

## RECOMENDACIÓN UIT-R P.620-3

**DATOS DE PROPAGACIÓN NECESARIOS PARA EVALUAR LAS DISTANCIAS DE COORDINACIÓN EN LA BANDA DE FRECUENCIAS 0,85-60 GHz**

(Cuestión UIT-R 208/3)

(1986-1992-1995-1997)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) los términos de la Resolución N.º 60 de la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones (Ginebra, 1979) (CAMR-79);
- b) que la zona de coordinación es la zona alrededor de una estación terrena, definida de manera que cualquier interferencia entre esa estación y las estaciones terrenales situadas fuera de esa zona pueda considerarse despreciable;
- c) que la determinación de la zona de coordinación debe basarse en los mejores datos de propagación disponibles y tomarse con suficientes reservas,

*recomienda*

**1** que, para determinar la zona de coordinación en el caso de las frecuencias superiores a 1 GHz, las administraciones empleen los métodos de cálculo expuestos en el Anexo 1 en relación con la propagación.

## ANEXO 1

**1 Introducción**

Este Anexo proporciona datos de propagación para su utilización en el cálculo de una zona de coordinación, y ofrece un método directo para la evaluación de los factores de propagación que intervienen en la determinación de las distancias de coordinación.

La zona de coordinación representa la zona fuera de la cual se puede considerar despreciable la interferencia entre la estación terrena y las estaciones terrenales que funcionan en el marco de las hipótesis prudenciales indicadas en los Cuadros 1 y 2 de la Recomendación UIT-R IS.847. Por lo tanto, la determinación de la distancia de coordinación exige que se compare la pérdida de transmisión requerida, basada en las consideraciones relativas al sistema y al modelo de interferencia, con la pérdida de transmisión producida por el medio de propagación. La distancia de coordinación requerida es aquella en que estas dos pérdidas llegan a ser iguales.

Es importante señalar que la zona de coordinación no representa una zona en la que se excluye la compartición de frecuencias entre la estación terrena y la estación terrenal. Esta compartición es a menudo posible y la zona de coordinación sirve para facilitar esta configuración indicando dónde se necesita evaluar el potencial de interferencia entre la estación terrena y cualesquiera estaciones terrenales, utilizando la Recomendación UIT-R P.452.

Además de proporcionar el método de cálculo para el contorno de coordinación primario, esta Recomendación proporciona en el § 5 información que permite preparar contornos auxiliares para ayudar a eliminar rápidamente la mayoría de los casos de posible interferencia en los subsiguientes análisis de coordinación para las estaciones terrenales que se encuentran dentro del contorno primario.

## 2 Consideraciones generales

La determinación de las características de propagación necesarias para la evaluación de la distancia de coordinación para una estación terrena, se basa en las hipótesis siguientes:

- no se conocen los emplazamientos de las estaciones terrenales con las que ha de efectuarse la coordinación;
- en cuanto a la geometría del trayecto de interferencia, sólo se dispone de información correspondiente a la estación terrena;
- para la geometría del resto del trayecto de interferencia, deben establecerse hipótesis limitativas prudentes, como las que se indican en el texto siguiente.

En este Anexo los fenómenos de propagación se clasifican en los dos modos siguientes:

- *modo (1)*: Fenómenos de propagación con cielo despejado y afectados por la presencia de la superficie de la Tierra (difracción, refracción, propagación por conductos). Estos fenómenos se limitan a la propagación a lo largo del trayecto del círculo máximo (trayecto ortodrómico);
- *modo (2)*: Dispersión producida por hidrometeoros no limitada al trayecto de círculo máximo, sino, como se considera en este Anexo, limitada a las estaciones terrenales que funcionan con satélites geostacionarios.

Para cada acimut a partir de una estación terrena y para cada uno de los dos modos de propagación, es necesario determinar una distancia correspondiente a las pérdidas de transmisión requeridas; la distancia de coordinación será la mayor de las dos distancias halladas. En la Recomendación UIT-R IS.847 se da información completa acerca de las pérdidas de transmisión requeridas.

La distancia de coordinación en cualquier dirección que se considere, viene determinada por los factores señalados anteriormente, y basándonos sólo en factores de propagación, podrá abarcar desde distancias relativamente cercanas a la estación terrena hasta distancias de muchos centenares de kilómetros. Sin embargo, por razones prácticas es necesario que para ambos modos de propagación se establezcan los límites inferiores de dichas distancias, dentro de las cuales se buscarán posibles situaciones de interferencia. Estas distancias se definen como las distancias de coordinación mínimas modo (1) y modo (2).

En el caso del modo (1), el requisito de un límite inferior preventivo se debe al riesgo de errores importantes al determinar las pérdidas de transmisión básicas (especialmente a causa del mecanismo de propagación por difracción) en distancias relativamente cortas cuando no se conoce la geometría real del trayecto. Por lo tanto, la distancia de coordinación deberá mantenerse siempre suficientemente grande para garantizar que los campos de difracción sean despreciables, en todas las condiciones de trayectos reales.

Para el modo (2), se plantea esta necesidad porque las hipótesis inherentes al modelado de la propagación por dispersión producida por hidrometeoros no es fiable en distancias muy cortas. Si las distancias de coordinación se mantienen en el mínimo prefijado o por encima de éste, no se utilizará el modelo en la región en la cual podría ser engañoso.

En los puntos pertinentes que siguen se proporcionan los valores para las distancias de coordinación mínimas adecuadas para cada modo. Claro está que el contorno de coordinación total trazado por las distancias de coordinación determinadas radialmente alrededor de la estación terrena, puede ser en todos sus puntos mayor que las «distancias mínimas» si lo determinan así los cálculos de propagación.

## 3 Determinación de la distancia de coordinación para el modo de propagación (1) – Mecanismos de propagación a lo largo del círculo máximo (trayecto ortodrómico)

### 3.1 Información radioclimática

Para el cálculo de la distancia de coordinación con el modo de propagación (1), se ha clasificado el mundo según un parámetro radiometeorológico,  $\beta_p$ , que refleja la incidencia relativa de las condiciones anómalas de propagación con cielo despejado. El valor de  $\beta_p$  depende de la latitud. El valor correcto de  $\beta_p$  es el valor de latitud,  $\varphi_r$ , que esté 1,8° más cerca del Ecuador que la estación terrestre, o que esté en el Ecuador, tomándose el más cercano de los dos a la estación terrestre.

La incidencia relativa del punto de propagación anómala,  $\beta_p\%$ , se determina entonces mediante la expresión siguiente:

$$\beta_p = \begin{cases} 10^{-0,015|\varphi_r| + 1,67} \% & \text{para } |\varphi_r| \leq 70^\circ \\ 4,17 \% & \text{para } |\varphi_r| > 70^\circ \end{cases} \quad (1)$$

### 3.2 Distancias de coordinación basadas en porcentajes de tiempo para el mes más desfavorable

Los cálculos de propagación que se exponen en el § 3.3 se basan en el porcentaje de tiempo medio anual requerido,  $p$ . En los casos en que sea necesario basar las necesidades de coordinación en un porcentaje de tiempo para el mes más desfavorable,  $p_w$ , el porcentaje de tiempo anual equivalente,  $p$ , que requiera el método empleado, podrá determinarse de la siguiente forma:

$$p = \frac{p_w}{Q} \quad \% \quad (2)$$

donde:

$p_w$ : porcentaje requerido de tiempo para el mes más desfavorable:

$$Q = \frac{0,85 \times 10^{-0,184 \log(p) + 0,515}}{G_L} \quad (2a)$$

El valor de  $Q$  debe limitarse a  $Q \leq 12$ .

$$G_L = \begin{cases} \sqrt{1,1 + |\cos 2\phi_r|^{0,7}} & \text{para } |\phi_r| \leq 45^\circ \\ \sqrt{1,1 - |\cos 2\phi_r|^{0,7}} & \text{para } |\phi_r| > 45^\circ \end{cases} \quad (2b)$$

### 3.3 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 disponible de pérdidas de transmisión básicas que es igual al valor mínimo admisible de pérdidas de transmisión básicas,  $L_b(p)$ . En este caso  $p$  es el porcentaje de tiempo requerido, limitado a la gama  $0,001\% \leq p \leq 1\%$ .

Sea:

$$L_1(p) = L_b(p) - A_1 \quad \text{dB} \quad (3)$$

en la cual:

$$A_1 = 122,43 + 16,5 \log f + A_h + A_c \quad \text{dB} \quad (4)$$

donde:

$f$ : frecuencia (GHz)

$A_h$ : corrección para el ángulo  $\theta^\circ$  de elevación del horizonte de la estación terrena (véase la Nota 1) dado por la expresión:

$$A_h = \begin{cases} 20 \log \left[ 1 + 4,5 \theta f^{1/2} \right] + \theta f^{1/3} & \text{dB} & \text{para } \theta \geq 0^\circ \\ 3 \left( \sqrt{f} - 1 \right) \theta & \text{dB} & \text{para } 0^\circ > \theta \geq -0,5^\circ \\ -1,5 \left( \sqrt{f} - 1 \right) & \text{dB} & \text{para } \theta < -0,5^\circ \end{cases} \quad (5)$$

NOTA 1 – Por ángulo del horizonte se entiende el ángulo visto desde el centro de la antena de la estación terrena, y formado por el plano horizontal y un rayo rasante al horizonte físico visible en la dirección considerada. El valor de  $\theta$  es positivo para el horizonte físico por encima de la horizontal. Es necesario determinar ángulos del horizonte para todos los acimutes en torno a una estación terrena. En la práctica, bastará generalmente hacerlo en incrementos de acimutes de  $5^\circ$ . Sin embargo, debe hacerse todo lo posible por identificar y tener en cuenta los ángulos de elevación mínimos del horizonte que pueden producirse entre esos acimutes examinados en incrementos de  $5^\circ$ .

NOTA 2 – El valor máximo de  $A_h$  es 30 dB; es posible que la utilización de valores más grandes no dé como resultado la protección en situaciones reales.

$A_c$ : corrección (dB) para acoplamiento directo en conductos por encima del mar.

$$A_c = -6 / (1 + d_c) \quad \text{dB} \quad (6)$$

donde  $d_c$  es la distancia de la estación terrena a la costa en la dirección considerada.

Una vez determinado  $L_1$ , se debe determinar la distancia requerida basándose en un cálculo iterativo. Comenzando en la distancia de coordinación mínima,  $d_{mín}$  (km), se incrementa la distancia desde la estación terrena hasta que se logran las pérdidas de transmisión básicas (véase la Nota 3) requeridas. El incremento de distancia preferido,  $s$  (km), es 1 km. Sin embargo, para acelerar los cálculos preliminares, se pueden utilizar valores de  $s$  de hasta 5 km sin que la pérdida de precisión sea apreciable.

$$d_{mín} = 100 + \frac{\beta_p - f}{2} \quad \text{km} \quad (7)$$

NOTA 3 – Para la realización de cálculos, los métodos numéricos modernos pueden ofrecer técnicas más rápidas que este simple incremento de distancias para hallar  $d_1$ . En el caso en que la velocidad de cálculo sea importante, se deben tomar en consideración estas técnicas.

Para las iteraciones  $i = 0, 1, \dots, n$ , calcúlense las ecuaciones (9) a (19) hasta que en  $i = n$  se cumpla  $L_2(p) \geq L_1(p)$  o se obtenga la distancia de coordinación máxima,  $d_{máx}$  (km), dada por la ecuación (19) para el acimut que se considera.

La distancia de coordinación requerida,  $d_1$ , viene dada entonces por:

$$d_1 = \begin{cases} d_{mín} + n \cdot s & \text{km} & \text{para } d_n < d_{máx} \\ d_{máx} & \text{km} & \text{para } d_n \geq d_{máx} \end{cases} \quad (8)$$

La pérdida  $L_2$  se evalúa a partir de:

$$L_2(p) = (\gamma_d + \gamma_g) d_i + \left(1,2 + 3,7 \times 10^{-3} d_i\right) \log(p/\beta) + 12(p/\beta)^\Gamma \quad \text{dB} \quad (9)$$

donde:

$d_i$ : distancia actual (km) desde la estación terrena:

$$d_i = d_{mín} + i \cdot s \quad \text{km} \quad (10)$$

$\gamma_g$ : atenuación específica (dB/km) debida a la absorción de gases:

$$\gamma_g = \gamma_o + \gamma_w \cdot \frac{1}{3} \left(4 - \frac{d_t}{d_i}\right) \quad \text{dB/km} \quad (11)$$

$\gamma_o$  y  $\gamma_w$  se pueden obtener con las ecuaciones de la Recomendación UIT-R P.676, utilizando un valor de 7,5 g/m<sup>3</sup> para la concentración de vapor de agua,  $\rho$ .

$$\gamma_d = 0,05 f^{1/3} \quad \text{dB/km} \quad (12)$$

$d_t$ : distancia terrestre agregada actual (km); (Zona A1 + Zona A2) dentro de la distancia  $d_i$ :

$$\Gamma = \left[ \frac{-1,079 + \log\left(142 - (1,2 + 3,7 \times 10^{-3} d_i) (2 - \log \beta)\right)}{2 - \log \beta} \right] \quad (13)$$

$$\beta = \beta_p \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_4 \quad \% \quad (14)$$

donde  $\beta_p$  viene dado por la ecuación (1).

El parámetro  $\mu_1$  depende del grado en que el trayecto está sobre tierra (tierra adentro y/o costa) y agua y viene dado por:

$$\mu_1 = \left[ 10^{\frac{-d_{lm}}{16 - 6,6\tau}} + \left[ 10^{-(0,496 + 0,354\tau)} \right]^5 \right]^{0,2} \quad (15)$$

con:

$$\tau = \left[ 1 - e^{-\left(4,12 \times 10^{-4} d_{lm}^{2,41}\right)} \right] \quad (16)$$

donde el valor de  $\mu_1$  deberá limitarse a  $\mu_1 \leq 1$ ;

donde:

$d_{lm}$ : distancia sobre tierra continua más larga (km) (Zona A2) dentro de la distancia  $d_i$

$d_{tm}$ : distancia sobre tierra (tierra adentro más costa) (km) (Zona A1 + Zona A2) dentro de la distancia  $d_i$ .

En el Cuadro 1 se definen las zonas radioclimáticas que se deberán utilizar para obtener  $d_{tm}$  y  $d_{lm}$ .

donde:

$$\mu_2 = \left[ 2,48 \times 10^{-4} d_i^2 \right]^\alpha \quad (17)$$

$$\alpha = -0,6 - \varepsilon \times 10^{-9} d_i^{3,1} \cdot \tau \quad (17a)$$

donde  $\varepsilon$  es un margen de tolerancia para tener en cuenta pérdidas adicionales dependientes de la distancia y de otro tipo, incluidas las relacionadas con la altura del terreno:

$\varepsilon = 3,5$  representa la hipótesis de tierra lisa más desfavorable;

$\varepsilon = 8,5$  para contornos prudenciales de coordinación tierra adentro, compatibles con los datos de propagación medidos, pero con una pequeña tolerancia para el supuesto de una altura mínima de despejamiento sobre el terreno (definida por el parámetro  $h_m$  de la Recomendación UIT-R P.452), por ejemplo:  $h_m = 70$  m a 300 km, 180 m a 400 km y 415 m a 500 km;

$\varepsilon = 200$  para distancias de coordinación de zonas de tierra adentro reducidas que son muy similares a las del Apéndice 28 (S7) (1979) del Reglamento de Radiocomunicaciones.

La escala de las distancias de coordinación tierra adentro varía aproximadamente en proporción al logaritmo de  $\varepsilon$ .

NOTA 4 –  $\varepsilon$  no influye en las distancias de coordinación de las zonas costeras o marinas.

$$\mu_4 = \begin{cases} 10^{(-0,935 + 0,0176|\varphi_r|)\log \mu_1} & \text{para } |\varphi_r| \leq 70^\circ \\ 10^{0,3\log \mu_1} & \text{para } |\varphi_r| > 70^\circ \end{cases} \quad (18)$$

La distancia máxima de coordinación para el modo de propagación (1) viene dada por:

$$d_{m\acute{a}x} = 230 + 970 \cdot \mu_1 \cdot \mu_4 \quad \text{km} \quad (19)$$

$d_{m\acute{a}x}$  debe volverse a calcular, utilizando los valores actuales de  $\mu_1$  y  $\mu_4$  para cada valor de  $d_i$ .

CUADRO 1

**Zonas radioclimáticas**

Tipo de zona	Código	Definición
Zona costera	A1	Zonas terrestres costeras y litoral, es decir, la tierra adyacente al mar hasta una altitud de 100 m con respecto al nivel medio del mar o del agua pero hasta una distancia de 50 km desde la zona marítima más próxima. Cuando no hay datos precisos para 100 m, se puede utilizar un valor aproximado, por ejemplo, 300 pies
Interior	A2	Toda la zona terrestre, salvo las zonas costeras y el litoral definidas anteriormente como «zona costera»
Mar	B	Mares, océanos y otras grandes masas de agua (por ejemplo, que cubran un círculo de 100 km de diámetro como mínimo)

*Grandes masas de agua en el interior*

A los efectos administrativos de la coordinación, se define como una «gran» masa de agua interior, que se considera está ubicada en la Zona B, una masa que cubre una superficie de al menos 7 800 km<sup>2</sup>, pero se excluye la superficie de los ríos. Las islas incluidas en estas masas de agua se deben considerar como agua para el cálculo de esta superficie si tienen alturas inferiores a 100 m por encima del nivel medio del agua en más del 90% de su superficie. Las islas que no satisfacen estos criterios deben ser clasificadas como tierra a los efectos del cálculo de la superficie de agua.

*Zonas con grandes lagos interiores y/o zonas pantanosas (humedales)*

Las grandes zonas interiores de más de 7 800 km<sup>2</sup> que contienen muchos lagos pequeños o una red fluvial deben ser declaradas como la Zona «costera» A1 por las administraciones si la zona contiene más de un 50% de agua y si más del 90% de la tierra está a menos de 100 m por encima del nivel medio del agua.

Es difícil determinar sin ambigüedades las regiones climáticas que pertenecen a la Zona A1, a las grandes masas interiores de agua y a las grandes regiones interiores de lagos y pantanos. Por lo tanto, se solicita a las administraciones que registren en la Oficina de Radiocomunicaciones de la UIT (BR) aquellas regiones dentro de sus fronteras que desean identificar como pertenecientes a una de estas categorías. Si no se ha registrado ninguna información contraria, se considerará que todas las zonas terrestres pertenecen a la Zona climática A2.

Para que los resultados entre las administraciones tengan un máximo de coherencia se recomienda encarecidamente que los cálculos de este procedimiento se basen en el mapa mundial digitalizado del UIT-R (IDWM) disponible en la UIT para entornos de ordenadores corporativos y personales.

## **4 Determinación del contorno de coordinación para el modo de propagación (2) – Dispersión por hidrometeoros**

### **4.1 Generalidades**

El contorno de coordinación, cuando interviene el fenómeno de propagación por dispersión debida a los hidrometeoros (lluvia), se determina por medio de un trayecto fundamentalmente diferente del correspondiente a la propagación a lo largo del círculo máximo. Como primera aproximación, la lluvia dispersa isotrópicamente la energía, de modo que puede producirse interferencia en caso de grandes ángulos de dispersión y de intersecciones de haces alejados del trayecto de círculo máximo (o trayecto ortodrómico).

Para este modo de propagación, la clasificación previa de la superficie de la Tierra en las zonas terrestre, costera y marina ya no resulta apropiada.

Se debe utilizar el procedimiento siguiente junto con la información suplementaria del Apéndice 1 con el fin de determinar la distancia de coordinación para el modo (2).

### **4.2 Distancias de coordinación basadas en los porcentajes de tiempo para el mes más desfavorable**

Los cálculos de la propagación según § 4.3 se basan en el porcentaje de tiempo medio anual requerido,  $p$ . En los casos en que la coordinación deba basarse en el porcentaje de tiempo para el mes más desfavorable,  $p_w$ , el porcentaje de tiempo anual equivalente,  $p$ , que requiere el método empleado, puede determinarse utilizando el método consignado en la Recomendación UIT-R P.841 para la categoría Global.

### 4.3 Cálculo de los contornos para el modo de propagación (2)

Se presenta la información mediante ecuaciones básicas que describen la relación entre la intensidad de lluvia, la pérdida de transmisión y la distancia de dispersión debida a la lluvia. Las ecuaciones permiten expresar la pérdida de transmisión en función de la intensidad de lluvia para cualquier distancia determinada, con las distribuciones de tiempo acumulativas de la intensidad de lluvia en diversas zonas hidrometeorológicas, que se indican en el Apéndice 1.

Las pérdidas de transmisión pueden calcularse en función de la distancia,  $r$  (km) (véase la Nota 1), de la frecuencia,  $f$  (GHz) y de la intensidad de la lluvia en la superficie,  $R$  (mm/h) mediante:

$$L = 168 + 20 \log r - 20 \log f - 13,2 \log R - g_T + 10 \log A_b - 10 \log C + \Gamma + E + \gamma_o d_0 + \gamma_w d_v \quad \text{dB} \quad (20)$$

siendo:

$R$ : intensidad de lluvia en la superficie (mm/h), que se indica en el Apéndice 1 para diversas regiones hidrometeorológicas

$g_T$ : ganancia de la antena de la estación terrenal (dB), que se supone de 42 dB

y:

$$10 \log A_b = \begin{cases} 0,005 (f - 10)^{1,7} R^{0,4} & \text{dB} & \text{para } 10 \text{ GHz} < f < 40 \text{ GHz} & (21) \\ 0 & \text{dB} & \text{para } f < 10 \text{ GHz} \text{ o cuando } E \neq 0 & (21a) \end{cases}$$

$C$  viene dado por:

$$C = \begin{cases} \frac{2,17}{\gamma_R d_s} \left( 1 - 10^{-\gamma_R d_s / 5} \right) & \text{para } f > 4 \text{ GHz} & (22) \\ 1 & \text{para } f < 4 \text{ GHz} & (22a) \end{cases}$$

$\gamma_R$  viene dado por:

$$\gamma_R = k R^\alpha \quad \text{dB} \quad (23)$$

NOTA 1 –  $r$  es la distancia entre la región de máxima dispersión y el emplazamiento de una posible estación terrenal.

El Cuadro 2 da valores para  $k$  y  $\alpha$  para polarización vertical (que proporciona la mínima atenuación específica).

Además:

$$d_s = 3,5 R^{-0,08} \quad \text{km} \quad (24)$$

donde:

$$\Gamma = 631 k R^{(\alpha - 0,5)} \times 10^{-(R + 1)^{0,19}} \quad \text{dB} \quad (25)$$

$E$ : pérdida debida al acoplamiento por dispersión en alturas por encima de la capa de fusión; viene dada por:

$$E = \begin{cases} 6,5 \left[ 6 (r - 50)^2 \times 10^{-5} - H_{FR} \right] & \text{dB} & \text{para } 6 (r - 50)^2 \times 10^{-5} > H_{FR} & (26) \\ 0 & \text{dB} & \text{para } 6 (r - 50)^2 \times 10^{-5} \leq H_{FR} & (26a) \end{cases}$$

donde:

$H_{FR}$ : altura de lluvia media anual (km) en la zona de la estación terrena, definida en la Recomendación UIT-R P.839:

$$d_0 = \begin{cases} 0,7 r + 32 & \text{km} & \text{para } r < 340 \text{ km} & (27) \\ 270 & \text{km} & \text{para } r \geq 340 \text{ km} & (27a) \end{cases}$$

$$d_v = \begin{cases} 0,7 r + 32 & \text{km} & \text{para } r < 240 \text{ km} & (28) \\ 200 & \text{km} & \text{para } r \geq 240 \text{ km} & (28a) \end{cases}$$

CUADRO 2

**Valores de  $k$  y  $\alpha$  en una función de la frecuencia con polarización vertical**

Frecuencia (GHz)	$k$	$\alpha$
<1	0	0
1	0,000 0352	0,880
4	0,000 591	1,075
6	0,001 55	1,265
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

Las ecuaciones para la atenuación específica producida por los gases  $\gamma_o$ , (para el aire seco), y  $\gamma_w$  (para vapor de agua), figuran en la Recomendación UIT-R P.676. La atenuación específica del vapor de agua  $\gamma_w$  debe ser calculada para una densidad supuesta del vapor de agua de  $\rho = 7,5 \text{ g/m}^3$ .

La ecuación (20) permite obtener las pérdidas de transmisión,  $L$ , como función monótonica de la intensidad de lluvia,  $R$ , con la distancia de dispersión por hidrometeoros,  $r$ , como parámetro. El procedimiento para determinar el contorno de dispersión por hidrometeoros es el siguiente:

- Se debe hallar el valor de  $R$  para el porcentaje de tiempo requerido,  $p$ , y la zona hidrometeorológica A a Q que corresponda de los datos del Apéndice 1.
- Se calculan los valores de  $L$  para valores de incremento de  $r$ , comenzando en 45 km. El valor correcto de  $r$  es aquél para el cual el valor correspondiente de  $L$  iguala o excede la pérdida de transmisión requerida. A este valor de  $r$  se denomina  $d_r$ .
- Si los resultados del cálculo iterativo de  $r$  igualan o superan la distancia máxima indicada en el Cuadro 3, se termina el cálculo y se supone que  $d_r$  toma este valor máximo.

CUADRO 3

**Distancias máximas de dispersión por hidrometeoros (km)**

Latitud (grados)	0-30	30-40	40-50	50-60	> 60
Distancia (km)	350	360	340	310	280

- d) Se determina un punto a la distancia  $\Delta d$  a lo largo del acimut del haz de la estación terrena. Esta distancia puede obtenerse mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta d = \frac{H_{FR}}{2 \operatorname{tg} \varepsilon_s} \quad \text{km} \quad (29)$$

donde  $\varepsilon_s$  es el ángulo de elevación del haz principal de la antena de la estación terrena.

- e) Se traza un círculo de radio  $d_r$  alrededor de este punto, determinándose así el contorno de coordinación que implica la dispersión por hidrometeoros (contorno de coordinación para el modo de propagación (2)). La distancia de coordinación para el modo de propagación (2) en un acimut dado desde la estación terrena, es la distancia desde la estación terrena al contorno de coordinación para ese acimut, que se designa por  $d_2$ .

Dado que la única dispersión importante causada por los hidrometeoros es la que se produce en las proximidades de la estación terrena, no se plantea la cuestión de la pérdida por trayectos mixtos.

## 5 Contornos auxiliares

### 5.1 Generalidades

Los contornos de coordinación, junto con los contornos de coordinación suplementarios descritos en la Recomendación UIT-R IS.847 se basan en las hipótesis más desfavorables en relación con la geometría de la interferencia. Estas hipótesis casi nunca se aplican en la práctica, por lo que hay que diseñar contornos auxiliares, eliminar del análisis aquellas estaciones terrenales a las que no se aplican estas hipótesis extremas, por ejemplo, en casos en que la ganancia de antena o la p.i.r.e. de estación terrenal en la dirección de la estación terrena sea menor que la prevista en los § 3 y 4.

Para el modo (1), la obtención de los contornos auxiliares desde el punto de vista de niveles de potencia reducidos, es directa. Sin embargo, los contornos auxiliares del modo (2) no se han generado para diferentes niveles de potencia sino para diferentes valores del ángulo de evitación, que es el ángulo de desplazamiento acimutal del eje del haz principal de la estación terrenal con respecto a la dirección de la estación terrena. Cuando se ha de coordinar una estación terrena con un grupo de estaciones terrenales, es necesario considerar los parámetros reales de las estaciones terrenales y generar un contorno de coordinación suplementario que corresponda a esos parámetros. Si algunas de las estaciones terrenales están dentro del contorno suplementario, se puede hacer otra eliminación utilizando los contornos auxiliares que deben ser generados para los parámetros actuales efectivos del grupo de estaciones terrenales. En otros términos, estos contornos se aplican con más utilidad en conjunción con los contornos suplementarios que con el contorno principal.

### 5.2 Condiciones con cielo despejado (modo (1))

Los contornos auxiliares se deben trazar introduciendo en la ecuación (3) una reducción de 5, 10, 15, 20 dB, etc., en las pérdidas de transmisión requeridas, hasta llegar a la distancia de coordinación mínima.

### 5.3 Dispersión producida por hidrometeoros (modo (2))

El contorno de coordinación para la propagación del modo (2) en torno a la estación terrena se calcula suponiendo el caso más desfavorable posible, a saber, que la estación terrenal y la estación terrena se apuntan directamente entre sí y que los dos haces principales se intersectan exactamente. Esto produce una amplia zona de coordinación dentro de la cual es necesario realizar cálculos detallados de los niveles de interferencia por dispersión debida a hidrometeoros. En la práctica, es mucho más probable que la propagación del modo (2) se produzca fuera de este plano ortodrómico que en él y, además, existen pocas posibilidades de que los lóbulos principales de la antena se intersecten exactamente. En ambos casos, es posible generar contornos auxiliares que proporcionen zonas más pequeñas que la zona de coordinación. El Apéndice 2 proporciona un procedimiento para determinar los contornos auxiliares fundándose en el ángulo de evitación,  $\varphi$ . Cualquier estación que se encuentre fuera del contorno correspondiente a este ángulo de evitación no tiene que ser considerada como una fuente importante de interferencia.

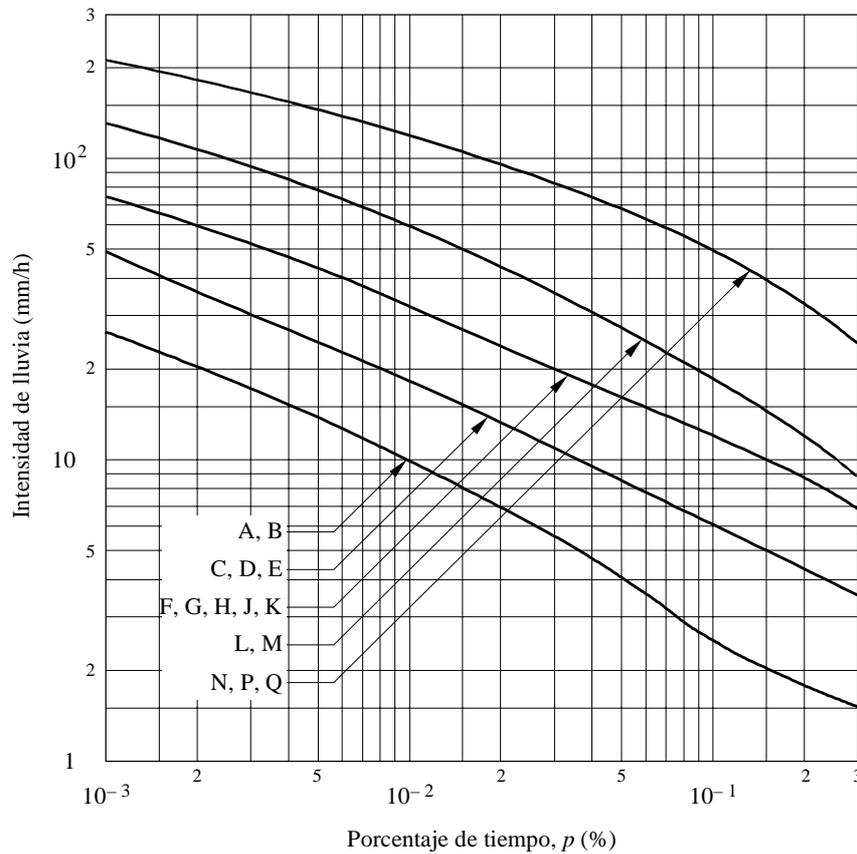
En el caso del modo (2), la distancia mínima de coordinación está determinada por criterios diferentes que en el caso del modo (1) y se deberá aplicar una distancia de 45 km. Los contornos auxiliares del modo (2) deben estar preparados para ángulos de evitación de 2°, 5°, 10°, 20° y 30°, con ángulos adicionales, según proceda. Se deben aplicar los contornos auxiliares cuando se considere que las antenas de las estaciones terrenales son conformes a la Recomendación UIT-R F.699.

APÉNDICE 1  
AL ANEXO 1

**Clasificación de las zonas hidrometeorológicas**

Como se muestra en la Recomendación UIT-R P.837, el mundo se ha dividido en cierto número de zonas hidrometeorológicas que presentan diferentes características de precipitación. Las curvas presentadas en la Fig. 1 representan distribuciones consolidadas de la intensidad de lluvia, cada una aplicable a varias zonas hidrometeorológicas, y están basadas en las distribuciones de intensidad de lluvia definidas en la Recomendación UIT-R P.837.

FIGURA 1  
Distribuciones consolidadas acumulativas de la intensidad de lluvia para las zonas hidrometeorológicas de la Recomendación UIT-R P.837



0620-01

Se han ampliado las distribuciones de la Fig. 1 más allá del 0,3% a porcentajes de tiempo  $p_c$  tan grandes que para ellos la intensidad de lluvia se supone próxima a cero, mediante la siguiente expresión:

$$R(p) = R(0,3\%) \left[ \frac{\log(p_c/p)}{\log(p_c/0,3)} \right]^2 \quad \text{mm/h} \quad (30)$$

y utilizando, para  $R(0,3\%)$  y  $p_c$ , 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 debida a la lluvia. Sin embargo, sólo presenta interés para frecuencias superiores a 8 GHz.

Para una evaluación numérica de  $R(p)$  en la gama  $0,001\% < p < 0,3\%$ , las curvas de la Fig. 1 se han convertido en las ecuaciones (31) a (35).

*Zonas hidrometeorológicas A, B*

$$R(p) = 1,1 p^{-0,465} + 0,25 \left[ \log(p / 0,001) \log^3(0,3 / p) \right] - \left[ \log(p / 0,1) + 1,1 \right]^{-2} \quad \text{mm/h} \quad (31)$$

*Zonas hidrometeorológicas C, D, E*

$$R(p) = 2 p^{-0,466} + 0,5 \left[ \log(p / 0,001) \log^3(0,3 / p) \right] \quad \text{mm/h} \quad (32)$$

*Zonas hidrometeorológicas F, G, H, J, K*

$$R(p) = 4,17 p^{-0,418} + 1,6 \left[ \log(p / 0,001) \log^3(0,3 / p) \right] \quad \text{mm/h} \quad (33)$$

*Zonas hidrometeorológicas L, M*

$$R(p) = 4,9 p^{-0,48} + 6,5 \left[ \log(p / 0,001) \log^2(0,3 / p) \right] \quad \text{mm/h} \quad (34)$$

*Zonas hidrometeorológicas N, P, Q*

$$R(p) = 15,6 \left( p^{-0,383} + \left[ \log(p / 0,001) \log^{1,5}(0,3 / p) \right] \right) \quad \text{mm/h} \quad (35)$$

APÉNDICE 2

AL ANEXO 1

**Cálculo de los contornos auxiliares para el modo de propagación (2)**

El Cuadro 4 da la definición de los términos utilizados en este punto. La Fig. 2 muestra una vista proyectada en el plano horizontal de la dispersión producida por hidrometeoros, siendo A la estación terrena y B la estación terrenal en un emplazamiento arbitrario, X e Y representan los emplazamientos de la estación terrenal que corresponden a las distancias máxima y mínima desde el centro del contorno respectivamente y M es la extensión horizontal máxima del volumen común potencial (CV – common volume).

CUADRO 4

## Nomenclatura de la dispersión producida por hidrometeoros

$H_{FR}$	Altura de la célula de lluvia
$r_b$	Distancia desde el centro del CV hasta el contorno auxiliar
$b$	Distancia horizontal entre la estación terrena y el CV más distante posible
$\varepsilon_s$	Ángulo de elevación de la estación terrena
$\alpha$	Ángulo polar de la estación terrenal en relación con el centro del volumen común
$\psi$	Ángulo subtendido por $b$ en la estación terrenal (ángulo de visión)
$\delta$	Ángulo de protección mínimo requerido
$\varphi$	Ángulo de evitación ( $= \psi + \delta$ )
$d$	Distancia desde la estación terrena a un punto en el contorno auxiliar
$\theta_d$	Acimut con respecto a la dirección del haz principal desde la estación terrena a un punto en el contorno auxiliar

La zona sombreada en la Fig. 2 representa la región crítica a lo largo del haz de la estación terrena que, si es interceptado por el haz principal de la estación terrenal, resultará en una importante interferencia por dispersión debida a los hidrometeoros por acoplamiento de sus lóbulos principales. Esta región crítica, cuya extensión está indicada por  $b$  en la Figura, está limitada por la estación terrena por un lado y por la altura máxima de la célula de lluvia ( $H_{FR}$ ) por el otro. Para un punto dado dentro de la zona de coordinación, el ángulo subtendido por esta región se denomina ángulo de visión,  $\psi$ . El ángulo de protección,  $\delta$ , representa el ángulo del haz de la estación terrena fuera de la región crítica. El ángulo de evitación,  $\varphi$ , es la suma de esos dos ángulos  $\psi$  y  $\delta$  y este valor  $\varphi$  permanecerá fijo a lo largo de su propio contorno auxiliar.

El punto de referencia del contorno está en el centro del volumen común (a una distancia  $b/2$  desde la estación terrena). Cada contorno se genera variando el ángulo polar,  $\alpha$ , y obteniendo los correspondientes valores,  $r_b$ , a medida que  $\alpha$  cambia de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ , los ángulos  $\psi$  y  $\delta$  aumentarán y disminuirán pero su suma permanece igual. La posición más favorable para una estación terrenal es cuando  $\alpha = 0$  (posición Y) en cuyo punto el ángulo de protección alcanza su máximo. La distancia desde el centro del volumen común hasta la estación terrenal es entonces mínima, denominada  $r_{b\ min}$  en la Figura. En el otro extremo, cuando  $\alpha = 90^\circ$  (posición X), el ángulo de visión alcanza su máximo, el ángulo de protección será mínimo y  $r_b$  tendrá su mayor valor  $r_{b\ máx}$  para el contorno.

## 1 El algoritmo paso a paso

Se puede utilizar el siguiente algoritmo para calcular el contorno auxiliar de coordinación para el modo (2) con un valor dado del ángulo de evitación  $\varphi$ .

- Los límites del ángulo de protección mínimo,  $\delta_0$ , son:

$$\delta_{0\ mín} = 1,0^\circ$$

$$\delta_{0\ máx} = 48,0^\circ$$

- Calcúlese  $b$  utilizando:

$$b = H_{FR} \cotg \varepsilon_s \quad (36)$$

- Calcúlese el valor de  $\delta_0$  que corresponde al  $\varphi$ , elegido, como sigue:

a) Tómese  $\delta_0 = \delta_{0\ mín}$ .

b) Calcúlese la ganancia del lóbulo lateral del transmisor para este ángulo  $\delta_0$  con respecto al eje de puntería, de acuerdo con la Recomendación UIT-R F.699.

c) Utilícese la ganancia resultante en el lugar del parámetro  $g_T$  en la ecuación (20) y obténgase así la distancia máxima para el contorno auxiliar,  $r_{b\ máx}$ , asociado al umbral de pérdidas de transmisión requerido.

d) Calcúlese  $\psi_0$  utilizando:

$$\psi_0 = 2 \arcsen \left( \frac{b/2}{r_{b\ máx}} \right) \quad (37)$$

- e) Calcúlese el ángulo de evitación,  $\varphi'$ , para el  $\delta_0$  seleccionado, utilizando:

$$\varphi' = \psi_0 + \delta_0 \quad (38)$$

- f) Si  $|\varphi' - \varphi| > 0,01 \varphi$  entonces utilícese la técnica de bisegmentación normalizada para realizar una nueva estimación de  $\delta_0$  y repítase desde el paso b) hasta que se logre la convergencia tal como se define en  $|\varphi' - \varphi| \leq 0,01 \varphi$ .

- g) En adelante utilícese el valor final de  $\delta_0$  y  $r_{b \text{ máx}}$ .

– Obténgase  $r_{b \text{ mín}}$  como sigue:

- a) Calcúlese la ganancia del lóbulo lateral de la antena para el valor de  $\varphi$  arriba indicado aplicando la Recomendación UIT-R F.699.

- b) Utilícese esta ganancia del lóbulo lateral en lugar del parámetro  $g_T$  en la ecuación (20) para calcular la distancia del contorno auxiliar asociado al umbral de pérdidas de transmisión requerido. Esta distancia es  $r_{b \text{ mín}}$ .

– Genérese el contorno para valores de  $\alpha$  desde  $0^\circ$  a  $180^\circ$  en pasos de  $1^\circ$ , como sigue:

- a) Tómese  $r_b = 0,5 (r_{b \text{ mín}} + r_{b \text{ máx}})$ .

- b) Calcúlese  $\psi$  a partir de:

$$\psi = \psi_1 + \psi_2 \quad (39)$$

donde:

$$\psi_1 = \arctg \left( \frac{b \operatorname{sen} \alpha}{2r_b - b \operatorname{cos} \alpha} \right)$$

y:

$$\psi_2 = \arctg \left( \frac{b \operatorname{sen} \alpha}{2r_b + b \operatorname{cos} \alpha} \right)$$

- c) Calcúlese  $\delta = \varphi - \psi$ .

- d) Calcúlese  $G(\delta)$  utilizando la Recomendación UIT-R F.699.

- e) Utilizando la ganancia de lóbulo lateral resultante,  $G(\delta)$ , en lugar del parámetro  $g_T$  en la ecuación (20), calcúlese la distancia,  $r'_b$ , para el umbral de pérdidas de transmisión requerido.

- f) Si  $|r'_b - r_b| < 0,5 \text{ km}$ , entonces se tendrá el valor deseado.

Si no, se da un nuevo valor a  $r_b$ :

$$r_b = 0,5 (r_b + r_{b \text{ máx}}) \quad \text{para } r'_b > r_b$$

$$r_b = 0,5 (r_b + r_{b \text{ mín}}) \quad \text{para } r'_b \leq r_b$$

y se repiten los pasos b) a f).

– Una vez hallado el valor  $r_b$ , calcúlese la distancia,  $d$ , y el acimut,  $\theta_d$ , desde el emplazamiento de la estación terrena hasta ese punto del contorno, utilizando:

$$d = 0,5 b \operatorname{sen} \alpha / \operatorname{sen} \psi_2 \quad (40)$$

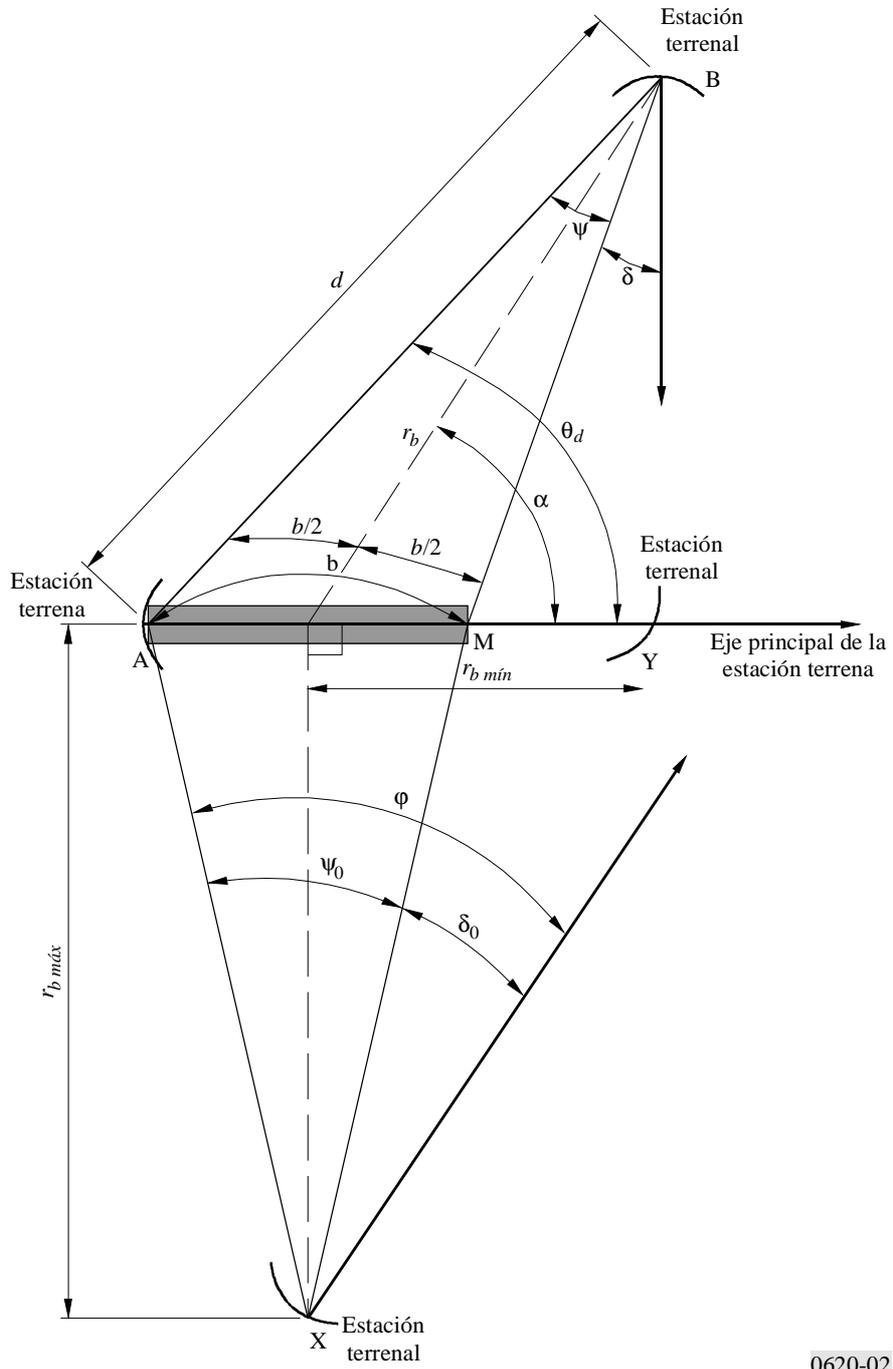
$$\theta_d = \arcsen (r_b \operatorname{sen} \psi_2 / 0,5 b) \quad \text{para } (d^2 - r_b^2 + 0,25 b^2) / (b d) > 0 \quad (41a)$$

$$\theta_d = \pi - \arcsen (r_b \operatorname{sen} \psi_2 / 0,5 b) \quad \text{para } (d^2 - r_b^2 + 0,25 b^2) / (b d) \leq 0 \quad (41b)$$

– Se pueden hallar los valores de  $r_b$  para  $\alpha$  desde  $181^\circ$  a  $359^\circ$ , utilizando la relación de simetría:

$$r_b(\alpha) = r_b(-\alpha) = r_b(360^\circ - \alpha) \quad (42)$$

FIGURA 2  
Geometría de propagación en el plano horizontal



0620-02