sigue:

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

donde:

$L_b(p)$: pérdida básica de transmisión mínima admisible (dB) para el $p\%$ del tiempo (valor que debe rebasar la pérdida básica de transmisión prevista o real durante el $(100 - p)\%$ del tiempo)

G_t' : ganancia isótropa (dB) de la antena transmisora de la estación interferente. Si la estación interferente es una estación terrena, ésta es la ganancia de la antena en dirección del horizonte físico, en un acimut dado; en el caso de una estación terrenal, debe utilizarse la ganancia máxima prevista de la antena de esta estación

G_r : ganancia isótropa (dB) de la antena receptora de la estación interferida. Si la estación interferida es una estación terrena, ésta es la ganancia en dirección del horizonte físico, en un acimut dado; en el caso de una estación terrenal, debe utilizarse la ganancia máxima prevista de la antena de esta estación.

* En el caso de porcentajes de tiempo p comprendidos entre el 0,001% y el 1%, se habla de «interferencia a corto plazo»; cuando el valor de p es superior o igual a 20%, se habla de «interferencia a largo plazo».

** Las letras con el signo prima se refieren a los parámetros correspondientes a la estación interferente.

El apéndice 1 proporciona el método numérico para determinar el ángulo mínimo entre el eje del haz principal de la antena de la estación terrena y el horizonte físico en función del acimut así como las correspondientes ganancias de antena. En el caso de estaciones espaciales en órbitas geoestacionarias ligeramente inclinadas, los ángulos mínimos y las ganancias de antena correspondientes dependerán del ángulo máximo de inclinación que se ha de coordinar.

2.3 Determinación y tabulación de los parámetros de interferencia

2.3.1 Nivel recibido admisible de la emisión interferente

El nivel admisible de la emisión interferente (dBW) en la anchura de banda de referencia, que no debe superarse durante más de un $p\%$ del tiempo a la salida de la antena receptora de una estación sujeta a interferencia, está dado, para cada fuente de interferencia, por la siguiente fórmula general:

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

siendo:

- k : constante de Boltzmann, $1,38 \times 10^{-23}$ J/K
- T_e : temperatura de ruido térmico del sistema receptor (K) en la salida de la antena receptora (véase la nota 1)
- N_L : contribución del ruido de enlace (véase la nota 2)
- B : anchura de banda de referencia (Hz) (anchura de banda, del sistema interferido, en que es posible determinar el valor medio de la potencia de la emisión interferente)
- p : porcentaje del tiempo durante el cual la interferencia de una fuente puede exceder el valor admisible, puesto que no es probable que las interferencias incidentes se produzcan simultáneamente: $p = p_0/n$
- p_0 : porcentaje del tiempo durante el cual la interferencia procedente de todas las fuentes puede exceder el valor admisible
- n : número previsto de interferencias incidentes, de igual nivel e igual probabilidad que se suponen incorreladas para pequeños porcentajes de tiempo
- M_s : margen de calidad de funcionamiento del enlace (dB) (véase la nota 3)
- W : factor de equivalencia (dB) que relaciona la interferencia de las emisiones interferentes con la causada alternativamente por la introducción de un ruido térmico adicional de igual potencia en la anchura de banda de referencia. Este factor es positivo si la emisión interferente produce mayor perturbación que el ruido térmico (véase la nota 4).

Los cuadros 1 y 2 dan valores de parámetros mencionados.

En algunos casos, una administración puede tener razones para creer que está justificado para su estación terrena adoptar valores diferentes de los que se indican en el cuadro 2. Hay que destacar el hecho de que para sistemas determinados puede ser necesario cambiar la anchura de banda B o, por ejemplo, en el caso de sistemas de asignación por demanda, cambiar los porcentajes de tiempo p y p_0 respecto de los indicados en el cuadro 2.

Nota 1 – La temperatura de ruido del sistema receptor (K), referida a los terminales de salida de la antena receptora, puede determinarse por la fórmula siguiente:

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

siendo:

- T_a : temperatura de ruido (K) de la antena receptora
- e : valor numérico de la pérdida en la línea de transmisión (por ejemplo, el guíaondas) existente entre los terminales de la antena y el paso de entrada del receptor
- T_r : temperatura de ruido a la entrada del receptor (K), incluidas las contribuciones de todas las etapas sucesivas referidas a los terminales de entrada del receptor.

Para receptores de sistemas de relevadores radioeléctricos y cuando no se conozca la pérdida de guionondas de una estación terrena receptora, se utilizará un valor de $e = 1,0$.

Nota 2 – El factor N_L es la contribución de ruido en el enlace. En el caso del transpondedor de satélite incluye el ruido del enlace ascendente, la intermodulación, etc. por ejemplo, en términos generales:

$N_L = 1$ dB para los enlaces del servicio fijo por satélite

$N_L = 0$ dB para los enlaces terrenales.

Nota 3 – M_s es el factor por el que tendría que elevarse el ruido de enlace en condiciones de atmósfera despejada para producir la calidad de funcionamiento mínima especificada. Es la suma en dB de dos márgenes: M_0 (el margen natural de calidad de funcionamiento) y ΔM (el margen en exceso operativo). El margen natural de calidad de funcionamiento M_0 es la diferencia (dB) entre los dos valores C/N que producirían exactamente las calidades de funcionamiento nominal especificada («a largo plazo») y mínima especificada («a corto plazo»), respectivamente. El margen en exceso ΔM es la diferencia (dB) entre el C/N real en atmósfera despejada y el que produciría la calidad de funcionamiento especificada nominal; puede ser igual a 0 dB. Así, M_s es el margen de desvanecimiento real, pero también el margen por el que tendría que elevarse el umbral de ruido en atmósfera despejada (por ejemplo, como resultado de las emisiones interferentes) para producir las condiciones de calidad de funcionamiento mínima.

La Recomendación UIT-R F.393 especifica la calidad de funcionamiento de los sistemas de radioenlaces terrenales analógicos para el circuito ficticio de referencia (HRC) de 2 500 km de longitud. Se permite que un solo tramo (de 50 km de longitud) de 50 tramos se degrade desde un valor nominal de 150 pW0p de ruido de canal vocal (3 pW0p/km) hasta el máximo de 47 500 pW0p para todo el HRC (calidad de funcionamiento especificada mínima). Dado que el ruido de premodulación y la calidad de funcionamiento en el canal después de la modulación son proporcionales, $M_0 = 10 \log (47\,500/150) = 25$ dB. Sin embargo, el desvanecimiento en cada tramo exige que proporcione margen suficiente para satisfacer las especificaciones de calidad de funcionamiento mínima; por ello, el tramo medio funciona en condiciones exentas de desvanecimiento en 25 pW0p de ruido. A partir de ese valor, $\Delta M = 10 \log (150/25) = 7,8$ dB, y $M_s = 25 + 7,8 \approx 33$ dB.

Para los sistemas terrenales digitales, la calidad de funcionamiento a corto plazo está protegida por el establecimiento de un margen de desvanecimiento, M_s , de 25 a 40 dB. Dado que es despreciable la probabilidad de que la interferencia aumentada a corto plazo se produzca al mismo tiempo que el desvanecimiento de la portadora, puede utilizarse para esta interferencia todo el margen de desvanecimiento.

En los sistemas analógicos del servicio fijo por satélite, M_0 está dado, conforme a la Recomendación UIT-R S.353, por la fórmula $M_0 = 10 \log (50\,000/10\,000) = 7$ dB. Dado que esto basta para tratar el desvanecimiento por lo menos por debajo de unos 17 GHz, ΔM se considera igual a 0 dB y $M_s = 7$ dB. Para las frecuencias superiores a unos 17 GHz, tal vez haya que suponer que ΔM tiene un valor superior a 0 dB.

En los sistemas digitales del servicio fijo por satélite, M_0 puede ser de solamente 1 dB para circuitos por satélite efectivos. En los circuitos por satélite reales, debido a la presencia de los códigos de corrección de errores en recepción (FEC), la función BER respecto a la relación C/N es muy pronunciada. Además, con valores de BER tan bajos como 10^{-5} , el decodificador del módem puede perder la sincronización con el tren de bits entrante pues el algoritmo FEC del módem comienza a fallar. En particular para velocidades binarias muy bajas, el tiempo de recuperación puede ser apreciablemente alto. Así pues una degradación de la relación C/N de sólo 1,0 dB por debajo, cuando la BER es de 10^{-7} , puede dar lugar a una calidad de funcionamiento degradada y/o a una interrupción para el usuario final comprendida entre unos segundos y varios minutos. El valor bajo de M_0 , esto es, 1 dB, no basta probablemente para afrontar el desvanecimiento en los enlaces reales, puesto que M_s tiene que estimarse directamente a partir de la profundidad de desvanecimiento prevista para los porcentajes reales del tiempo que interesa. Por consiguiente, los valores prácticos de M_s son:

f (GHz)	M_s (dB)
< 10	2
10 a 17	4
> 17	6

CUADRO 1

Parámetros necesarios para la determinación de la distancia de coordinación para una estación terrena transmisora

Denominación del servicio de radiocomunicaciones espaciales	Operaciones espaciales		Móvil por satélite Móvil terrestre por satélite Móvil marítimo por satélite		Móvil por satélite	Investigación espacial Operaciones espaciales Exploración de la Tierra por satélite	Fijo por satélite Móvil por satélite	Fijo por satélite	Investigaciones espaciales		Fijo por satélite Móvil por satélite Meteorológico por satélite	Fijo por satélite	Fijo por satélite	Fijo por satélite	Fijo por satélite	Fijo por satélite	Fijo por satélite				
	A	N	A	N	A	A	A	A	N	A	N	A	N	A	N	A	N				
Bandas de frecuencias (GHz)	1,427-1,429		1,6100-1,6455 1,6565-1,6600 1,675-1,710		1,970-2,010	2,025-2,110 2,110-2,120 (Espacio lejano)	2,655-2,690	5,725-7,075		7,145-7,235		7,900-8,400		10,7-11,7		12,5-13,25 13,75-14,8		17,7-18,1	24,75-25,25 27-29,5	42,5-51,4	
Modulación en la estación terrenal ⁽¹⁾	A	N	A	N	A	A	A	A	N	A	N	A	N	A	N	A	N	N	N	N	
Parámetros y criterios de interferencia de la estación terrenal	p_0 (%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,005	0,001	0,005	0,01	0,005	0,01	0,005	0,01	0,005	0,005	0,005	0,005	
	n	2	2	2	2	2	2	1	2	3	2	2	2	2	2	3	2	2	2	1	1
	p (%)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,01	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,002	0,005	0,005
	N_L (dB)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M_s (dB)	33	33	33	33	26 ⁽²⁾	26 ⁽²⁾	26 ⁽³⁾	33	37	33	37	33	37	33	37	33	40	25	25	25
	W (dB)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Parámetros de la estación terrenal	G_r (dB) ⁽⁴⁾	35	35	35	35	52 ⁽²⁾	52 ⁽²⁾	52 ⁽³⁾	45	45	47	47	47	47	50	50	50	50	50	50	50
	ΔG (dB)	-7	-7	-7	-7	10 ⁽²⁾	10 ⁽²⁾	10 ⁽³⁾	3	3	5	5	5	5	8	8	8	8	8	8	8
	T_r (K)	750	750	750	750	500 ⁽²⁾	500 ⁽²⁾	500 ⁽³⁾	750	750	750	750	750	750	1 500	1 500	1 500	1 500	3 200	3 200	3 200
Anchura de banda de referencia	B (Hz)	4×10^3	10^6	4×10^3	10^6	4×10^3	4×10^3	4×10^3	4×10^3	10^6	4×10^3	10^6	4×10^3	10^6	4×10^3	10^6	4×10^3	10^6	1×10^6	1×10^6	10^6
Nivel admisible de interferencia	P_r (p) (dBW) en B	-131	-107	-131	-107	-140	-140	-140	-131	-103	-131	-103	-131	-103	-128	-100	-128	-97	-109	-109	-109

(1) A: modulación analógica; N: modulación digital.

(2) En esta banda se han utilizado los parámetros para estación terrenal asociados con sistemas transhorizonte. También pueden emplearse parámetros de radioenlaces de visibilidad directa con la banda de frecuencias 1,675-1,710 GHz para determinar la zona de coordinación conforme al § 2.3.1.

(3) Se han utilizado los parámetros para estación terrenal asociados con sistemas transhorizonte. También pueden emplearse parámetros de radioenlaces de visibilidad directa con la banda de frecuencias 5,725-7,075 GHz para determinar la zona de coordinación conforme al § 2.3.1, con excepción de que $G_r = 37$ dB y $\Delta G = -5$ dB.

(4) Las pérdidas del alimentador de la antena no están incluidas.

CUADRO 2

Parámetros necesarios para la determinación de la distancia de coordinación para una estación terrena receptora

Denominación del servicio de radiocomunicaciones espaciales	Móvil por satélite Móvil terrestre por satélite Móvil marítimo por satélite	Operaciones espaciales	Meteo-rológico por satélite	Investigación espacial		Operaciones espaciales	Exploración de la Tierra por satélite	Fijo por satélite		Fijo por satélite	Fijo por satélite	Fijo por satélite		Fijo por satélite Meteo-rológico por satélite Móvil por satélite	Exploración de la Tierra por satélite	Investigaciones espaciales		Fijo por satélite	Meteo-rológico por satélite	Fijo por satélite	Móvil por satélite	
				Cerca de la Tierra	Espacio lejano			Cerca de la Tierra	Espacio lejano													
Banda de frecuencias (GHz)	1,492-1,530 1,555-1,559 2,160-2,200 2,4835-2,5200 (¹)	1,525-1,530	1,670-1,710 (²)	1,700-1,710 2,200-2,290	2,290-2,300 (Espacio lejano)	2,200-2,290	2,200-2,290	2,500-2,690	3,400-4,200			4,500-4,800	7,250-7,750	8,025-8,400	8,400-8,500	10,7-12,75			17,7-47,0			
Modulación de la estación terrena(³)	N	N		N	N	N	N	A	N	A	N	A	N	A	N	-	-	-	A	N		N
Parámetros y criterios de interferencia de la estación terrena	p_0 (%)	10	1,0	0,1	0,001	1	1	0,03	0,003	0,03	0,005	0,03	0,005	0,03	0,005	1,0	0,1	0,001	0,03	0,003		0,003
	n	1	1	2	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3		2	1	2	2		2
	p (%)	10	1,0	0,05	0,001	0,5	0,5	0,01	0,001	0,01	0,002	0,01	0,002	0,01	0,002		0,05	0,001	0,015	0,002		0,002
	N_L (dB)	0		-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1		-	-	1	1		1
	M_S (dB)	1(⁴)		-	-	-	-	7	2	7	2	7	2	7	2		-	-	7	4		6
	W (dB)	0	0	-	-	-	-	4	0	4	0	4	0	4	0		-	-	4	0		0
Parámetros de la estación terrenal	E (dBW)	A	37(⁶)	50	92(⁷)	62(⁷)(⁸)	62(⁷)	92(⁷)	92(⁷)	55	55	92(⁹)	92(⁹)	55	55	55	25(⁸)	25(⁸)	55	55		-
	en B (⁵)	N	37	37						42	42	42(¹⁰)	42(¹⁰)	45	45	42	-18	-18	42	42		40
	P_I (dBW)	A	0	13	40(⁷)	10(⁷)(⁸)	10(⁷)	40(⁷)	40(⁷)	13	13	40(⁹)	40(⁹)	13	13	13	-17(⁸)	-17(⁸)	10	10		-
	en B	N	0	0						0	0	0	0	3	3	0	-60	-60	-3	-3		-7
	ΔG (dB)		-5	-5	10(⁷)	10(⁷)	10(⁷)	10(⁷)	10(⁷)	10(⁷)	0	0	10(⁹)(¹⁰)	10(⁹)(¹⁰)	0	0	0	0	3	3		5
Anchura de banda de referencia(¹¹)	B (Hz)	4×10^3	10^3	10^6	1	1	10^3	10^6	10^6	10^6	10^6	10^6	10^6	10^6	10^6	10^6	1	1	10^6	10^6		10^6
Nivel admisible de interferencia	$P_r(p)$ (dBW) en B	-176	-184		-216	-222	-184	-154	-	-	-	-	-	-	-	-154	-220	-220	-	-		-

Notas relativas al cuadro 2:

- (1) En estas bandas se han utilizado los parámetros de la estación terrenal asociados a los sistemas de radioenlaces de visibilidad directa. Si una administración estima que en las bandas 2,160-2,200 GHz y 2,4835-2,5200 GHz es necesario considerar los sistemas transhorizonte, pueden utilizarse los parámetros asociados a la banda de frecuencias 2,500-2,690 GHz para determinar la zona de coordinación conforme al § 2.3.1.
- (2) En la banda 1,670-1,700 GHz se requiere un contorno adicional para la coordinación con el servicio de ayudas a la meteorología. Para los detalles del cálculo, véase el cuadro 2 de la Recomendación UIT-R IS.850.
- (3) A: modulación analógica; N: modulación digital.
- (4) Este valor se basa en una contribución de la interferencia del 25%. Véase la nota 3 del § 2.3.1.
- (5) E se define como la potencia radiada isotrópica equivalente de la estación terrenal interferente en la anchura de banda de referencia.
- (6) Este valor se ha reducido a partir del valor nominal de 50 dBW para determinar la zona de coordinación, reconociendo la escasa probabilidad de que las emisiones de alta potencia lleguen plenamente a la anchura de banda relativamente estrecha de la estación terrena.
- (7) Igual que la nota (9) con la excepción de que $E = 50$ dBW para las estaciones terrenales analógicas y $\Delta G = -5$ dB. No obstante, para el servicio de investigación espacial únicamente, téngase en cuenta la nota (8) cuando no se consideran los sistemas transhorizonte, $E = 20$ dBW y $P_t = -17$ dBW para las estaciones terrenales analógicas, $E = -23$ dBW y $P_t = -60$ dBW para las estaciones terrenales digitales; y $\Delta G = -5$ dB.
- (8) Estos valores se estiman para una anchura de banda de 1 Hz y son inferiores en 30 dB a la potencia total supuesta para la emisión.
- (9) En esta banda se han utilizado los parámetros para las estaciones terrenales asociados con sistemas transhorizonte. Si una administración estima que no tienen que tenerse en cuenta los sistemas transhorizonte pueden utilizarse los parámetros de radioenlaces de visibilidad directa con la banda de frecuencias 3,4-4,2 GHz para determinar la zona de coordinación de acuerdo con el § 2.3.1.
- (10) Se supone que los sistemas digitales no son de tipo transhorizonte. Por consiguiente, $\Delta G = 0$. Para los sistemas digitales transhorizonte, pueden utilizarse los parámetros indicados para los sistemas analógicos transhorizonte.
- (11) En algunos sistemas del servicio fijo por satélite puede convenir escoger una mayor anchura de banda B de referencia cuando las características del sistema lo permiten. No obstante, una mayor anchura de banda determinará menores distancias de coordinación y si posteriormente se decide reducir la anchura de banda de referencia, podrá ser necesario determinar nuevamente la distancia de coordinación de la estación terrena.

Las señales que han de recibirse en la estación terrena móvil pueden no ser susceptibles de especificación de los criterios de calidad de funcionamiento. En particular tal vez no sea posible cuantificar directamente los componentes del margen M_0 y ΔM . Para proporcionar cierta medida de la protección contra la interferencia en esas estaciones terrenales sólo es posible conservar su margen operativo limitando la potencia del ruido interferente que puede añadirse al ruido del sistema receptor. El criterio que ha de utilizarse queda dado entonces por el aumento admisible de la potencia de ruido del sistema receptor ΔN (por ejemplo, 25%) (expresado como porcentaje que no se ha de rebasar en más de $p\%$ (por ejemplo, 10 – 50% del tiempo)), de modo que para cada estación:

$$P_r(p) = 10 \log k T B + 10 \log (\Delta N/100)$$

Esto proporciona un margen de calidad de:

$$M_s = 10 \log (\Delta N/100 + 1)$$

Nota 4 – El factor W (dB) es la relación entre el nivel de la potencia de ruido térmico de radiofrecuencia y la potencia recibida de una emisión interferente que, en el lugar de la primera y contenida en la misma anchura de banda (de referencia), produzca la misma interferencia (es decir, un aumento en la potencia de ruido del canal de audio o de vídeo, o en la proporción de bits erróneos). El factor W , depende generalmente de las características de las señales deseada e interferente.

Para interferencia entre transmisiones telefónicas MDF-MF, W puede calcularse mediante:

$$W = 10 \log \left[f_m (1 + r m) D(f_m, 0) \right] \quad \text{dB} \quad (5)$$

donde:

m : valor eficaz del índice de modulación de la señal interferida

r : relación tensión de cresta/tensión eficaz de la señal multicanal correspondiente a la señal interferida.

Obsérvese que el término $f_m(1 + r m)$ es igual a la mitad de la anchura de banda de la señal interferida obtenida mediante la regla de Carson.

El término $D(f_m, 0)$ es un término de convolución incluido en el factor B de reducción de interferencia de la ecuación (3) de la Recomendación UIT-R SF.766.

Cuando el valor eficaz del índice de modulación de la señal deseada es mayor que 0,8, W aproximadamente, no excederá un valor de unos 4 dB cuando la anchura de banda de referencia se toma como la anchura de banda de «ruido» de radiofrecuencia de la señal deseada.

Para índices de modulación eficaces muy pequeños de la señal deseada, W puede tomar gran cantidad de valores, que aumentan con la disminución de los índices de modulación tanto de la señal deseada como de la señal no deseada. Para estos casos se ha demostrado que es útil escoger como anchura de banda de referencia la anchura de banda nominal del canal telefónico de 4 kHz, y, en este caso, $W \leq 0$ dB.

Si la señal deseada es digital, W es normalmente menor o igual que 0 dB, independientemente de las características de la señal interferente.

La Recomendación UIT-R SF.766 contiene información que permite determinar W con más precisión.

2.3.2 Contornos auxiliares

Los contornos de coordinación y los contornos de coordinación suplementarios se basan en los supuestos más desfavorables respecto a las posibilidades de interferencia. Esos supuestos desfavorables rara vez se aplican en la práctica y así deben establecerse los contornos auxiliares para facilitar la eliminación del examen ulterior de las estaciones a las que no se aplican los supuestos extremos.

En el Modo de propagación de círculo máximo 1 el empleo de contornos auxiliares es útil desde el punto de vista administrativo porque la administración del territorio en el que se extiende la zona de coordinación puede, sin recurrir a un análisis más detallado o a negociaciones entre las administraciones, utilizar los contornos auxiliares para que no se consideren afectadas las estaciones terrenales o las clases de estación en los casos en que la ganancia de antena de la estación del servicio terrenal o la p.i.r.e. en la dirección de la estación terrena sea inferior a los valores supuestos en los cuadros 1 y 2.

Los contornos auxiliares se aplican también a las estaciones terrenas receptoras y transmisoras.

Los contornos auxiliares deben trazarse en reducciones apropiadas de 5, 10, 15, 20 dB, etc. de la pérdida de transmisión requerida, hasta la distancia de coordinación mínima de 100 km.

2.3.3 Contornos de coordinación suplementarios

El contorno de coordinación se basa en el tipo de estación terrenal que dará las mayores distancias de coordinación. Hasta ahora, dado que todas las bandas de interés están atribuidas al servicio fijo, se ha supuesto que las estaciones fijas que utilizan la dispersión troposférica ocupan bandas que pueden típicamente ser utilizadas por tales sistemas, mientras que las estaciones fijas que funcionan en configuraciones de visibilidad directa y utilizan la modulación analógica emplean las demás bandas. Sin embargo, los demás sistemas terrenales tienen típicamente menores ganancias de antena u otras características menos estrictas que aquellas en que se basan las zonas de coordinación máximas. La administración notificante puede identificar un contorno de coordinación suplementario que asuma la función de contorno de coordinación para tales sistemas. En tales casos, por ejemplo, en los sistemas digitales fijos, los cuadros 1 y 2 facilitan los parámetros necesarios. El contorno de coordinación suplementario puede trazarse con sus contornos auxiliares identificados por separado del contorno de coordinación.

En el caso de las bandas compartidas por los servicios fijo y móvil, también pueden trazarse esos contornos suplementarios. Los parámetros para esa finalidad no figuran actualmente en los cuadros 1 y 2.

3. Determinación de la distancia de coordinación para el Modo de propagación (1) – Mecanismos de propagación a lo largo del círculo máximo

3.1 Zonas radioclimáticas

En el cálculo de la distancia de coordinación para el Modo de propagación (1), se divide el mundo en cuatro zonas radioclimáticas básicas. Estas zonas se definen del modo siguiente:

- Zona A1: áreas costeras y litorales, es decir, el territorio adyacente a un área de la zona B o zona C (véase más adelante), hasta una altitud de 100 m respecto al nivel medio del mar o del agua, pero limitado a una distancia máxima de 50 km del área más próxima de la zona B o de la zona C, según convenga; en ausencia de información precisa sobre el contorno de 100 m puede utilizarse una aproximación (por ejemplo, 300 pies)
- Zona A2: todo el territorio distinto de las áreas costeras y litorales antes definidas como zona A1
- Zona B: mares «fríos», océanos y otras extensiones de agua continentales importantes situadas en latitudes superiores a 30°, con excepción del Mar Mediterráneo y del Mar Negro
- Zona C: mares «cálidos», océanos y otras extensiones de agua continentales importantes situadas en latitudes inferiores a 30°, incluidos el Mar Mediterráneo y el Mar Negro.

Extensión de agua continental «importante»

Una extensión de agua continental «importante» (en la zona B o C según corresponda) se define para los fines administrativos de la coordinación como aquella que tiene una superficie de 7 800 km² por lo menos, pero excluyendo la superficie de los ríos. Las islas incluidas en esas extensiones de agua se consideran agua para el cálculo de esta zona si tienen elevaciones inferiores a 100 m por encima del nivel medio del agua en más del 90% de su superficie. Las islas que no satisfacen esos criterios deben clasificarse como tierra para el cálculo de esta zona.

Zonas de lagos continentales importantes o zonas terrestres húmedas

Las extensiones continentales importantes de más de 7 800 km² que contienen numerosos lagos pequeños o un río pueden plantear problemas. Las administraciones pueden declarar que esas zonas son «costeras» de la zona A1 si contienen más de un 50% de agua y si más del 90% del terreno tiene una elevación inferior a 100 m por encima del nivel medio del agua.

Entre las regiones que pertenecen a la zona A1, es difícil determinar sin ambigüedad las extensiones de agua continental importantes y las regiones terrestres húmedas. Por ello, se pide a las administraciones que registren con la Oficina de Radiocomunicaciones (BR) aquellas regiones, en el interior de sus fronteras territoriales, que deseen identificar como pertenecientes a una de dichas categorías. A menos que se disponga de información registrada diciendo lo contrario, todas las zonas terrestres se considerarán pertenecientes a la zona climática A2.

Para obtener la máxima coherencia de los resultados entre las administraciones es muy conveniente que los cálculos de este procedimiento se basen en el Mapa Mundial Digitalizado del UIT-R (IDWM), que está disponible para entornos de computador central o computador personal.

3.2 Procedimiento para el cálculo de la distancia de coordinación para el Modo (1)

La distancia de coordinación para el Modo de propagación (1) es la distancia, d_1 (km), que resultará en un valor de pérdida básica de transmisión disponible existente que es igual a la pérdida básica de transmisión admisible mínima, $L_b(p)$ dB, según se define en el § 2.2.

$$L_b(p) = P_{t'} + G_e + 42 + \Delta G - P_r(p) \quad \text{dB} \quad (6)$$

donde:

$P_{t'}$ y $P_r(p)$ definidas en el § 2.1

G_e : ganancia de la antena de estación terrena (dBi) que corresponde al ángulo de elevación sobre el horizonte y al acimut del trayecto radial en consideración

ΔG : la diferencia (dB) entre la ganancia de antena máxima supuesta para la estación terrenal y el valor de 42 dB. Los cuadros 1 y 2 dan los valores de ΔG para distintas bandas de frecuencias.

Supóngase:

$$L_1 = L_b(p) - A_1 \quad \text{dB} \quad (7)$$

en la que:

$$A_1 = 120 + 20 \log f + \log p + 5 p^{0.5} + A_h \quad \text{dB} \quad (8)$$

donde:

f : frecuencia (GHz)

A_h : corrección para el ángulo de elevación sobre el horizonte de la estación terrena θ° * dada en la expresión:

$$A_h = \begin{cases} 20 \log \left[1 + 4,5 \theta f^{0.5} \right] + \theta f^{0.33} & \text{dB} & \text{para } \theta \geq 0^{\circ} & (9a) \\ 8 \theta & \text{dB} & \text{para } 0^{\circ} > \theta \geq -0,5^{\circ} & (9b) \\ -4 & \text{dB} & \text{para } \theta < -0,5^{\circ} & (9c) \end{cases}$$

Nota 1 – El valor máximo para A_h es 30 dB; el empleo de valores mayores puede impedir que se realice la protección en situaciones prácticas.

Una vez determinado L_1 , la distancia requerida puede determinarse basándose en:

$$L_1 = \sum_{i=1}^n \beta_i(p) d_i \quad \text{dB} \quad (10)$$

en donde $i = 1$ a n se refiere a las distintas secciones del trayecto, pertenecientes a las zonas de tipo A1, A2, B o C según se definen en el § 3.1. En cada trayecto radial puede haber varias secciones de cada tipo.

d_i : distancia atravesada (km) de la i -ésima sección del trayecto

$\beta_i(p)$: atenuación específica total (dB/km) para la i -ésima sección de trayecto a saber:

$$\beta_i(p) = 0,01 + \beta_{dz}(p) + \beta_o + \beta_{vz} \quad \text{dB/km} \quad (11)$$

* El ángulo de elevación sobre el horizonte se define aquí como el ángulo visto desde el centro de la antena de la estación terrena, entre el plano horizontal y un rayo tangencial al horizonte físico visible en la dirección interesada. Es preciso determinar los ángulos sobre el horizonte para todos los acimutes en torno a una estación terrena. En la práctica bastará en general utilizar incrementos de acimut de 5° . Sin embargo, debe hacerse todo lo posible para identificar y tomar en cuenta los ángulos de elevación sobre el horizonte mínimos que pueden ocurrir entre los acimutes examinados en incrementos de 5° .

$\beta_{dz}(p)$: coeficiente de atenuación (específico de zona) excedido en la totalidad del tiempo, menos $p\%$, a causa de fenómenos de propagación anómala

$$\beta_{dz}(p) = C_1 + C_2 \log f + C_3 p^{C_4} \quad \text{dB/km} \quad (12)$$

El cuadro 3 indica los valores de C_1 , C_2 , C_3 y C_4 para las cuatro zonas climáticas.

CUADRO 3

Valores para C_1 , C_2 , C_3 , C_4 y ρ

Zona	C_1	C_2	C_3	C_4	ρ (g/m ³)
A1	0,03	0,03	0,15	0,2	10,0
A2	0,04	0,05	0,16	0,1	7,5
B	0,015	0,015	0,05	0,15	10,0
C	0	0,015	0,04	0,15	10,0

β_o y β_{vz} : atenuaciones específicas debidas al oxígeno y al vapor de agua

$$\beta_o = \begin{cases} \left[7,19 \times 10^{-3} + \frac{6,09}{f^2 + 0,227} + \frac{4,81}{(f - 57)^2 + 1,50} \right] f^2 \times 10^{-3} \text{ dB/km} & \text{para } f < 57 \text{ GHz} \\ \beta_o = \beta_{o(57)} + 1,5(f - 57) & \text{dB/km para } 57 \leq f \leq 60 \text{ GHz} \end{cases} \quad (13a)$$

$$\beta_o = \beta_{o(57)} + 1,5(f - 57) \quad \text{dB/km para } 57 \leq f \leq 60 \text{ GHz} \quad (13b)$$

en donde:

$\beta_{o(57)}$: valor de β_o hallado utilizando la ecuación (13a) y una frecuencia de 57 GHz

$$\beta_{vz} = \left\{ 0,050 + 0,0021 \rho + \frac{3,6}{(f - 22,2)^2 + 8,5} + \frac{10,6}{(f - 183,3)^2 + 9,0} + \frac{8,9}{(f - 325,4)^2 + 26,3} \right\} f^2 \rho 10^{-4} \quad \text{dB/km para } f < 350 \text{ GHz} \quad (14)$$

Los valores de β_{vz} dependen de la zona climática y deben calcularse utilizando los valores apropiados de densidad del vapor de agua ρ (g/m³) como se muestra en el anterior cuadro 3.

La ecuación (10) muestra que la distancia global por el Modo (1) puede tener que realizarse mediante un cálculo iterativo. Utilizando longitudes predeterminadas de la sección de trayecto, D_i , para cada trayecto radial a partir del emplazamiento de la estación terrena, se calculan y suman, en dB, los valores de los productos $\beta_i(p)D_i$ (dB) para sucesivas secciones de trayecto hasta que la suma sea superior a L_1 (dB), con lo cual se obtendrá el valor de n . Sin embargo, la inclusión de toda la longitud de la n -ésima sección (en particular si pasa sobre el mar) dará en general una distancia total que excederá apreciablemente a la necesaria para obtener L_1 (dB). Por consiguiente, en donde:

$$\sum_{i=1}^n \beta_i(p) D_i > L_1 \quad \text{dB} \quad (15)$$

La penetración parcial requerida, d_n , en la n -ésima zona se determina por interpolación lineal:

$$d_n = \left[L_1 - \sum_{i=1}^{n-1} \beta_i(p) D_i \right] / \beta_n \quad \text{km} \quad (16)$$

Entonces la distancia de coordinación para el Modo (1), d_1 , está dada por:

$$d_1 = \begin{cases} d_n + \sum_{i=1}^{n-1} D_i & \text{km para } n > 1 \\ L_1 / \beta_1 & \text{km para } n = 1 \end{cases} \quad (17)$$

Sin embargo, este valor de d_1 está sometido a los límites establecidos a continuación en el § 3.3.

3.3 Distancias máximas de coordinación para el Modo de propagación (1)

Para los trayectos situados enteramente dentro de una sola zona, la distancia no excederá al valor dado a continuación en el cuadro 4 para esa zona.

Para los trayectos mixtos, la distancia de coordinación puede comprender contribuciones procedentes de las zonas A1, A2, B y C. La distancia combinada para cualquier zona no excederá del valor dado a continuación en el cuadro 4 y la combinación de distancias de las zonas A1 y A2 no pasará de 500 km. La distancia global de coordinación no rebasará el valor del cuadro 4 para la zona del trayecto mixto que tenga el mayor valor del cuadro 4.

CUADRO 4

Distancias máximas de coordinación para el Modo (1)

Zona	d_{m1} (km)
A1	500
A2	350
B	900
C	1 200

4. Determinación del contorno de coordinación para el Modo de propagación (2): dispersión por hidrometeoros

La distancia de coordinación en la dispersión por hidrometeoros es la distancia que producirá una pérdida de transmisión disponible, L_2 , igual a la pérdida de transmisión admisible mínima $L(p)$ según se define en el anterior § 2.1.

$$L(p) = P_t' - P_r(p) \quad \text{dB} \quad (18)$$

Como se indica en el § 2, la distancia de coordinación mínima es de 100 km. Para el caso general de la interferencia procedente de dispersión por hidrometeoros, se considera que proporciona una protección adecuada, de modo que sólo tienen que evaluarse casos concretos dentro de esa distancia contada a partir de la estación terrena. Sin embargo, puede haber combinaciones especiales de parámetros de sistemas, esto es, altas potencias del transmisor interferente y/o bajas potencias interferentes admisibles en el receptor interferido, lo que hará que esta última estación requiera una protección adicional frente a la interferencia procedente de dispersión por hidrometeoros.

Por consiguiente, si la pérdida de transmisión requerida, $L(p)$, pasa de más de ΔG (dB) del valor que se aplica en el cuadro 5 para la banda de frecuencias y la zona hidroclimática (véase el apéndice 3) correspondientes a la estación terrena, debe utilizarse el procedimiento dado en el apéndice 2 para crear el contorno de Modo (2) convenientemente ampliado.

CUADRO 5

**Pérdidas de transmisión admisibles (dB) para los cálculos de los contornos
ampliados en el Modo (2)**

Banda de frecuencias (GHz)	Zona hidroclimática				
	A, B	C, D, E	F, G, H, J, K	L, M	N, P, Q
1	152	148	144	141	136
4	140	136	132	129	125
6	138	134	130	127	124
8	136	132	129	126	124
10	135	131	129	127	126
12	134	131	129	127	126
14	135	132	130	128	127
18	138	136	134	132	131
20	144	142	140	139	137
22,4	153	151	149	148	146
25	149	147	145	144	142
28	147	145	143	141	139
30	147	145	143	141	140
35	151	149	147	145	143
40-60	157	155	153	151	149

5. Valor mínimo de la distancia de coordinación

Si el método para la determinación de d_1 , distancia de coordinación para el Modo de propagación (1), conduce a un resultado inferior a 100 km, se tomará d_1 igual a 100 km. De manera análoga, 100 km será también la distancia mínima de coordinación para el Modo de propagación (2), medida desde la estación terrena en cualquier azimut con el que el método para determinar la distancia de dispersión por hidrometeoros identifique un punto que esté más cerca de 100 km de la estación terrena.

6. Contorno de coordinación

En cualquier acimut, se empleará la mayor de las distancias de coordinación d_1 o d_2 para la construcción del contorno de coordinación. Sin embargo, para permitir decidir cuál de los dos modos de propagación puede ignorarse al determinar si una clase dada de estación terrenal tiene que considerarse afectada, la parte del contorno de propagación por el Modo (1) que está dentro de la zona de propagación por el Modo (2) y la parte del contorno por el Modo de propagación (2) que está dentro de la zona del Modo de propagación (1) podría indicarse como contornos en líneas de guiones.

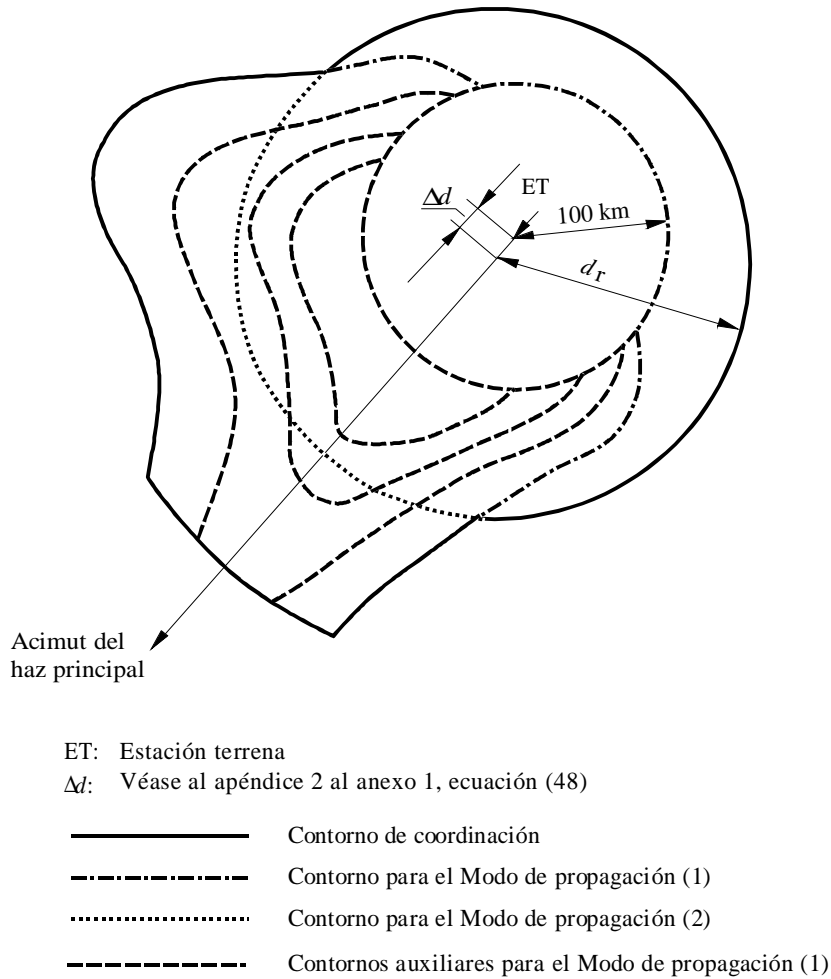
La fig. 1 muestra un ejemplo de contorno de coordinación.

7. Utilización del computador

Basándose en el procedimiento descrito previamente, podrían generarse contornos de coordinación y contornos suplementarios o auxiliares y, cuando se desee, dibujarlos sobre un mapa con ayuda del computador.

Las administraciones tienen a su disposición el Mapa Mundial Digitalizado del UIT-R (IDWM) y el soporte lógico para extraer información del mismo, así como el soporte lógico para calcular las zonas de coordinación conforme al Reglamento de Radiocomunicaciones, las Normas Técnicas y las Reglas de Procedimiento del UIT-R. Según las disposiciones del artículo 11 del Reglamento de Radiocomunicaciones, una administración, y en particular la administración de un país que necesite asistencia especial, puede pedir a la BR que calcule y documente la zona de coordinación. Por otra parte, algunas administraciones han presentado a la UIT programas de computador que además de calcular la zona de coordinación y los contornos auxiliares o suplementarios, realizan también trabajos de postprocesamiento, como es la selección de una serie de estaciones fijas en relación con el contorno.

FIGURA 1
Ejemplo de contorno de coordinación para una estación terrena que funciona con un satélite geostacionario



Nota 1 – Si al utilizar los contornos auxiliares se demuestra que, para el Modo de propagación (1), se puede eliminar una estación terrenal:

- en el estudio no se considerará dicha estación terrenal si ésta se encuentra fuera del contorno del Modo de propagación (2);
- si dicha estación terrenal está situada dentro del contorno del Modo de propagación (2), deberá seguir siendo considerada, pero únicamente para este Modo.

D01

8. Consideraciones de explotación en frecuencias superiores a 10 GHz

En frecuencias superiores a 10 GHz, la atenuación debida a la lluvia debilitará las señales recibidas en las estaciones terrenas o espaciales durante pequeños porcentajes de tiempo, incrementándose este efecto cuando aumenta la frecuencia.

Cuando los márgenes de potencia en los enlaces ascendente y descendente no sean suficientes para mantener la continuidad requerida del servicio, puede ser necesario recurrir a la diversidad de emplazamientos, al control de potencia, o a ambos.

Cuando se utiliza control de potencia en el enlace ascendente para compensar la atenuación debida a la lluvia en un trayecto Tierra-espacio, este aumento de potencia tenderá a producir una interferencia potencial mayor a los sistemas terrenales en cuya dirección la atenuación puede no haber aumentado. Por lo tanto, puede ser necesario determinar los contornos de coordinación teniendo en cuenta las potencias máximas que pueden radiarse y los porcentajes de tiempo durante los cuales es posible que se utilicen determinados niveles de control de potencia. Se entiende que, para determinar la zona de coordinación, debe utilizarse la potencia máxima que puede ser emitida por una estación terrena transmisora. Sin embargo, la potencia de transmisión sólo será aumentada cuando la atenuación debida a la lluvia exceda un valor especificado. En consecuencia, la potencia incrementada no contribuirá a la interferencia debida a la propagación guiada, pues este fenómeno se produce en condiciones de atmósfera despejada. Así pues, la potencia de transmisión máxima disponible que se utiliza para determinar la zona de coordinación para el Modo de propagación (1) debe ser diferente de la utilizada para el Modo de propagación (2). De hecho, para el Modo de propagación (1) parece apropiado utilizar, como potencia de transmisión máxima disponible, la potencia de transmisión emitida en condiciones de atmósfera despejada.

Cuando se utilice diversidad de emplazamientos para compensar la atenuación, deberá determinarse los contornos de coordinación para ambos emplazamientos. Puesto que las precipitaciones son el mecanismo responsable en mayor grado de la atenuación, cada uno de los dos emplazamientos se pondrá en funcionamiento, generalmente, sólo hasta un determinado valor de la atenuación, es decir, de una determinada intensidad de lluvia, por encima de la cual el funcionamiento se transfiere al otro emplazamiento. Como consecuencia, las distancias de coordinación de dispersión por la lluvia deben determinarse únicamente para aquellas intensidades de lluvia para las cuales se realiza la conmutación al otro emplazamiento. Puesto que las intensidades de lluvia de conmutación serán sustancialmente menores que las intensidades de lluvia máximas para el porcentaje de tiempo durante el cual debe mantenerse la continuidad del servicio, las zonas de coordinación de dispersión por la lluvia para ambos emplazamientos serán significativamente más pequeñas que las de un emplazamiento único sin diversidad. Es evidente que esta ventaja puede aplicarse tanto a la estación terrena transmisora como a la receptora.

9. Estaciones terrenas móviles (excepto móviles aeronáuticas)

Para decidir si se requiere la coordinación para una estación móvil (excepto móvil aeronáutica), es necesario determinar la zona de coordinación que abarcaría todas las zonas de coordinación determinadas para cada ubicación dentro de la zona de servicio en que se propone explotar las estaciones terrenas móviles.

El método anterior puede utilizarse para la determinación de los contornos de coordinación individuales correspondientes a un número de ubicaciones suficientemente amplio en el interior y en la periferia de la zona de servicio prevista, y determinando a partir de ellos una zona de coordinación global que contenga todas las zonas de coordinación individuales posibles.

En la determinación de la zona de coordinación de una zona geográfica que ha de contener estaciones terrenas móviles, sólo se necesita en general seleccionar algunos puntos en la periferia de la zona geográfica y construir una envolvente de los contornos resultantes de los puntos de coordinación mediante el trazado de líneas continuas en el mapa usado. La envolvente de línea continua constituye el contorno efectivo de coordinación.

10. Estaciones terrenas transportables

Si una estación terrena transportable ha de funcionar en una determinada zona, se aplica el método descrito anteriormente para las estaciones terrenas del servicio móvil (salvo móvil aeronáutico) a fin de determinar la zona de coordinación de la estación terrena transportable.

11. Revisión de los datos de propagación

El texto contenido en el presente anexo se basa directa o indirectamente, en los datos de propagación compilados, interpretados y documentados en otros textos del UIT-R. El presente material adopta una forma análoga al apéndice 28 del Reglamento de Radiocomunicaciones, que está sujeto a revisión conforme a la Resolución N.º 60 de la CAMR-79. Los conocimientos relativos a la propagación están sometidos a cambios a medida que se disponga de datos nuevos y más fiables, y esos cambios pueden exigir o sugerir fuertemente modificaciones correspondientes del texto relacionado con la propagación contenido en el presente anexo, basado en las conclusiones del UIT-R.

Ganancia de la antena de una estación terrena en la dirección del horizonte, en el caso de satélites geostacionarios

1. Consideraciones generales

La componente de ganancia de la antena de la estación terrena en la dirección del horizonte físico alrededor de una estación terrena es función del ángulo de separación entre el eje del haz principal y el horizonte en la dirección considerada. Cuando la estación terrena se utilice para transmitir a más de una estación espacial en órbita geostacionaria, o a una o más estaciones espaciales en órbitas ligeramente inclinadas, deben considerarse todas las posibles direcciones de puntería del eje del haz principal de la antena. Para la coordinación de la estación terrena se requiere para cada azimut el conocimiento de $\varphi(\alpha)$, el valor posible mínimo de la separación angular que se producirá durante el funcionamiento de la estación espacial.

Cuando un satélite geostacionario mantiene su emplazamiento cerca de su posición orbital nominal, su elevación ε y su azimut α , vistos desde una estación terrena a una latitud ζ conservan una relación única. La fig. 2 muestra los posibles arcos de posiciones en la órbita geostacionaria en un gráfico azimut/elevación rectangular. Indica los arcos correspondientes a un conjunto de latitudes de estación terrena y los arcos de intersección correspondientes a los puntos de la órbita con una diferencia fija en la longitud Este u Oeste de la estación terrena. La fig. 2 muestra también una parte del perfil del horizonte $\varepsilon(\alpha)$. El ángulo fuera de haz $\varphi(\alpha)$ entre el perfil del horizonte a un azimut de 190° y una estación espacial situada a 28° Oeste de una estación terrena a 43° de latitud Norte aparece indicado por el círculo máximo trazado con línea discontinua en la fig. 2.

Cuando se relaja el mantenimiento Norte-Sur de un satélite geostacionario, la órbita del satélite adquiere una inclinación que aumenta gradualmente con el tiempo. Vista desde la Tierra, la posición del satélite traza la cifra ocho en cada periodo de 24 h. La fig. 3 muestra las trayectorias de una serie de satélites, cada uno con 10° de inclinación, separados por 3° a lo largo de la órbita geostacionaria de 28° Oeste a 44° Este de una estación terrena situada en una longitud de 43° Norte. Para los fines de la determinación de la zona de coordinación sólo tiene que considerarse una envolvente limitante de esas trayectorias. Puede utilizarse una envolvente limitante simple basada en los desplazamientos máximos en latitud y longitud de los puntos subsatelitales de los satélites en todas las posibles posiciones a lo largo del arco, como muestra la fig. 3. Ésta indica también, con una curva de guiones, el arco del círculo máximo correspondiente al ángulo fuera de haz mínimo $\varphi(\alpha)$ entre esta envolvente y el perfil horizonte a un azimut de 110° .

La curva limitante utilizada para determinar el ángulo fuera de haz mínimo debe basarse en la inclinación orbital máxima que se admitirá durante la duración operativa de las estaciones espaciales en esta porción de la órbita geostacionaria. El empleo de la envolvente limitante simplifica el cálculo del ángulo fuera de haz mínimo. No exige conocer los valores concretos de los emplazamientos de las estaciones espaciales en el arco. No todos ellos pueden conocerse de antemano y tal vez algunas estaciones espaciales requieran el reposicionamiento en un momento ulterior.

2. Determinación de $\varphi(\alpha)$

Para la determinación de $\varphi(\alpha)$ pueden distinguirse cuatro casos. Dependen de que se considere una sola estación espacial o una parte de la órbita geostacionaria o de que la estación terrena funcione o no con estaciones espaciales en órbitas ligeramente inclinadas. En todos esos casos pueden utilizarse las siguientes ecuaciones:

$$\psi_s(i, \delta) = \arccos(\sin \zeta \sin i + \cos \zeta \cos i \cos \delta) \quad (19)$$

$$\varepsilon_s(i, \delta) = \arcsin \left[\frac{K \cos \psi_s(i, \delta) - 1}{(1 + K^2 - 2K \cos \psi_s(i, \delta))^{1/2}} \right] \quad (20)$$

$$\alpha'_s(i, \delta) = \arccos \left[\frac{\sin i - \cos \psi_s \sin \zeta}{\sin \psi_s \cos \zeta} \right] \quad (21)$$

$$\alpha_s(i, \delta) = \alpha'_s(i, \delta) \quad \text{para las estaciones espaciales situadas al Este de la estación terrena } (\delta \geq 0) \quad (22)$$

$$\alpha_s(i, \delta) = 360^\circ - \alpha'_s(i, \delta) \quad \text{para las estaciones espaciales situadas al Oeste de la estación terrena } (\delta \leq 0) \quad (23)$$

$$\varphi(\alpha, i, \delta) = \arccos [\cos \varepsilon(\alpha) \cos \varepsilon_s(i, \delta) \cos (\alpha - \alpha_s(i, \delta)) + \sin \varepsilon(\alpha) \sin \varepsilon_s(i, \delta)] \quad (24)$$

siendo:

ζ : latitud de la estación terrena (positiva para el Norte y negativa para el Sur)

δ : diferencia entre las longitudes de la estación terrena y la estación espacial

i : latitud del punto subsatelital (positiva para el Norte y negativa para el Sur)

$\psi_s(i, \delta)$: arco del círculo máximo entre la estación terrena y el punto subsatelital

$\alpha_s(i, \delta)$: azimut de la estación espacial vista desde la estación terrena

$\varepsilon_s(i, \delta)$: ángulo de elevación de la estación espacial visto desde la estación terrena

$\varphi(\alpha, i, \delta)$: ángulo entre el haz principal y la dirección del horizonte correspondiente al ángulo pertinente, α , cuando el haz principal está dirigido hacia una estación espacial con un punto subsatelital situado en una latitud i y una diferencia de longitud δ

α : azimut de la dirección pertinente

ε : ángulo de elevación del horizonte en el azimut pertinente, α

$\varphi(\alpha)$: ángulo que ha de utilizarse para el cálculo de la ganancia respecto al horizonte en el azimut pertinente, α

K : relación radio de la órbita/radio de la Tierra, supuesta igual a 6,62.

Todos los arcos mencionados anteriormente se expresan en grados.

Caso 1: Estación espacial única sin inclinación orbital

Para una estación espacial única que funcione sin inclinación orbital en una posición orbital con una diferencia de longitudes δ_0 , pueden aplicarse directamente las ecuaciones (19) a (24), utilizando $i = 0$, para determinar $\varphi(\alpha)$ en cada azimut α . Así:

$$\varphi(\alpha) = \varphi(\alpha, 0, \delta_0) \quad (25)$$

siendo:

δ_0 : diferencia de longitud de la estación terrena a la estación espacial.

Caso 2: Estaciones espaciales situadas en una parte del arco orbital geoestacionario, sin inclinación orbital

Para las estaciones espaciales que funcionen sin inclinación orbital en una parte del arco orbital geoestacionario pueden aplicarse las ecuaciones (19) a (24) siendo $i = 0$ a fin de obtener el valor mínimo del ángulo fuera de eje. Para cada azimut α , el ángulo $\varphi(\alpha)$ es el valor mínimo de $\varphi(\alpha, 0, \delta)$ para cualquier posición situada a lo largo del arco. Así:

$$\varphi(\alpha) = \min_{\delta_w \leq \delta \leq \delta_e} \varphi(\alpha, 0, \delta) \quad (26)$$

en donde:

δ_e : diferencia en longitud en el extremo oriental de la parte operativa del arco orbital

δ_w : diferencia en longitud en el extremo occidental de la parte operativa del arco orbital.

FIGURA 2
Arcos de posición de satélites geostacionarios indicando el horizonte y el arco a partir del horizonte en un acimut de 190°
hacia un satélite situado a 28° W de una estación terrena emplazada en la latitud de 43° N

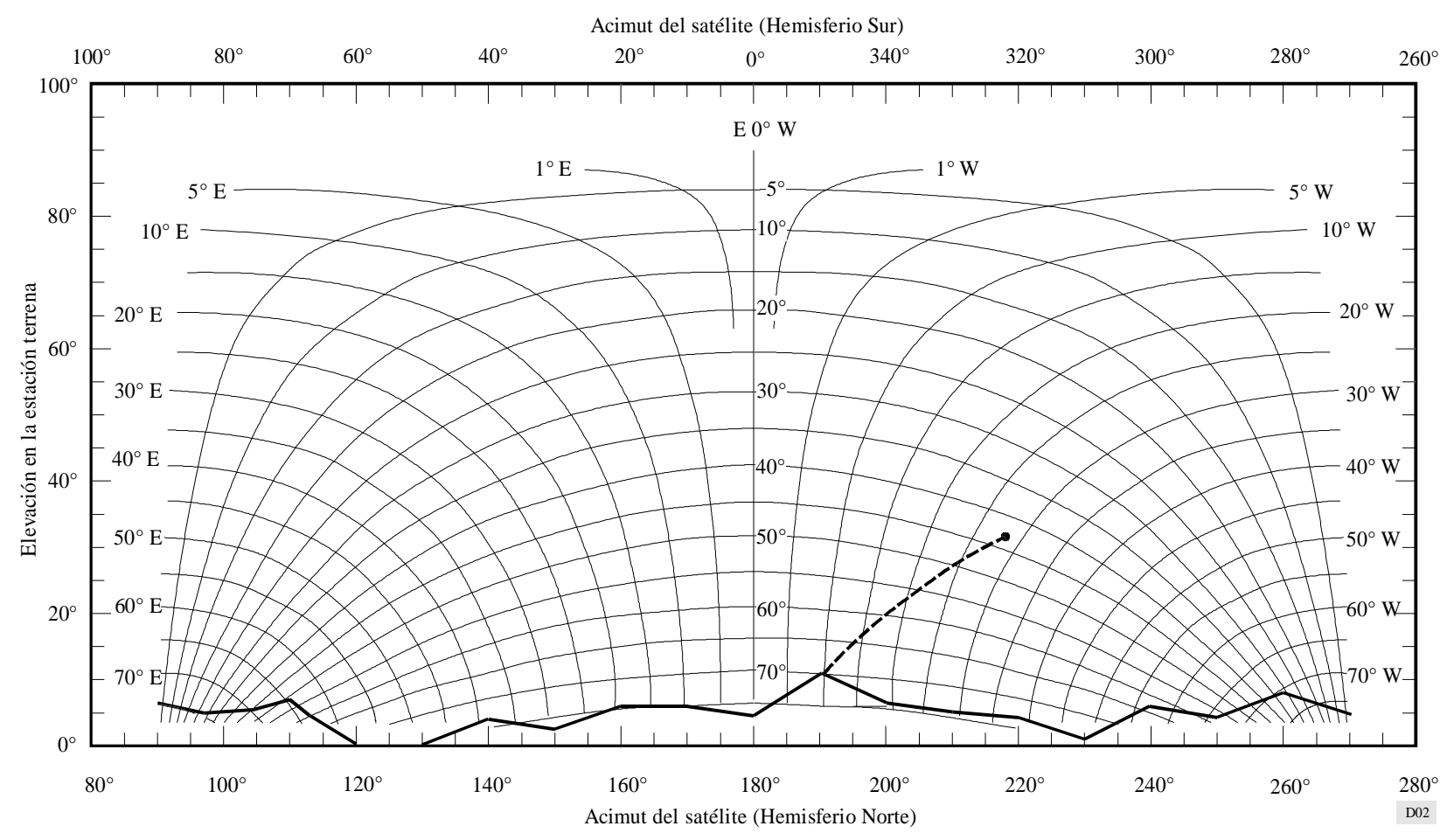
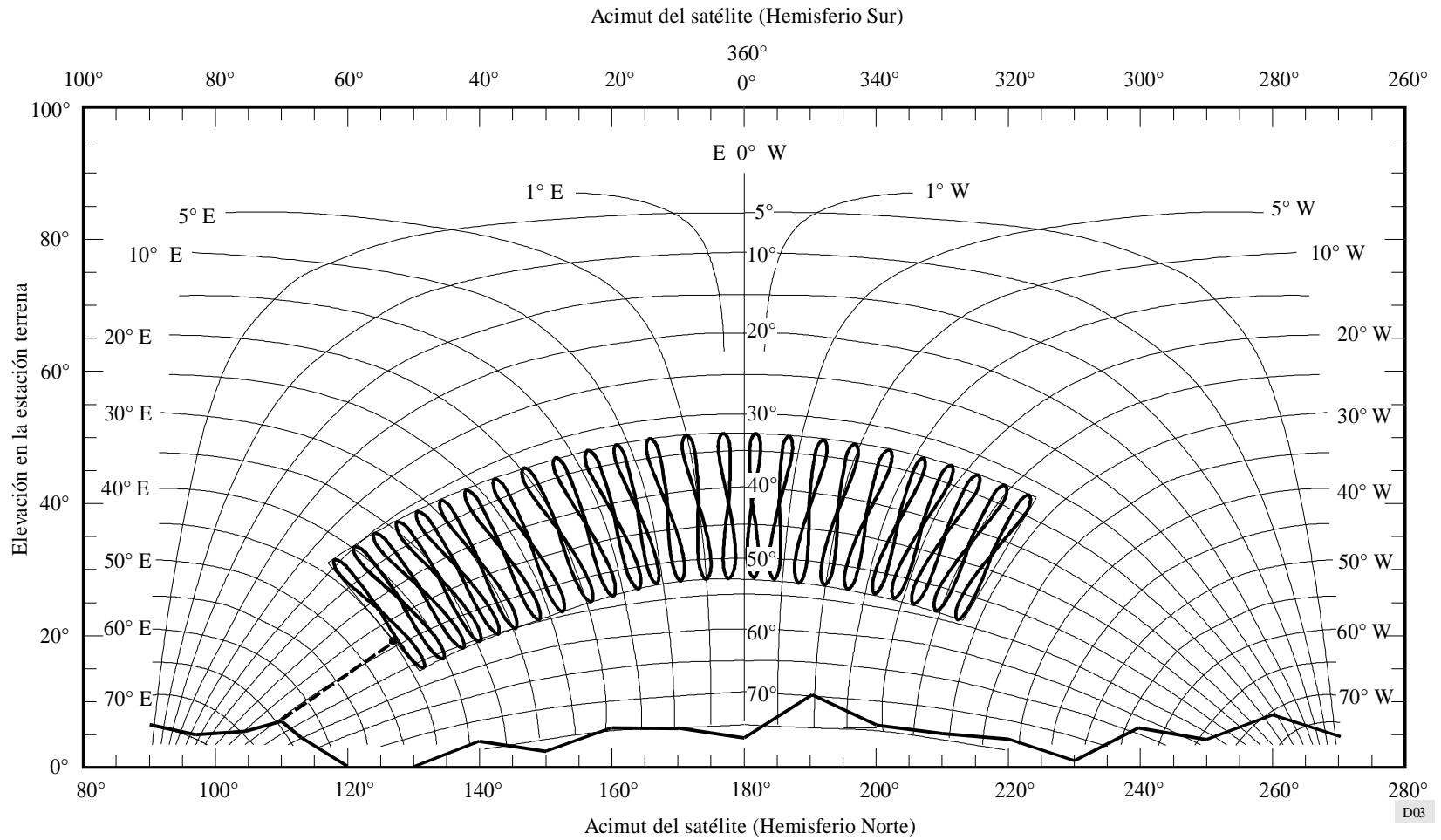


FIGURA 3

Arcos de posición de satélites geostacionarios indicando el horizonte y el arco a partir del horizonte en el acimut de 110° respecto a la envoltura de satélites con una inclinación de 10° en el arco orbital geostacionario comprendido entre 28° W y 44° E de una estación terrena emplazada en una latitud de 43° N



Caso 3: Estaciones espaciales situadas en una parte del arco orbital geoestacionario, sin inclinación orbital

Para las estaciones espaciales que funcionen en órbitas ligeramente inclinadas en una parte del arco geoestacionario con diferencias nominales de longitud comprendidas entre δ_e y δ_w debe considerarse la inclinación orbital máxima en sus duraciones de servicio, i_s . Pueden aplicarse las ecuaciones (19) a (24) para obtener el ángulo fuera de eje mínimo para cada uno de los cuatro arcos del espacio azimut/elevación que limitan la trayectoria de la estación espacial en ángulo y elevación. Los arcos limitantes corresponden a las latitudes máxima y mínima de los puntos subsatelitales y a los extremos de la diferencia en longitud entre las estaciones terrena y espacial cuando la estación espacial funcione en su inclinación máxima. Así:

$$\varphi(\alpha) = \min_{n = 1 \text{ a } 4} \varphi_n(\alpha) \quad (27)$$

con:

$$\varphi_1(\alpha) = \min_{\delta_w - \delta_s \leq \delta \leq \delta_e + \delta_s} \varphi(\alpha, -i_s, \delta) \quad (28)$$

$$\varphi_2(\alpha) = \min_{\delta_w - \delta_s \leq \delta \leq \delta_e + \delta_s} \varphi(\alpha, i_s, \delta) \quad (29)$$

$$\varphi_3(\alpha) = \min_{-i_s \leq i \leq i_s} \varphi(\alpha, i, \delta_w - \delta_s) \quad (30)$$

$$\varphi_4(\alpha) = \min_{-i_s \leq i \leq i_s} \varphi(\alpha, i, \delta_e + \delta_s) \quad (31)$$

$$\delta_s = (i_s / 15)^2 \quad (32)$$

en donde:

i_s : ángulo de inclinación operativa máxima de la órbita de satélite

δ_s : cambio máximo de longitud a partir del valor nominal del punto subsatelital de un satélite con inclinación orbital i_s .

Caso 4: Estación espacial única con órbitas inclinadas

Para una estación espacial única que funcione con una diferencia de longitudes nominal de δ_0 , con una inclinación orbital máxima de i_s en su duración de servicio, la determinación de $\varphi(\alpha)$ es igual que en el caso 3, excepto que aquí $\delta_e = \delta_w = \delta_0$.

Se señala que la determinación de los ángulos fuera de eje mínimos en las ecuaciones (26), (28), (29), (30) y (31) puede realizarse tomando incrementos a lo largo del contorno limitante. El paso de progresión de i o δ debe hallarse comprendido entre $0,5^\circ$ y $1,0^\circ$ y los puntos finales de las gamas respectivas tienen que incluirse en la determinación.

Obsérvese que el perfil del horizonte $\varepsilon(\alpha)$ utilizado en la determinación de $\varphi(\alpha)$ debe especificarse en incrementos del azimut α que no excedan de 5° .

3. Determinación de la ganancia de la antena

Puede utilizarse la relación $\varphi(\alpha)$ para obtener la ganancia de la antena en la dirección del horizonte, $G(\text{dB})$ en función del acimut α , mediante el diagrama de radiación efectivo de la antena de la estación terrena o mediante una fórmula que dé suficiente aproximación. Por ejemplo, en los casos en que la relación entre el diámetro de la antena y la longitud de onda sea superior o igual a 35 conviene emplear la fórmula:

$$G(\varphi) = \begin{cases} G_{m\acute{a}x} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 & \text{para } 0 < \varphi < \varphi_m \\ G_1 & \text{para } \varphi_m \leq \varphi < \varphi_r \\ 29 - 25 \log \varphi & \text{para } \varphi_r \leq \varphi < 36^\circ \\ -10 & \text{para } 36^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \end{cases} \quad (33)$$

siendo:

D : diámetro de la antena }
 λ : longitud de onda } expresados en la misma unidad

G_1 : ganancia del primer lóbulo lateral

$$G_1 = \begin{cases} -1 + 15 \log (D/\lambda) & \text{dBi} & \text{para } D/\lambda \geq 100 \\ -21 + 25 \log (D/\lambda) & \text{dBi} & \text{para } D/\lambda < 100 \end{cases}$$

$$\varphi_m = \frac{20 \lambda}{D} \sqrt{G_{m\acute{a}x} - G_1} \quad \text{grados}$$

$$\varphi_r = \begin{cases} 15,85 (D/\lambda)^{-0,6} & \text{grados} & \text{para } D/\lambda \geq 100 \\ 100 (\lambda/D) & \text{grados} & \text{para } D/\lambda < 100 \end{cases}$$

Los diagramas descritos anteriormente podrán ser modificados en la forma conveniente para obtener una mejor representación del diagrama real de la antena.

Si no se conoce D/λ , puede estimarse a partir de la expresión:

$$20 \log \frac{D}{\lambda} \approx G_{m\acute{a}x} - 7,7$$

donde:

$G_{m\acute{a}x}$: ganancia del lóbulo principal de la antena (dB).

Se señala que las ecuaciones anteriores pueden diferir de las que figuran en la Recomendación UIT-R S.465.

APÉNDICE 2

AL ANEXO 1

Cálculo de los contornos para el Modo de propagación (2)

El valor de d_r , la distancia entre la región de máxima dispersión y el emplazamiento de una estación terrenal, en el contorno de coordinación para este modo de propagación, puede obtenerse mediante un cálculo iterativo en el que se utiliza el algoritmo indicado en el presente apéndice.

La ecuación básica para la pérdida de transmisión debida a dispersión por hidrometeoros es:

$$L_2 = 168 + 20 \log d_r - 20 \log f - 13,2 \log R - G_T + 10 \log A_b - 10 \log C + \Gamma + H + \beta_o d_o + \beta_v d_v \quad \text{dB} \quad (34)$$

Determinense los valores apropiados para los siguientes parámetros:

- R : intensidad de la lluvia en superficie (mm/h) para el porcentaje de tiempo, p , dado en el apéndice 3 para varias zonas hidro-climáticas
- k y α , para la frecuencia apropiada, tomados del cuadro 6 (para los valores de k comprendidos entre las frecuencias indicadas, utilícese la interpolación logarítmica y para los valores de α la interpolación lineal).

Supóngase:

$$G_T = 42 + \Delta G \text{ dBi (ganancia de antena supuesta para la estación terrena)}$$

y calcúlese:

$$\gamma_R = k R^\alpha \quad \text{dB} \quad (35)$$

$$d_s = 3,5 R^{-0,08} \quad \text{km} \quad (36)$$

$$C = \begin{cases} \frac{2,17}{\gamma_R d_s} (1 - 10^{-\gamma_R d_s/5}) & \text{dB para } f > 4 \text{ GHz} \\ 1 & \text{dB para } f \leq 4 \text{ GHz} \end{cases} \quad (37)$$

$$\Gamma = \frac{631 \gamma_R}{\sqrt{R}} 10^{-(R+1)^{0,19}} \quad \text{dB} \quad (38)$$

$$h_{FR} = \begin{cases} \left. \begin{array}{l} 5 - 0,075 (\zeta - 23) \quad \text{km para } \zeta > 23^\circ \\ 5 \quad \text{km para } 0^\circ \leq \zeta \leq 23^\circ \end{array} \right\} \text{ Hemisferio Norte} & (39a) \\ \left. \begin{array}{l} 5 \quad \text{km para } 0^\circ \geq \zeta \geq -21^\circ \\ 5 + 0,1 (\zeta + 21) \quad \text{km para } -71^\circ < \zeta \leq -21^\circ \\ 0 \quad \text{km para } \zeta \leq -71^\circ \end{array} \right\} \text{ Hemisferio Sur} & (39b) \\ & (39c) \\ & (39d) \\ & (39e) \end{cases}$$

en donde h_{FR} está en km y ζ es la latitud en grados.

Supóngase:

$$x = 168 - 20 \log f - 13,2 \log R - G_T - 10 \log C + \Gamma - L_2 \quad (40)$$

en donde:

L_2 : pérdida de transmisión disponible (véase el § 4 del anexo 1).

La ecuación para la atenuación específica gaseosa, β_o (para el oxígeno) y β_v (para el vapor de agua) corresponde a las ecuaciones (13) y (14). La atenuación específica producida por el vapor de agua β_v ha de calcularse para una densidad del vapor de agua supuesta de $\rho = 7,5 \text{ g/m}^3$.

La máxima distancia de dispersión por hidrometeoros, d_{m2} , está dada por la ecuación:

$$d_{m2} = \sqrt{17\,000 (h_{FR} + 3)} \quad \text{km} \quad (41)$$

Después se utilizarán las siguientes fórmulas para dar la base del procedimiento operativo:

$$h_{cv} = \frac{(d_r - 40)^2}{17\,000} \quad \text{km} \quad (42)$$

$$H = \begin{cases} 6,5(h_{cv} - h_{FR}) & \text{dB para } h_{cv} > h_{FR} \\ 0 & \text{dB para } h_{cv} \leq h_{FR} \end{cases} \quad (43)$$

$$10 \log A_b = \begin{cases} 0,005 (f - 10)^{1,7} R^{0,4} & \text{dB para } \left\{ \begin{array}{l} 10 \text{ GHz} < f \leq 60 \text{ GHz} \\ \text{y } h_{cv} < h_{FR} \end{array} \right\} \\ 0 & \text{dB para } \left\{ \begin{array}{l} f \leq 10 \text{ GHz} \\ \text{ó } h_{cv} \geq h_{FR} \end{array} \right\} \end{cases} \quad (44)$$

$$d_o = \begin{cases} 0,7 d_r + 32 & \text{km para } d_r < 340 \text{ km} \\ 270 & \text{km para } d_r \geq 340 \text{ km} \end{cases} \quad (45)$$

$$d_v = \begin{cases} 0,7 d_r + 32 & \text{km para } d_r < 240 \text{ km} \\ 200 & \text{km para } d_r \geq 240 \text{ km} \end{cases} \quad (46)$$

$$Y = x + 20 \log d_r + 10 \log A_b + H + \beta_o d_o + \beta_v d_v \quad \text{dB} \quad (47)$$

El valor requerido de d_r es el que da $Y = 0$.

CUADRO 6
Valores de k y α en función de la frecuencia

Frecuencia (GHz)	k	α
1	0,000 0352	0,880
2	0,000 138	0,923
4	0,000 591	1,075
6	0,001 55	1,265
7	0,002 65	1,312
8	0,003 95	1,31
10	0,008 87	1,264
12	0,016 8	1,20
14	0,029	1,15
18	0,055	1,09
20	0,069 1	1,065
22,4	0,090	1,05
25	0,113	1,03
28	0,150	1,01
30	0,167	1,00
35	0,233	0,963
40	0,310	0,929
45	0,393	0,897
50	0,479	0,868
60	0,642	0,824

Nota 1 – Y es una función de crecimiento monótonico de d_r . Por ello es posible utilizar un método simple de iteración, por ejemplo, la bisección.

En resumen, el valor de d_r puede hallarse del siguiente modo:

Calcúlese Y para $d_r = 100$ km, $Y(100$ km)

Si $Y(100$ km) ≤ 0 , entonces utilícese $d_r = 100$ km para la coordinación.

O además, calcúlese Y para $d_r = d_{m2}$, $Y(d_{m2})$

Si $Y(d_{m2}) \geq 0$, entonces utilícese $d_r = d_{m2}$ para la coordinación.

Si no puede usarse para la coordinación ninguno de esos dos valores de d_r entonces obténgase el valor apropiado de d_r utilizando las ecuaciones (42) a (47) en un proceso iterativo. Los valores limitantes iniciales son $d_r = 100$ km y $d_r = d_{m2}$.

El contorno de coordinación para la dispersión por la lluvia se determina como un círculo que tiene como radio la menor de las dos distancias d_r y d_{m2} , denominada $\text{Mín}[d_r, d_{m2}]$, centrado en un punto que está separado de la estación terrena por una distancia Δd (km) a lo largo del acimut del haz principal dirigido al satélite, distancia que ha de obtenerse de:

$$\Delta d = \frac{\left(\text{Mín} [d_r, d_{m2}] - 40 \right)^2 \cotg \epsilon_s}{17\ 000} \quad \text{km}^* \quad (48)$$

en la que ϵ_s es el ángulo de elevación respecto al satélite (grados).

La distancia desde la estación terrena hasta ese círculo o 100 km, medidos también desde la estación terrena, eligiendo el mayor valor de ambos, es la distancia de coordinación en caso de dispersión por la lluvia d_2 .

Para una estación terrena que funcione con un satélite geoestacionario en órbita ligeramente inclinada, el contorno de coordinación para la dispersión por la lluvia para cada una de las dos posiciones orbitales de satélite más inclinadas debe determinarse por separado, utilizando los ángulos de elevación pertinentes y sus acimutes asociados hacia el satélite. La zona de dispersión por la lluvia es entonces la zona total contenida dentro de los dos contornos de coordinación resultantes que se superponen.

* En los casos excepcionales en que los ángulos de elevación de funcionamiento apuntado a un satélite sean inferiores a 3°, Δd debe determinarse a partir de la siguiente expresión::

$$\Delta d = \text{Mín} [d_r - 40, (d_r - 40)^2 \cotg \epsilon_s / 17\ 000].$$

Para una estación terrena destinada a funcionar con satélites en distintos emplazamientos orbitales, los contornos de coordinación en caso de dispersión por la lluvia para el emplazamiento orbital más oriental y más occidental deben determinarse por separado. La zona de dispersión por la lluvia es entonces la zona total contenida dentro de los dos contornos de coordinación resultantes que se superponen en parte.

APÉNDICE 3

AL ANEXO 1

Clasificación de las zonas hidrometeorológicas

Como se muestra en las figs. 4, 5 y 6, el mundo se ha dividido en cierto número de zonas hidrometeorológicas que presentan diferentes características de las precipitaciones. Las curvas presentadas en la fig. 7 representan distribuciones consolidadas de intensidad de la lluvia, aplicable cada una a varias de las zonas hidrometeorológicas de las figs. 4 a 6. La distribución de la fig. 7 debe ampliarse más allá del 0,3% hasta porcentajes del tiempo p_c tan grandes que la intensidad de la lluvia se supone próxima a cero, utilizando la expresión:

$$R(p) = R(0,3\%) \left[\frac{\log(p_c/p)}{\log(p_c/0,3)} \right]^2 \quad \text{mm/h} \quad (49)$$

en la que $R(0,3\%)$ y p_c , toman los siguientes valores:

Zona hidrometeorológica	$R(0,3\%)$ (mm/h)	p_c (%)
A, B	1,5	2
C, D, E	3,5	3
F, G, H, J, K	7,0	5
L, M	9,0	7,5
N, P, Q	25,0	10

Este método es apropiado para la evaluación numérica de la distancia de dispersión por la lluvia.

Las distribuciones de las zonas hidrometeorológicas de la fig. 7 pueden aproximarse numéricamente mediante las expresiones siguientes:

Zonas hidrometeorológicas A, B

$$R = 1,1 p^{-0,465} + 0,25 \left[\log(p/0,001) \log^3(0,3/p) \right] - \left[\left| \log(p/0,1) \right| + 1,1 \right]^{-2} \quad \text{mm/h} \quad (50)$$

Zonas hidrometeorológicas C, D, E

$$R = 2 p^{-0,466} + 0,5 \left[\log(p/0,001) \log^3(0,3/p) \right] \quad \text{mm/h} \quad (51)$$

Zonas hidrometeorológicas F, G, H, J, K

$$R = 4,17 p^{-0,418} + 1,6 \left[\log(p/0,001) \log^3(0,3/p) \right] \quad \text{mm/h} \quad (52)$$

Zonas hidrometeorológicas L, M

$$R = 4,9 p^{-0,48} + 6,5 \left[\log(p/0,001) \log^2(0,3/p) \right] \quad \text{mm/h} \quad (53)$$

Zonas hidrometeorológicas N, P, Q

$$R = 15,6 \left(p^{-0,383} + \left[\log(p/0,001) \log^{1,5}(0,3/p) \right] \right) \quad \text{mm/h} \quad (54)$$

en el margen $0,001 \leq p \leq 0,3\%$.

FIGURA 4
Zonas hidrometeorológicas (véase el cuadro 7)

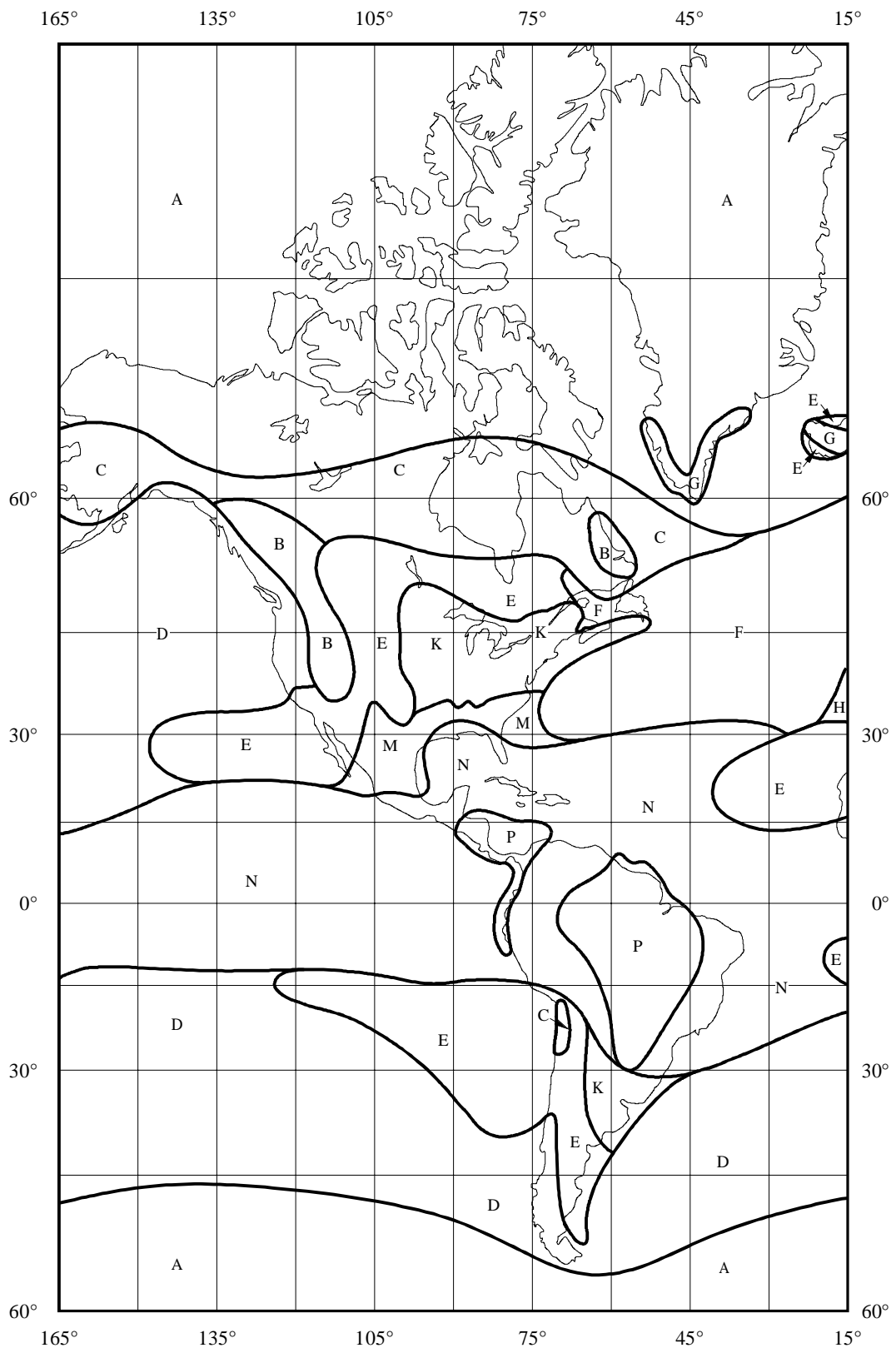


FIGURA 5
Zonas hidrometeorológicas (véase el cuadro 7)

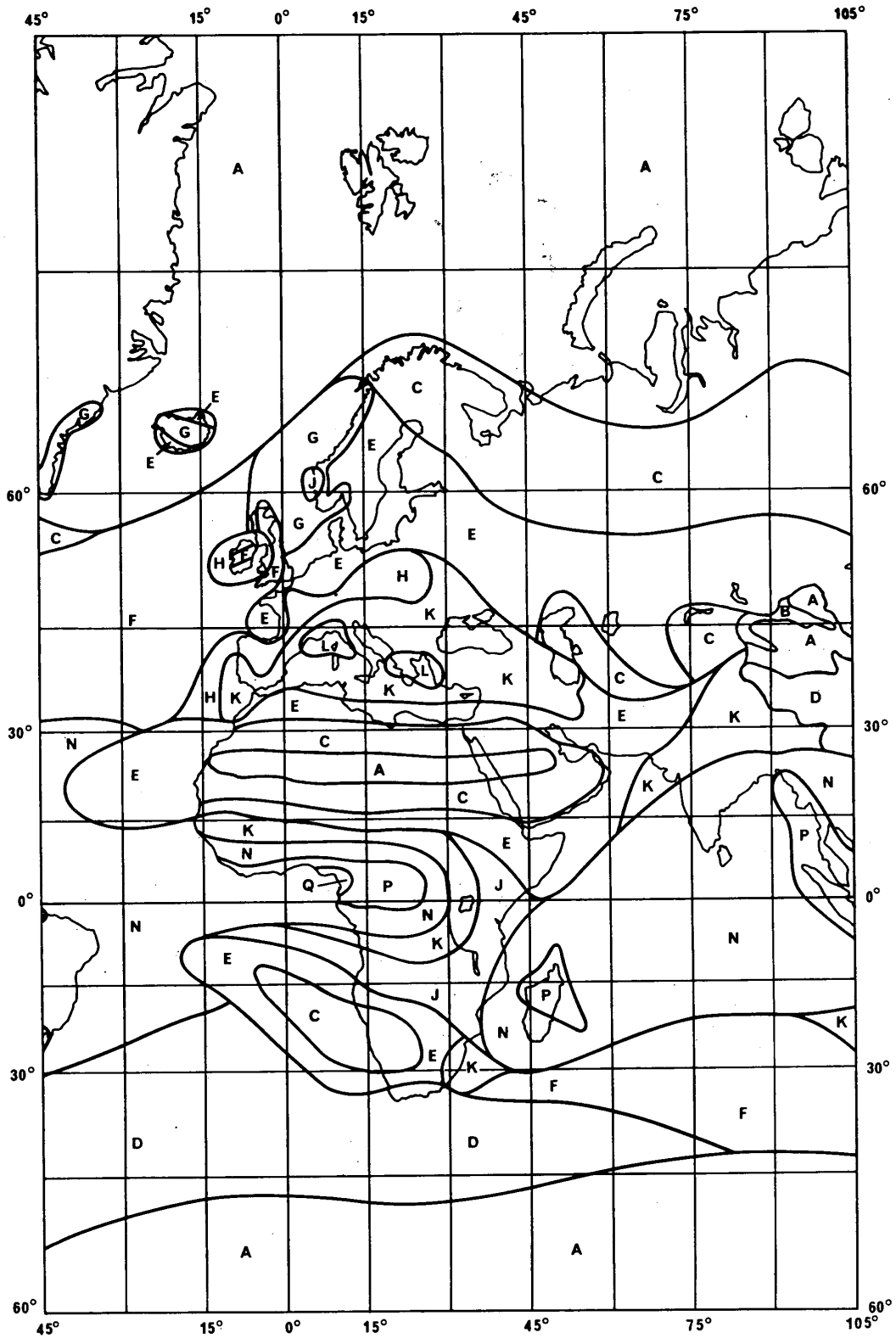
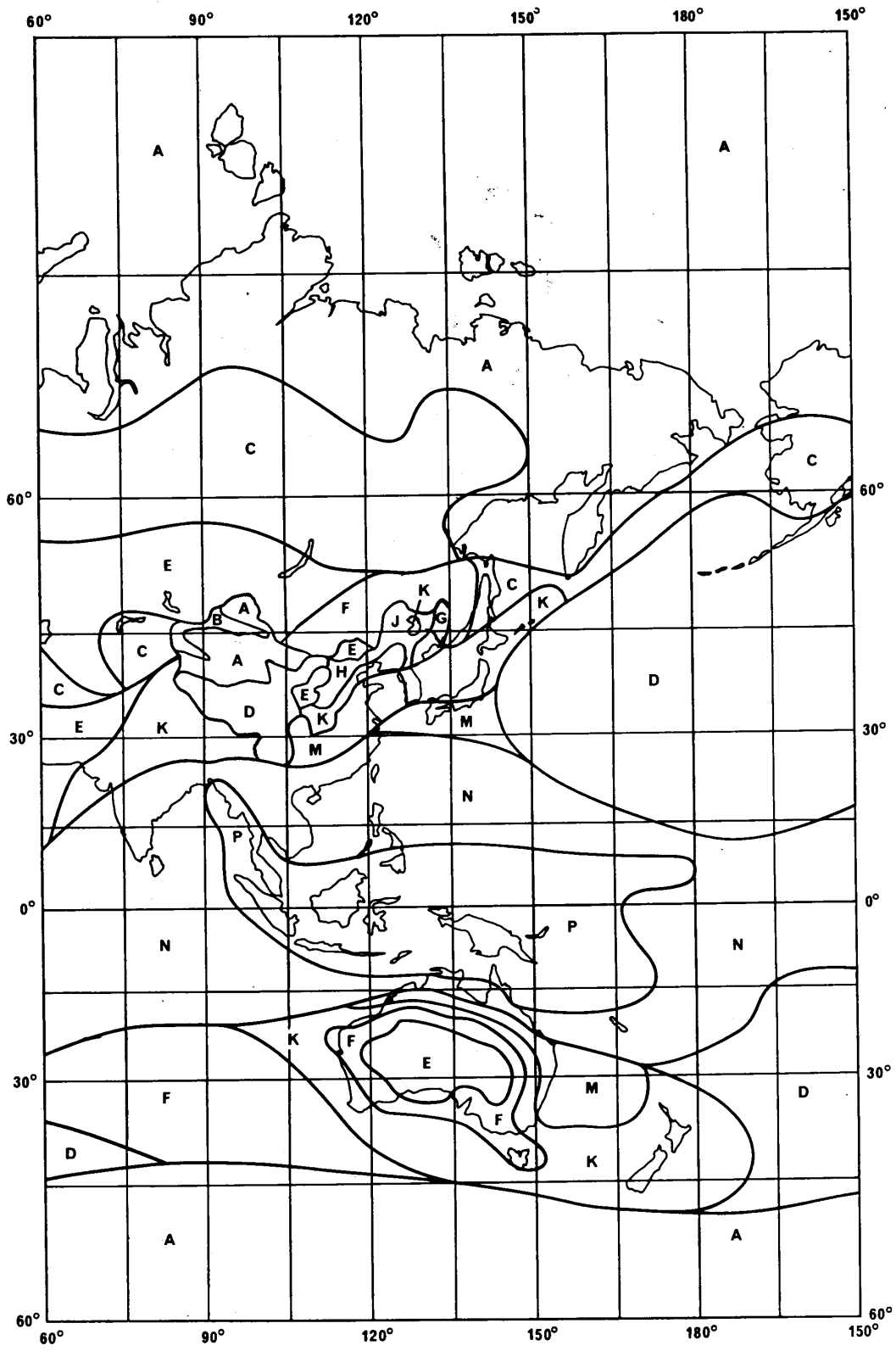


FIGURA 6
Zonas hidrometeorológicas (véase el cuadro 7)



CUADRO 7

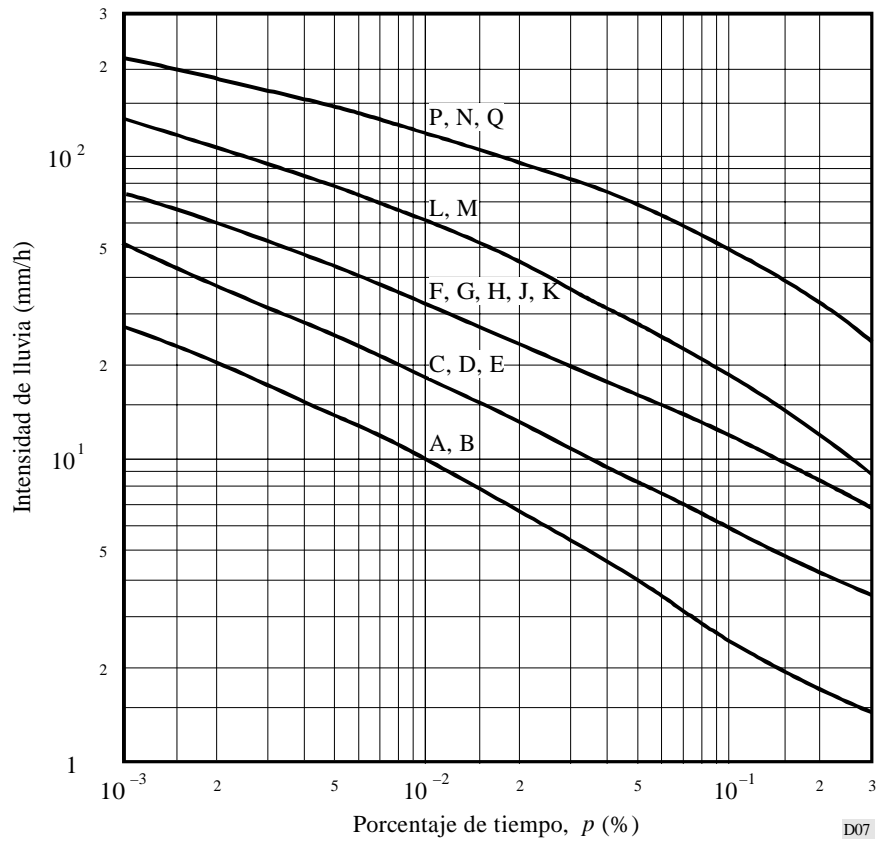
Zonas hidrometeorológicas

Intensidad de la lluvia excedida (mm/h) (referencia a las figs. 4 a 6)

Porcentaje de tiempo (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
1,0	< 0,1	0,5	0,7	2,1	0,6	1,7	3	2	8	1,5	2	4	5	12	24
0,3	0,5	2,0	2,8	4,5	2,4	4,5	7	4	13	4,2	7	11	15	34	49
0,1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	13	15	22	35	65	72
0,03	5	6	9	13	12	15	20	18	23	23	33	40	65	105	96
0,01	8	12	15	19	23	28	30	32	35	42	60	63	95	145	115
0,003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200	142
0,001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250	170

FIGURA 7

Distribuciones acumulativas consolidadas de la intensidad de lluvia para las zonas hidrometeorológicas de las figs. 4 a 6



D07