

## RECOMENDACIÓN UIT-R P.620-4

**DATOS DE PROPAGACIÓN NECESARIOS PARA EVALUAR LAS DISTANCIAS DE COORDINACIÓN EN LA BANDA DE FRECUENCIAS DE 100 MHz A 105 GHz**

(Cuestión UIT-R 208/3)

(1986-1992-1995-1997-1999)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) los términos de la Resolución 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 100 MHz, 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 (o entre estaciones terrenales que funcionan bidireccionalmente) que funcionan en el marco de las hipótesis prudenciales indicadas en otro lugar. En el resto de la presente Recomendación, la expresión estaciones terrenales puede significar también estaciones terrenales que funcionan bidireccionalmente. La determinación de la distancia de coordinación exige, por tanto, que se compare la pérdida de transmisión requerida (pérdida de transmisión básica mínima permisible,  $L_b(p)$  (dB), no superada durante un porcentaje de tiempo anual,  $p$ ), 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.

Se proporcionan diversos modelos de propagación para abarcar diferentes gamas de frecuencias y tener en cuenta los diferentes mecanismos de propagación. Dichos modelos predicen la pérdida de propagación en función de la distancia. Para determinar las distancias de coordinación se calcula la pérdida de propagación de manera iterativa, aumentando la distancia hasta que se consigue la pérdida de retransmisión requerida o se alcanza una distancia máxima ( $d_{máx1}$  (km) o  $d_{máx2}$  (km)).

El método iterativo empieza siempre en un valor definido de distancia mínima ( $d_{mín}$  (km)), y la iteración continúa utilizando un tamaño de paso uniforme ( $s$  (km)) para aumentar la distancia; se recomienda que el tamaño de paso sea de 1 km. Todos los modelos de propagación dan la pérdida de propagación como una función monótonica de la distancia, por lo que se pueden aplicar métodos de iteración más avanzados.

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. Esa compartición es posible a menudo y la zona de coordinación sirve para facilitar tal configuración indicando dónde se necesita evaluar el potencial de interferencia entre la estación terrena y cualesquiera estaciones terrenales, mediante un análisis más detallado basado en las Recomendaciones UIT-R pertinentes.

Además del método de cálculo del contorno de coordinación primario, la presente Recomendación proporciona información que permite preparar contornos auxiliares que ayudan a eliminar rápidamente la mayoría de los casos de posible interferencia durante los análisis subsiguientes de la coordinación entre las estaciones terrenales que se encuentran dentro del contorno primario.

## 2 Estructura de la Recomendación

La estructura de la Recomendación es como sigue:

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| Anexo 1:                    | Metodología global de determinación de la zona de coordinación                                      |
| Apéndice 1 al Anexo 1:      | Definición de los parámetros de entrada   |
| Apéndices 2 y 3 al Anexo 1: | Ecuaciones que se necesitan para calcular los contornos de coordinación                             |
| Apéndice 4 al Anexo 1:      | Diagramas de radiación de referencia de antenas de sistemas de radioenlaces con visibilidad directa |
| Apéndice 5 al Anexo 1:      | Definición de todos los parámetros.   |

## 3 Consideraciones generales

### 3.1 Hipótesis

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 que sigue.

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

- *modo (1)*: fenómenos de propagación en cielo despejado:
  - afectados por la presencia de la superficie de la Tierra (difracción, refracción, propagación por conductos y reflexión/refracción en capas) y
  - vía dispersión troposférica. 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 del 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 que dé una pérdida de propagación igual a la pérdida de transmisión básica mínima permisible que se requiere. Esta distancia (distancia de coordinación) será la mayor de las dos distancias encontradas.

### 3.2 Visión general de los modelos de propagación

Para la determinación de las distancias de coordinación del modo de propagación (1), la gama de frecuencias aplicables se ha dividido en tres partes:

- Frecuencias de ondas métricas/decimétricas entre 100 MHz y 850 MHz, el modelo se basa en un ajuste empírico a los datos medidos.
- Frecuencias de 850 MHz a 60 GHz, se utiliza un modelo de propagación que tiene en cuenta la dispersión troposférica, la propagación por conductos y la reflexión/refracción en capas.
- Frecuencias de 60 GHz a 105 GHz, se utiliza un modelo milimétrico, basado en la pérdida en el espacio libre y una estimación conservadora de la absorción gaseosa, más un margen de tolerancia para mejoras de la señal en porcentajes de tiempo reducidos.

Las gamas de entrada de parámetros de cada uno de los mecanismos del modo de propagación (1) son diferentes por lo general.



En los diversos modelos de frecuencias se necesitan los parámetros de distancias de zonas siguientes:

- $d_t$  (km): distancia terrestre agregada actual, Zona A1 + Zona A2, dentro de la distancia del trayecto actual;
- $d_{lm}$  (km): distancia sobre tierra continua más larga, Zona A2, dentro de la distancia del trayecto actual;
- $d_{im}$  (km): distancia sobre tierra (tierra adentro + costa) más larga, Zona A1 + Zona A2, dentro de la distancia del trayecto actual.

Cuando sea necesario, se reevaluarán esas distancias para cada distancia de trayecto total dentro de los bucles de iteración de los modelos de propagación.

#### *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 o en la Zona C según proceda, 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 estas superficies 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 invita a las administraciones a que registren en la Oficina de Radiocomunicaciones (BR) de la UIT aquellas regiones dentro de sus fronteras que deseen identificar como pertenecientes a una de esas categorías. Si no se ha registrado ninguna información contraria, se considerará que todas las zonas terrestres pertenecen a la Zona climática A2.

## 5 Límites de las distancias

### 5.1 Límites de distancia mínima

La distancia de coordinación en cualquier dirección dada se determina mediante un cierto número de los factores expuestos más arriba y, en base solamente a los factores de la propagación, las distancias podrían variar desde relativamente próximas a la estación terrena a muchos cientos de kilómetros. Sin embargo, por motivos prácticos y también para tener en cuenta las hipótesis establecidas a propósito del trayecto radioeléctrico, es necesario establecer límites más bajos a las distancias de coordinación ( $d_{min}$ ), calculadas como sigue:

Como primer paso se calcula la distancia de coordinación mínima como una función de la frecuencia,  $f$  (GHz), y hasta 40 GHz, mediante la siguiente expresión:

$$d'_{min}(f) = 100 + \frac{(\beta_p - f)}{2} \quad \text{km} \quad (4)$$

A continuación se calcula la distancia de coordinación mínima a cualquier frecuencia de la banda de 100 MHz a 105 GHz mediante la expresión siguiente:

$$d_{min}(f) = \begin{cases} d'_{min}(f) & \text{km} & \text{para} & f < 40 \text{ GHz} & (5a) \\ \frac{(54 - f)d'_{min}(40) + 10(f - 40)}{14} & \text{km} & \text{para} & 40 \text{ GHz} \leq f < 54 \text{ GHz} & (5b) \\ 10 & \text{km} & \text{para} & 54 \text{ GHz} \leq f < 66 \text{ GHz} & (5c) \\ \frac{10(75 - f) + 45(f - 66)}{9} & \text{km} & \text{para} & 66 \text{ GHz} \leq f < 75 \text{ GHz} & (5d) \\ 45 & \text{km} & \text{para} & 75 \text{ GHz} \leq f < 90 \text{ GHz} & (5e) \\ 45 - \frac{(f - 90)}{1,5} & \text{km} & \text{para} & 90 \text{ GHz} \leq f \leq 105 \text{ GHz} & (5f) \end{cases}$$

Se señala que en la ecuación (5b),  $d'_{min}(40)$  se calcula utilizando la ecuación (4) con  $f=40$ .

La distancia con la que deberán empezar todos los cálculos iterativos (tanto para el modo de propagación (1) como para el modo de propagación (2)) es la distancia de coordinación mínima ( $d_{min}(f)$ ) que dan a las ecuaciones (5a) a (5f).

## 5.2 Límites de distancia máxima

También es necesario establecer límites superiores ( $d_{máx1}$  y  $d_{máx2}$ ) a la distancia máxima utilizada en los cálculos iterativos para los modos de propagación (1) y (2) respectivamente. El límite de la distancia máxima de cálculo para el modo de propagación (1) ( $d_{máx1}$ ) viene dado por la siguiente ecuación:

$$d_{máx1} = \begin{cases} 1\,200 & \text{km} & \text{para } f \leq 60 \text{ GHz} & (6a) \\ 80 - 10 \log\left(\frac{p_1}{50}\right) & \text{km} & \text{para } f > 60 \text{ GHz} & (6b) \end{cases}$$

Los límites de la distancia máxima de cálculo para el modo de propagación (2) ( $d_{máx2}$ ) vienen dados en el Cuadro 2.

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

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

El cálculo de la distancia de coordinación se basa en un nivel de interferencia que no se debe superar durante más de un porcentaje de tiempo medio anual especificado,  $p_1$ . En los casos en que la coordinación tenga que basarse en el porcentaje de tiempo para el mes más desfavorable,  $p_{w1}$ , el porcentaje de tiempo anual equivalente,  $p_1$ , requerido por el método puede determinarse como sigue:

Sea:

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

entonces:

$$p_1 = 10^{\frac{\log(p_{w1}) + \log(G_L) - 0,444}{0,816}} \quad (8)$$

donde  $p_1$  (%) es el porcentaje de tiempo medio anual para el modo de propagación (1).

Si es necesario, el valor de  $p_1$  se limitará de tal manera que  $12p_1 \geq p_{w1}$ .

### 6.2 Cálculo de la distancia de coordinación para el modo de propagación (1)

Para determinar las distancias de coordinación con el modo de propagación (1) deberán utilizarse los siguientes métodos:

- frecuencias comprendidas entre 100 MHz y 850 MHz, método descrito en el § 2 del Apéndice 2;
- frecuencias comprendidas entre 850 MHz y 60 GHz, método descrito en el § 3 del Apéndice 2;
- frecuencias comprendidas entre 60 GHz y 105 GHz, método descrito en el § 4 del Apéndice 2.

## 7 Determinación de la distancia de coordinación para el modo de propagación (2) – Dispersión por hidrometeoros

### 7.1 Generalidades

El contorno de coordinación, cuando interviene el fenómeno de propagación por dispersión debida a los hidrometeoros (dispersión producida por la 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.

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

El cálculo de la distancia de coordinación se basa en un nivel de interferencia que no se debe superar durante más de un porcentaje de tiempo medio anual especificado,  $p_2$ . En los casos en que la coordinación tenga que basarse en el porcentaje de tiempo para el mes más desfavorable,  $p_{w2}$ , el porcentaje de tiempo anual equivalente,  $p_2$ , requerido por el método se puede determinar como sigue:

$$p_2 = 0,30(p_{w2})^{1,15} \quad (9)$$

donde:

$$1,9 \times 10^{-4} < p_{w2} < 7,8$$

## 7.3 Cálculo de contornos para el modo de propagación (2)

En el caso del modo de propagación (2), las distancias de coordinación deberán calcularse utilizando el método descrito en el Apéndice 3. El cálculo sólo es necesario en la banda de frecuencias 4-40 GHz. Fuera de esa banda, la interferencia por la dispersión debida a la lluvia se puede despreciar y la distancia de coordinación del modo (2) es igual a la distancia de coordinación mínima dada por la ecuación (5). Este método requiere también la iteración de la distancia, empezando con la distancia mínima definida para el modo (1), hasta que se consiga la pérdida de transmisión mínima requerida o una distancia del modo de propagación (2) máxima dependiente de la latitud.

# 8 Contornos auxiliares

## 8.1 Generalidades

Los contornos de coordinación se basan en las hipótesis más desfavorables en relación con la interferencia. Esas hipótesis no necesariamente se aplican en la práctica, y en ciertas condiciones, se pueden trazar contornos auxiliares para eliminar estaciones terrenales de ulteriores consideraciones.

En el modo de propagación (1), la obtención de los contornos auxiliares no requiere información de propagación adicional. En el modo de propagación (2), se generan contornos auxiliares 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 terrenal. Esto entraña nuevas consideraciones a propósito de la propagación que se analizan a continuación, en el § 8.2.

## 8.2 Dispersión producida por hidrometeoros (modo de propagación (2))

El contorno de coordinación para la propagación del modo (2) en torno a la estación terrenal se calcula suponiendo una geometría del caso más desfavorable, es decir, que los dos haces principales intersecten exactamente en el plano ortodrómico que contiene ambas estaciones. 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 del plano ortodrómico que en él y, además, existen pocas posibilidades de que los lóbulos principales de la antena intersecten exactamente. En ambos casos, es posible generar contornos auxiliares que proporcionen zonas más pequeñas que la zona de coordinación. Los contornos auxiliares del modo de propagación (2), que tienen en cuenta el desplazamiento acimutal,  $\phi$ , de un haz de antena de estación terrenal con respecto a la dirección de la estación terrenal, deberán calcularse de acuerdo con el método descrito en el § 4 del Apéndice 3. 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.

La distancia de coordinación mínima para el modo de coordinación (2) es la misma que para el modo de propagación (1), es decir,  $d_{min}$ . 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. Es fundamental hacer todo lo posible por utilizar el diagrama de antena real cuando se determinen los contornos auxiliares; no obstante lo cual, si no se dispone de él se puede utilizar el diagrama de antena de referencia que figura en el Apéndice 4.

APÉNDICE 1

AL ANEXO 1

CUADRO 1

Parámetros de entrada

| Parámetro    | Unidades | Definición   | Definido en            | Estatus               |
|--------------|----------|--|------------------------|-----------------------|
| $d_c$        | km       | La distancia de la estación terrena a la costa en la dirección considerada, utilizada en el cálculo de la distancia de coordinación del modo de propagación (1)  | Ecuación (24)          | De entrada            |
| $d_h$        | km       | La distancia del horizonte radioeléctrico, vista desde el centro de la estación terrena  | § 1 del Apéndice 2     | De entrada o derivado |
| $d_{lm}$     | km       | La distancia sobre tierra continua más larga, Zona A2, dentro de la distancia $d_i$ , utilizada en el cálculo iterativo de la distancia de coordinación del modo de propagación (1)                          | Ecuación (33)          | De entrada            |
| $d_t$        | km       | La distancia terrestre agregada actual, Zona A1 + Zona A2, dentro de la distancia $d_i$ , utilizada en el cálculo iterativo de la distancia de coordinación del modo (1)                                     | Ecuación (32)          | De entrada            |
| $d_{tm}$     | km       | La distancia terrestre (es decir, tierra adentro + costa) continua más larga, Zona A1 + Zona A2, dentro de la distancia $d_i$ utilizada en el cálculo iterativo de la distancia de coordinación del modo (1) | Ecuación (34)          | De entrada            |
| $D$          | m        | El diámetro de antena utilizado para determinar el diagrama de radiación de referencia de antenas (Apéndice 4)   | Apéndice 4             | De entrada            |
| $f$          | GHz      | Frecuencia, 100 MHz a 105 GHz  | –                      | De entrada            |
| $G_{máx}$    | dB       | La ganancia en el eje del haz principal de la antena utilizada en el diagrama de radiación de referencia de antenas (Apéndice 4)   | Ecuación (98)          | De entrada o derivado |
| $G_T$        | dB       | La ganancia de la antena de la estación terrenal, que se supone es de 42 dB, utilizada en el cálculo de la distancia de coordinación del modo (2)  | Ecuación (65)          | De entrada            |
| $L_b(p)$     | dB       | La pérdida de transmisión básica mínima permisible requerida durante $p_1\%$ (modo (1)) o $p_2\%$ (modo (2)) del tiempo  | § 1                    | De entrada            |
| $p_1$        | %        | El porcentaje de tiempo medio anual para el modo de propagación (1), donde $p_1$ es la gama:<br>1% a 50% para $f$ entre 100 MHz y 850 MHz<br>0,001% a 50% para $f$ entre 850 MHz y 105 GHz                   | Ecuación (8) del § 6.1 | De entrada o derivado |
| $p_{w1}$     | %        | El porcentaje de tiempo del mes más desfavorable para el modo de propagación (1)   | § 6.1                  | De entrada            |
| $p_2$        | %        | El porcentaje de tiempo medio anual para el modo de propagación (2) 0,001% a 10%   | Ecuación (9) del § 7.2 | De entrada o derivado |
| $p_{w2}$     | %        | El porcentaje de tiempo del mes más desfavorable para el modo de propagación (2)   | § 7.2                  | De entrada            |
| $s$          | km       | El aumento de distancia utilizado en el cálculo iterativo de la distancia de coordinación (el valor recomendado es de 1 km)  | § 1                    | De entrada            |
| $\epsilon_s$ | grados   | El ángulo de elevación del haz principal de la antena de la estación terrena   | Ecuación (73)          | De entrada            |

CUADRO 1 (Fin)

| Parámetro     | Unidades | Definición  | Definido en  | Estatus    |
|---------------|----------|---|--|------------|
| $\varphi$     | grados   | Un desplazamiento angular con respecto al eje del haz principal de la antena utilizado en el diagrama de radiación de referencia de antenas (Apéndice 4)              | Apéndice 4   | De entrada |
| $\Phi$        | grados   | El ángulo de evitación utilizado para determinar contornos auxiliares aplicables al modo de propagación (2)   | § 4.1 del Apéndice 3                                 | De entrada |
| $\lambda$     | m        | La longitud de onda utilizada para determinar el diagrama de radiación de referencia de antenas (Apéndice 4)  | Apéndice 4   | De entrada |
| $\theta_h$    | grados   | El ángulo de elevación del horizonte de la estación terrena   | § 1 del Apéndice 2                                   | De entrada |
| $\theta_{bw}$ | grados   | La abertura angular de antena de 3 dB utilizada en el diagrama de radiación de referencia de antenas (Apéndice 4)   | Ecuaciones (97) y (98)                               | De entrada |
| $\rho$        | $g/m^3$  | Densidad del vapor de agua atmosférico  | Ecuación (21)  | De entrada |
| $\omega$      | grados   | El ángulo polar de la estación terrenal con respecto al centro del volumen común, utilizado en el cálculo de los contornos auxiliares para el modo de propagación (2) | § 4.1 y 4.2 del Apéndice 3                           | De entrada |
| $\psi$        | grados   | El ángulo subtendido por $b$ en la estación terrenal (ángulo de visión), utilizado en el cálculo de los contornos auxiliares para el modo de propagación (2)          | § 4.1 del Apéndice 3<br>Ecuaciones (76), (77) y (78) | De entrada |
| $\zeta$       | grados   | La latitud de la estación terrena (positiva en el Norte y negativa en el Sur)   | Ecuaciones (1a) y (1b)                               | De entrada |

## APÉNDICE 2

## AL ANEXO 1

**Cálculo de la distancia de coordinación para el modo de propagación (1)****1 Efecto de pantalla del terreno**

En el caso del modo de propagación (1), el terreno que rodea a la estación terrena puede provocar alguna forma de apantallamiento de la misma (efecto de pantalla de terreno). Para tener esto en cuenta en dicho modo de propagación, se utiliza el término,  $A_h$ . La pérdida adicional debida al efecto de pantalla del terreno en la proximidad de la estación terrena a lo largo de cada dirección radial se calcula como se indica a continuación:

La distancia del horizonte radioeléctrico,  $d_h$ , vista desde el centro de la antena de la estación terrena, viene determinada por:

$$d_h = \begin{cases} 0,5 \text{ km} & \text{si no se dispone de información sobre la distancia del horizonte, o si la distancia es } < 0,5 \text{ km} \\ \text{distancia del horizonte (km)} & \text{si este valor está comprendido entre } 0,5 \text{ km} \leq \text{distancia del horizonte} \leq 5,0 \text{ km} \\ 5,0 \text{ km} & \text{si la distancia del horizonte es } > 5,0 \text{ km} \end{cases}$$

Se calcula el ángulo del horizonte,  $\theta_h$  (grados). Se entiende por ángulo del horizonte 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  $\theta_h$  es positivo cuando el horizonte físico está por encima de la horizontal. Es preciso determinar ángulos del horizonte para todos los acimutes en torno a una estación terrena. En la práctica, bastará por lo general hacerlo en incrementos de acimut de  $5^\circ$ . Sin embargo, ha de tratarse por todos los medios de identificar y tener en cuenta los ángulos de elevación mínimos del horizonte que pueden producirse entre los acimutes examinados en incrementos de  $5^\circ$ .

A continuación se utiliza la corrección por distancia del horizonte,  $A_d$  (dB) a lo largo de cada acimut desde una estación terrena:

$$A_d = 15 \left[ 1 - \exp\left(\frac{0,5 - d_h}{5}\right) \right] \left[ 1 - \exp\left(-\theta_h f^{1/3}\right) \right] \quad \text{dB} \quad (10)$$

La pérdida total debida al efecto de pantalla del terreno a lo largo de cada acimut desde una estación terrena viene dada por:

$$A_h = \begin{cases} 20 \log(1 + 4,5\theta_h f^{1/2}) + \theta_h f^{1/3} + A_d & \text{dB} & \text{para } \theta_h \geq 0^\circ & (11a) \\ 3 \left[ (f + 1)^{1/2} - 0,0001 f - 1,0487 \right] \theta_h & \text{dB} & \text{para } 0^\circ > \theta_h \geq -0,5^\circ & (11b) \\ -1,5 \left[ (f + 1)^{1/2} - 0,0001 f - 1,0487 \right] & \text{dB} & \text{para } \theta_h < -0,5^\circ & (11c) \end{cases}$$

El valor de  $A_h$  debe limitarse de modo que satisfaga las siguientes condiciones:

$$A_h \leq (30 + \theta_h) \quad (12)$$

y

$$A_h \geq -10$$

Se señala que, en las ecuaciones (10), (11) y (12), el valor de  $\theta_h$  se debe expresar siempre en grados. Se señala también que los límites definidos en la ecuación (12) se especifican porque, en la práctica, quizá no se pueda conseguir protección fuera de esos límites.

## 2 Frecuencias desde 100 MHz hasta, e incluida, la de 850 MHz

El modelo de propagación indicado en este punto está limitado a un porcentaje de tiempo medio anual ( $p_1$ ) comprendido en la gama de 1% a 50%.

Se debe seguir un proceso iterativo, como el descrito en el § 1 del Anexo 1. Se resuelve la ecuación (14) y a continuación, comenzando en la distancia de coordinación mínima,  $d_{min}$ , dada por el método descrito en el § 5.1, se iteran las ecuaciones (15) a (18) para distancias  $d_i$ , donde  $i = 0, 1, 2 \dots$  etc., aumentadas en pasos adecuados. En cada iteración se considera que  $d_i$  es la distancia actual. El proceso continúa hasta que una de las dos expresiones siguientes sea verdadera:

$$L_2(p_1) \geq L_1(p_1) \quad (13a)$$

o

$$d_i \geq d_{máx1} \quad (13b)$$

La distancia de coordinación requerida,  $d_1$ , viene dada entonces por la distancia actual de la última iteración.

El aumento de distancia recomendado,  $s$  (km), es 1 km. Las ecuaciones (16), (17a) y (17b) prevén sólo trayectos que pertenecen por completo a una clasificación de trayectos. Cuando el trayecto incluye secciones de más de una zona (zona terrestre y/o mar frío y/o mar cálido, véase el § 4.2) se puede encontrar la distancia de coordinación mediante una interpolación de los resultados obtenidos suponiendo que el trayecto es todo él terrestre y marítimo. Cuando un trayecto marítimo incluya secciones de zona de mar cálido, se supondrá que todo el mar a lo largo del trayecto es cálido.

$$L_1(p_1) = L_b(p_1) - A_h \quad (14)$$

donde  $L_b(p_1)$  (dB) es la pérdida de transmisión básica mínima permisible requerida para  $p_1\%$  del tiempo.

*Cálculos iterativos*

Al comienzo de cada iteración hay que calcular la distancia actual para  $i = 0, 1, 2 \dots$  etc.:

$$d_i = d_{\min} + i \cdot s \quad (15)$$

Las pérdidas,  $L_{bl}(p_1)$  y  $L_{bs}(p_1)$ , en la hipótesis de que el trayecto sea totalmente terrestre (Zonas A1 o A2) o transcurra por completo por mar frío (Zona B) o mar cálido (Zona C) respectivamente, se calculan de manera sucesiva mediante las siguientes expresiones:

$$L_{bl}(p_1) = 142,8 + 20 \log f + 10 \log p_1 + 0,1 d_i \quad \text{para trayectos totalmente en Zona A1 o A2} \quad (16)$$

$$L_{bs}(p_1) = \begin{cases} \left. \begin{aligned} &49,91 \log(d_i + 1840f^{1,76}) + 1,195f^{0,393}(\log p_1)^{1,38} d_i^{0,597} \\ &+ (0,01 d_i - 70)(f - 0,1581) + (0,02 - 2 \times 10^{-5} p_1^2) d_i + 9,72 \times 10^{-9} d_i^2 p_1^2 \\ &+ 20,2 \end{aligned} \right\} \text{trayectos totalmente en Zona B} \quad (17a) \\ \left. \begin{aligned} &49,343 \log(d_i + 1840f^{1,58}) + 1,266(\log p_1)^{(0,468 + 2,598f)} d_i^{0,453} \\ &+ (0,037 d_i - 70)(f - 0,1581) + 1,95 \times 10^{-10} d_i^2 p_1^3 + 20,2 \end{aligned} \right\} \text{trayectos totalmente en Zona C} \quad (17b) \end{cases}$$

La pérdida de transmisión básica en la distancia actual viene dada por:

$$L_2(p_1) = L_{bs}(p_1) + \left[ 1 - \exp\left(-5,5 \left(\frac{d_{tm}}{d_i}\right)^{1,1}\right) \right] (L_{bl}(p_1) - L_{bs}(p_1)) \quad (18)$$

donde  $d_{tm}$  se define en el § 4.2 del Anexo 1.

### 3 Frecuencias entre 850 MHz y 60 GHz

El modelo de propagación indicado en este punto está limitado a un porcentaje de tiempo medio anual, ( $p_1$ ), comprendido en la gama de 0,001% a 50%.

Se debe seguir un proceso iterativo, como el descrito en el § 1 del Anexo 1. Se resuelven las ecuaciones (20) a (30) y a continuación, comenzando en la distancia de coordinación mínima,  $d_{\min}$ , dada por el método descrito en el § 5.1, se iteran las ecuaciones (31) a (41) para distancias  $d_i$ , donde  $i = 0, 1, 2 \dots$  etc., aumentadas en pasos adecuados. En cada iteración se considera que  $d_i$  es la distancia actual. El proceso continúa hasta que una de dos expresiones siguientes sea verdadera:

$$(L_5(p_1) \geq L_3(p_1))$$

$$\text{y} \quad (L_6(p_1) \geq L_4(p_1)) \quad (19a)$$

$$\text{o} \quad d_i \geq d_{\max 1} \quad (19b)$$

La distancia de coordinación requerida,  $d_1$ , viene dada entonces por la distancia actual de la última iteración.

El aumento de distancia recomendado,  $s$  (km), es 1 km.

Calcular la atenuación específica (dB/km) debida al aire seco:

$$\gamma_o = \begin{cases} \left[ 7,19 \times 10^{-3} + \frac{6,09}{f^2 + 0,227} + \frac{4,81}{(f - 57)^2 + 1,50} \right] f^2 \times 10^{-3} & \text{para } f \leq 56,77 \\ 10 & \text{para } f > 56,77 \end{cases} \quad (20a)$$

$$(20b)$$

La atenuación específica debida al vapor de agua viene dada en función de  $\rho$ , densidad del vapor de agua en unidades de  $\text{g/m}^3$ , por la siguiente ecuación:

$$\gamma_w(\rho) = \left( 0,050 + 0,0021\rho + \frac{3,6}{(f - 22,2)^2 + 8,5} \right) f^2 \rho \times 10^{-4} \quad (21)$$

Calcúlese la atenuación específica (dB/km) debida al vapor de agua para el modelo de propagación con dispersión troposférica con una densidad de vapor de agua de  $3,0 \text{ g/m}^3$ :

$$\gamma_{wt} = \gamma_w(3,0) \quad (22a)$$

Calcular la atenuación específica (dB/km) debida al vapor de agua para el modelo de propagación por conductos con una densidad de vapor de agua de  $7,5 \text{ g/m}^3$  en trayecto sobre tierra, Zonas A1 y A2, mediante la expresión siguiente:

$$\gamma_{wdl} = \gamma_w(7,5) \quad (22b)$$

Calcular la atenuación específica (dB/km) debida al vapor de agua para el modelo de propagación por conductos con una densidad de vapor de agua de  $10,0 \text{ g/m}^3$  en trayectos marítimos, Zonas B y C, mediante la expresión siguiente:

$$\gamma_{wds} = \gamma_w(10,0) \quad (22c)$$

Se señala que se utiliza el valor de  $10 \text{ g/m}^3$  tanto para la Zona B como para la Zona C en vista de la falta de datos sobre la variabilidad de la densidad del vapor de agua a nivel mundial, sobre todo falta de valores mínimos.

Calcular la atenuación específica de la propagación por conductos dependiente de la frecuencia (dB/km):

$$\gamma_d = 0,05 f^{1/3} \quad (23)$$

*Para el modelo de propagación por conductos*

Calcular la corrección para acoplamiento directo en conductos por encima del mar (dB):

$$A_c = \frac{-6}{(1 + d_c)} \quad (24)$$

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

$d_c$  vale cero en otros casos.

Calcular la parte de las pérdidas no dependiente de la distancia (dB):

$$A_1 = 122,43 + 16,5 \log f + A_h + A_c \quad (25)$$

Calcúlese el valor mínimo requerido de las pérdidas pendientes de la distancia (dB):

$$L_3(p_1) = L_b(p_1) - A_1 \quad (26)$$

Fijar un factor que controle un margen de tolerancia para tener en cuenta las pérdidas adicionales dependientes de la distancia y de otro tipo, incluidas las relacionadas con la altura del terreno:

$$\varepsilon = 8,5 \quad (27)$$

*Para el modelo de dispersión troposférica*

Calcular la parte de las pérdidas dependiente de la frecuencia (dB):

$$L_f = 25 \log(f) - 2,5 \left[ \log\left(\frac{f}{2}\right) \right]^2 \quad (28)$$

Calcular la parte de las pérdidas no dependiente de la distancia (dB):

$$A_2 = 187,36 + 10 \theta_h + L_f - 0,15 N_0 - 10,1 \left( -\log \left( \frac{p_1}{50} \right) \right)^{0,7} \quad (29)$$

donde:

$\theta_h$ : ángulo de elevación del horizonte de la estación terrena (grados)

$N_0$ : coíndice de refracción en la superficie a nivel del mar del centro del trayecto.

Calcular el valor mínimo requerido de las pérdidas dependientes de la distancia (dB):

$$L_4(p_1) = L_b(p_1) - A_2 \quad (30)$$

*Cálculos iterativos*

Al comienzo de cada iteración, hay que calcular la distancia actual para  $i = 0, 1, 2 \dots$  etc.:

$$d_i = d_{min} + i \cdot s \quad (31)$$

Calcular la atenuación específica debida a la absorción gaseosa (dB/km):

$$\gamma_g = \gamma_o + \gamma_{wdl} \left( \frac{d_t}{d_i} \right) + \gamma_{wds} \left( 1 - \frac{d_t}{d_i} \right) \quad (32)$$

donde  $d_t$  se define en el § 4.2 del Anexo 1.

Calcular los siguientes parámetros dependientes de la zona:

$$\tau = 1 - \exp \left[ - \left( 4,12 \times 10^{-4} d_{lm}^{2,41} \right) \right] \quad (33)$$

donde  $d_{lm}$  se define en el § 4.2 del Anexo 1.

$$\mu_1 = \left[ 10^{\frac{-d_{lm}}{16 - 6,6 \tau}} + \left[ 10^{-(0,496 + 0,354 \tau)} \right]^5 \right]^{0,2} \quad (34)$$

donde  $d_{lm}$  se define en el § 4.2 del Anexo 1.

$\mu_1$  estará limitado a  $\mu_1 \leq 1$ .

$$\sigma = -0,6 - \epsilon \times 10^{-9} d_i^{3,1} \tau \quad (35)$$

$\sigma$  estará limitado a  $\sigma \geq -3,4$ .

$$\mu_2 = \left( 2,48 \times 10^{-4} d_i^2 \right)^\sigma \quad (36)$$

$\mu_2$  estará limitado a  $\mu_2 \leq 1$ .

$$\mu_4 = \begin{cases} 10^{(-0,935 + 0,0176 \zeta_r) \log \mu_1} & \text{para } \zeta_r \leq 70^\circ \\ 10^{0,3 \log \mu_1} & \text{para } \zeta_r > 70^\circ \end{cases} \quad (37a)$$

$$\mu_4 = \begin{cases} 10^{(-0,935 + 0,0176 \zeta_r) \log \mu_1} & \text{para } \zeta_r \leq 70^\circ \\ 10^{0,3 \log \mu_1} & \text{para } \zeta_r > 70^\circ \end{cases} \quad (37b)$$

Calcular la incidencia dependiente del trayecto de la propagación por conductos,  $\beta$ , y un parámetro conexo,  $\Gamma_1$  utilizado en el cálculo de la dependencia con respecto al tiempo de la pérdida de transmisión básica:

$$\beta = \beta_p \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_4 \quad (38)$$

$$\Gamma_1 = \frac{1,076}{(2,0058 - \log \beta)^{1,012}} \exp \left[ - \left( 9,51 - 4,8 \log \beta + 0,198 (\log \beta)^2 \right) \times 10^{-6} d_i^{1,13} \right] \quad (39)$$

Calcular la parte de las pérdidas dependiente de la distancia (dB) para la propagación por conductos:

$$L_5(p_1) = (\gamma_d + \gamma_g) d_i + (1,2 + 3,7 \times 10^{-3} d_i) \log \left( \frac{p_1}{\beta} \right) + 12 \left( \frac{p_1}{\beta} \right)^{\Gamma_1} \quad (40)$$

y para la dispersión troposférica:

$$L_6(p_1) = 20 \log (d_i) + 5,73 \times 10^{-4} (112 - 15 \cos (2\zeta)) d_i + (\gamma_o + \gamma_{wt}) d_i \quad (41)$$

#### 4 Frecuencias entre 60 GHz y 105 GHz

En la banda de frecuencias de ondas milimétricas, de 60 GHz a 105 GHz, el modelo de propagación se basa en la pérdida en el espacio libre y una estimación conservadora de la absorción gaseosa, más un margen de tolerancia para mejoras de la señal en pequeños porcentajes de tiempo. Este modelo de propagación es válido para porcentajes de tiempo anuales,  $p_1$ , en la gama de 0,001% a 50%.

Se debe seguir un proceso iterativo, como el descrito en el § 1 del Anexo 1. Se resuelven las ecuaciones (43) a (47) y a continuación, comenzando en la distancia de coordinación mínima,  $d_{min}$ , dada por el método descrito en el § 5.1, se iteran las ecuaciones (48) y (49) para distancias  $d_i$ , donde  $i = 0, 1, 2 \dots$  etc., aumentadas en pasos adecuados. En cada iteración, se considera que  $d_i$  es la distancia actual.

El proceso continúa hasta que una de las dos expresiones siguientes sea verdadera:

$$L_9(p_1) \geq L_8(p_1) \quad (42a)$$

o

$$d_i \geq d_{máx1} \quad (42b)$$

La distancia de coordinación requerida,  $d_1$ , viene dada entonces por la distancia actual de la última iteración.

El aumento de distancia recomendado,  $s$  (km), es 1 km.

Calcular la absorción específica (dB/km) para aire seco en la banda de frecuencias de 60-105 GHz mediante la expresión siguiente:

$$\gamma_{om} = \begin{cases} \left[ 2 \times 10^{-4} (1 - 1,2 \times 10^{-5} f^{1,5}) + \frac{4}{(f - 63)^2 + 0,936} + \frac{0,28}{(f - 118,75)^2 + 1,771} \right] f^2 6,24 \times 10^{-4} & \text{para } f > 63,26 \text{ GHz} \quad (43a) \\ 10 \text{ dB/km} & \text{para } f \leq 63,26 \text{ GHz} \quad (43b) \end{cases}$$

Calcular la absorción del vapor de agua específica (dB/km) para un contenido de vapor de agua atmosférico de 3 g/m<sup>3</sup> mediante la expresión siguiente:

$$\gamma_{wm} = (0,039 + 7,7 \times 10^{-4} f^{0,5}) f^2 2,369 \times 10^{-4} \quad (44)$$

Calcular una estimación conservadora de la absorción gaseosa específica mediante la expresión siguiente:

$$\gamma_{gm} = \gamma_{om} + \gamma_{wm} \quad \text{dB/km} \quad (45)$$

Para la frecuencia requerida, y el valor del efecto de pantalla del terreno de la estación terrena,  $A_h$ (dB), calculado utilizando el método descrito en el § 1 de este Apéndice, calcular la parte de la pérdida de transmisión básica no dependiente de la distancia mediante la expresión siguiente:

$$L_7 = 92,5 + 20 \log(f) + A_h \quad \text{dB} \quad (46)$$

Calcular el valor mínimo requerido de las pérdidas dependientes de la distancia (dB):

$$L_8(p_1) = L_b(p_1) - L_7 \quad \text{dB} \quad (47)$$

#### Cálculos iterativos

Al comienzo de cada iteración hay que calcular la distancia actual para  $i = 0, 1, 2 \dots$  etc.:

$$d_i = d_{\min} + i \cdot s \quad (48)$$

Calcular las pérdidas dependientes de la distancia para la distancia actual:

$$L_9(p_1) = \gamma_{gm} d_i + 20 \log(d_i) + 2,6 \left[ 1 - \exp\left(\frac{-d_i}{10}\right) \right] \log\left(\frac{p_1}{50}\right) \quad (49)$$

### APÉNDICE 3

#### AL ANEXO 1

## Cálculo de la distancia de coordinación para el modo de propagación (2)

### 1 Visión general

El algoritmo que se indica más adelante permite obtener las pérdidas de transmisión,  $L_r(p_2)$  (dB), como una función monótonica de la intensidad de lluvia,  $R(p_2)$  (mm/h), con la distancia de dispersión por hidrometeoros,  $r_i$  (km), como parámetro. El procedimiento para determinar el contorno de dispersión por hidrometeoros es el siguiente:

- Se halla el valor de  $R(p_2)$ , para el porcentaje de tiempo medio anual requerido,  $p_2$  (0,001% a 10%), y la zona hidrometeorológica A a Q que corresponda.
- Se calculan los valores de  $L_r(p_2)$  para valores crecientes de  $r_i$ , comenzando en la distancia de coordinación mínima  $d_{\min}$ . El aumento de distancia recomendado,  $s$  (km), es 1 km. El valor correcto de  $r_i$  es aquel para el cual el valor correspondiente de  $L_r(p_2)$  iguala o supera la pérdida de transmisión requerida  $L(p_2)$ . A este valor de  $r_i$  se le denomina  $d_r$ .
- Si los resultados del cálculo iterativo de  $r_i$  igualan o superan la distancia máxima de cálculo apropiada ( $d_{\max 2}$ ), indicada en el Cuadro 2, se termina el cálculo y se supone que  $d_r$  tiene ese valor máximo, es decir, la iteración se detiene cuando una de las dos expresiones siguientes es verdadera:

$$L_r(p_2) \geq L(p_2) \quad (50a)$$

o

$$r_i \geq d_{\max 2} \quad (50b)$$

- El contorno de coordinación para el modo de propagación (2) es un círculo de radio  $d_r$  (km) centrado en un punto a lo largo del acimut del haz principal de la antena de la estación terrena con una distancia horizontal de  $\Delta d$  (km) desde la estación terrena.

## 2 Distancia máxima de cálculo

Según se ha visto en el § 5.2 del Anexo 1, es necesario fijar límites superiores a la distancia máxima utilizada en el cálculo iterativo de la distancia de coordinación. La distancia máxima de cálculo que se ha de utilizar para el modo de propagación (2) ( $d_{máx2}$ ) depende de la latitud y se indica en el Cuadro 2.

CUADRO 2

Distancias máximas de cálculo para el modo de propagación (2) ( $d_{máx2}$ ) (km)

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

## 3 Cálculo del contorno de coordinación para el modo de propagación (2)

Determinar  $R(p_2)$ :

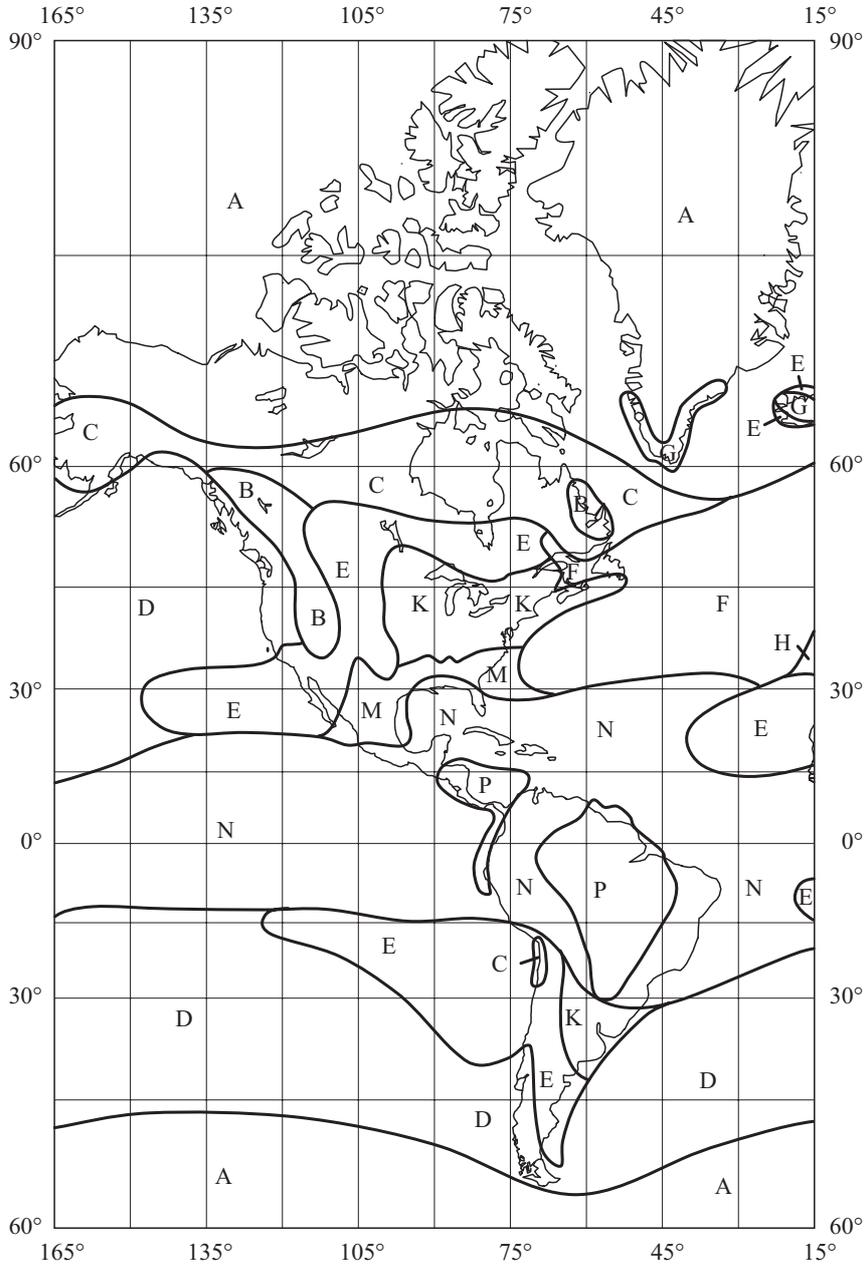
$R(p_2)$  es la intensidad de lluvia en la superficie (mm/h) superada por término medio durante el  $p_2\%$  de un año.  $p_2\%$  es el porcentaje de tiempo medio anual aplicable al modo de propagación (2).

El mundo se ha dividido en cierto número de zonas hidrometeorológicas que presentan diferentes características de precipitación (véanse las Figs. 1, 2 y 3). Las curvas presentadas en la Fig. 4 representan distribuciones consolidadas de la intensidad de lluvia, aplicable cada una de ellas a varias zonas hidrometeorológicas.

Determinar cuál es la zona hidrometeorológica apropiada para la ubicación de la estación terrena:

- Para  $0,001\% < p_2 < 0,3\%$  y la zona hidrometeorológica apropiada:  
Determinar  $R(p_2)$  a partir de la Fig. 4 o de las ecuaciones (51), (52), (53), (54) y (55).
- Para  $p_2 \geq 0,3\%$ :  
Utilizar la ecuación (56) con valores de  $R(0,3\%)$  y  $p_c$  indicados en el Cuadro 3.

FIGURA 1



0620-01

FIGURA 2

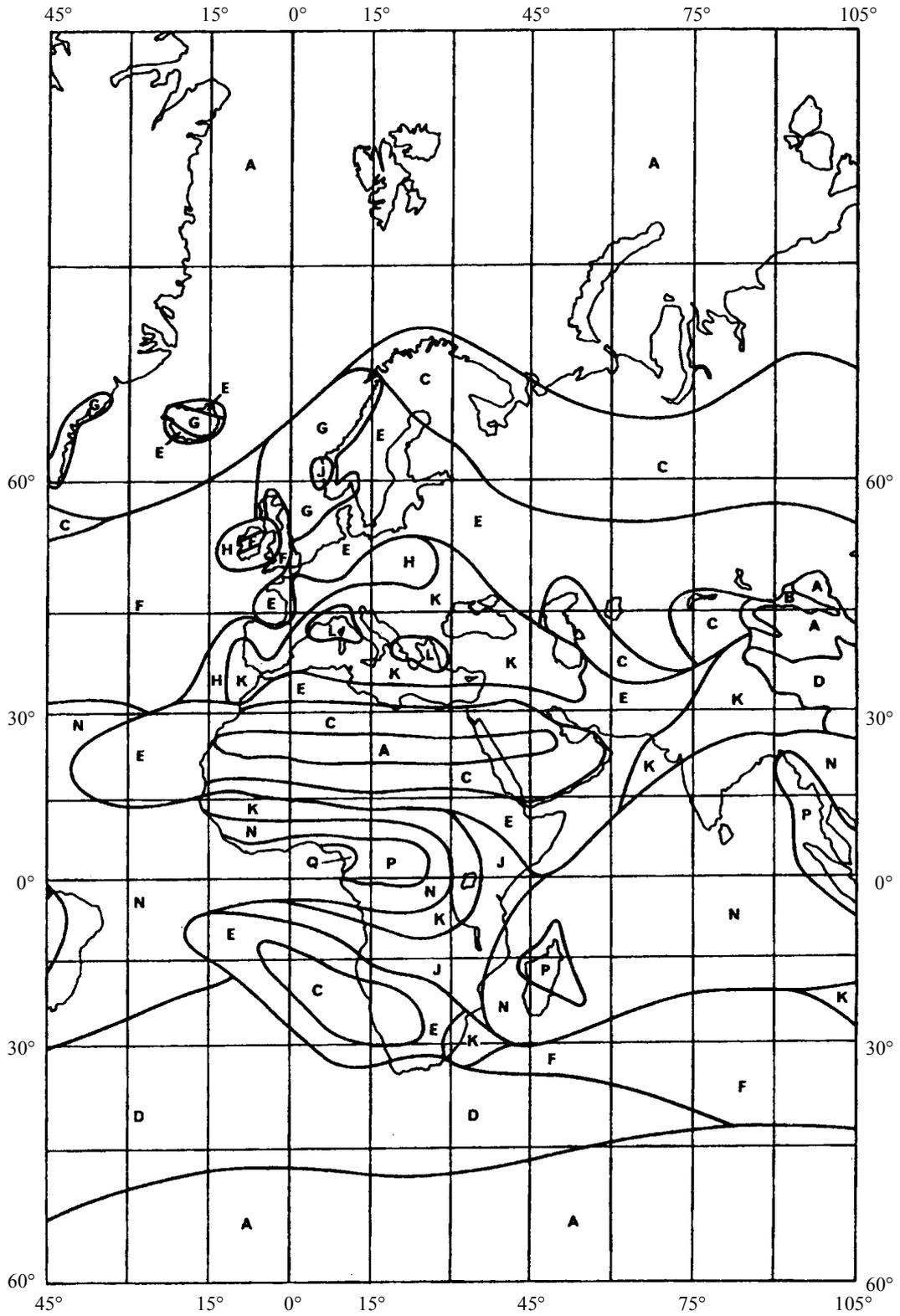


FIGURA 3

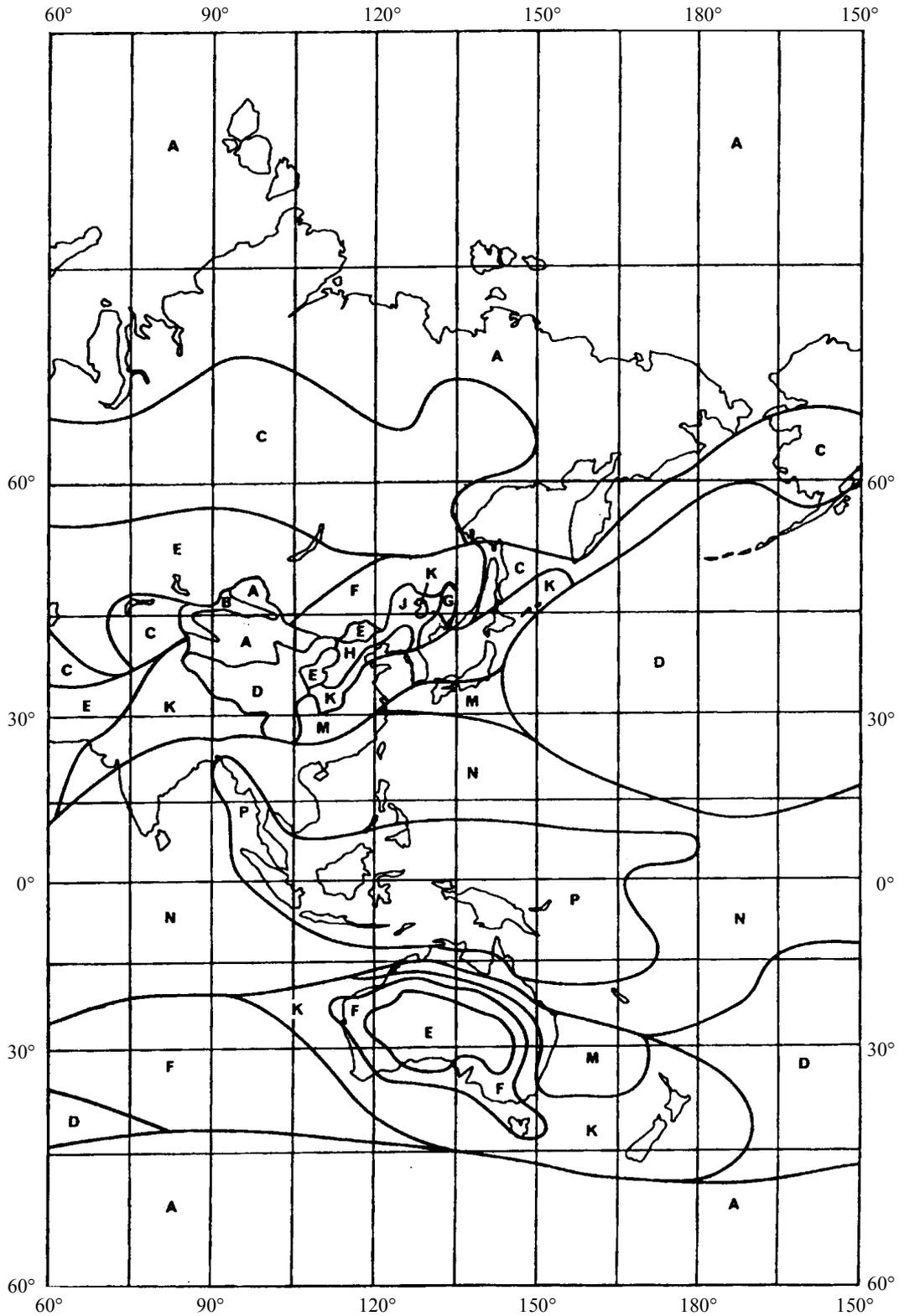
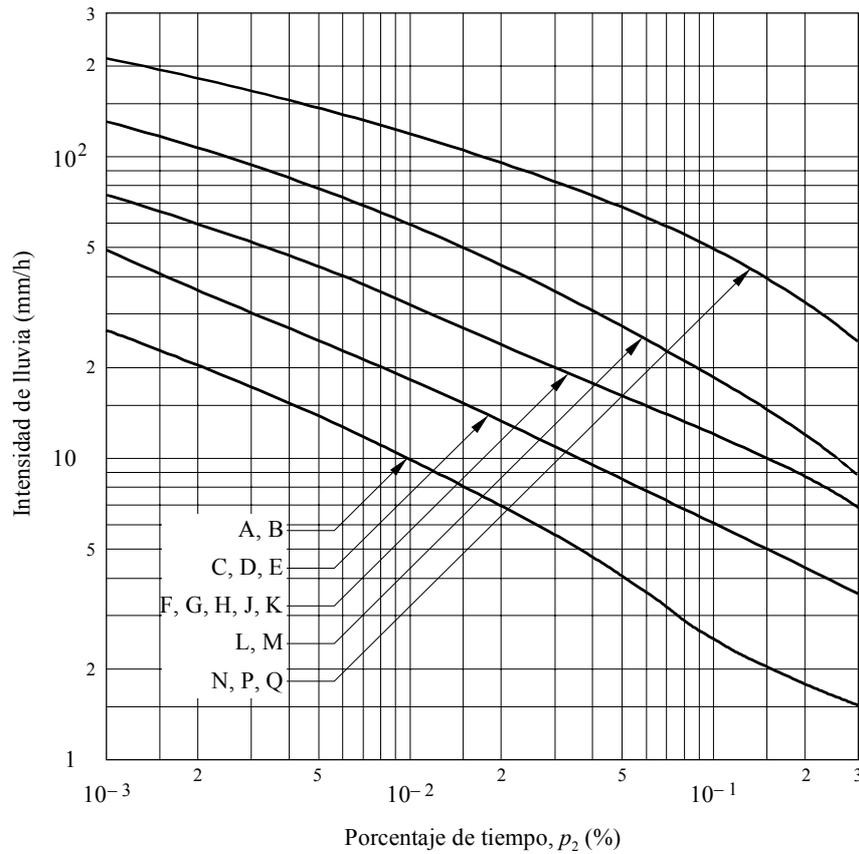


FIGURA 4

Distribuciones consolidadas acumulativas de la intensidad de lluvia para las zonas hidrometeorológicas indicadas en las Figs. 1, 2 y 3



0620-04

Zonas hidrometeorológicas A, B

$$R(p_2) = 1,1 p_2^{-0,465} + 0,25 \left[ \log(p_2/0,001) \log^3(0,3/p_2) \right] - \left[ |\log(p_2/0,1)| + 1,1 \right]^{-2} \text{ mm/h} \quad (51)$$

Zonas hidrometeorológicas C, D, E

$$R(p_2) = 2 p_2^{-0,466} + 0,5 \left[ \log(p_2/0,001) \log^3(0,3/p_2) \right] \text{ mm/h} \quad (52)$$

Zonas hidrometeorológicas F, G, H, J, K

$$R(p_2) = 4,17 p_2^{-0,418} + 1,6 \left[ \log(p_2/0,001) \log^3(0,3/p_2) \right] \text{ mm/h} \quad (53)$$

Zonas hidrometeorológicas L, M

$$R(p_2) = 4,9 p_2^{-0,48} + 6,5 \left[ \log(p_2/0,001) \log^2(0,3/p_2) \right] \text{ mm/h} \quad (54)$$

Zonas hidrometeorológicas N, P, Q

$$R(p_2) = 15,6 \left( p_2^{-0,383} + \left[ \log(p_2/0,001) \log^{1,5}(0,3/p_2) \right] \right) \text{ mm/h} \quad (55)$$

CUADRO 3

| Zona hidrometeorológica | $R(0,3\%)$<br>(mm/h) | $p_c$<br>(%) |
|-------------------------|----------------------|--------------|
| 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           |

donde  $p_c\%$  es el porcentaje de tiempo durante el cual se puede suponer que la intensidad de lluvia  $R(p_2)$  se aproxima a cero.

$$R(p_2) = R(0,3\%) \left[ \frac{\log(p_c / p_2)}{\log(p_c / 0,3)} \right]^2 \quad \text{mm/h} \quad (56)$$

Determinar la atenuación específica (dB/km) debida a la lluvia utilizando los valores de  $k$  y  $\alpha$  del Cuadro 4 en la ecuación (58). Pueden obtenerse los valores de  $k$  y  $\alpha$  a frecuencias diferentes de las indicadas en el Cuadro 4 mediante interpolación, utilizando una escala logarítmica para la frecuencia y para  $k$ , y una escala lineal para  $\alpha$ .

CUADRO 4

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

| Frecuencia<br>(GHz) | $k$      | $\alpha$ |
|---------------------|----------|----------|
| 4                   | 0,000591 | 1,075    |
| 6                   | 0,00155  | 1,265    |
| 8                   | 0,00395  | 1,31     |
| 10                  | 0,00887  | 1,264    |
| 12                  | 0,0168   | 1,20     |
| 14                  | 0,029    | 1,15     |
| 18                  | 0,055    | 1,09     |
| 20                  | 0,0691   | 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    |

Sea:

$$R = R(p_2) \quad (57)$$

La atenuación específica (dB/km) debida a la lluvia viene dada entonces por:

$$\gamma_R = k R^\alpha \quad (58)$$

Sea:

$$d_s = 3,5 R^{-0,08} \quad (59)$$

$$C = \frac{2,17}{\gamma_R d_s} \left( 1 - 10^{\frac{-\gamma_R d_s}{5}} \right) \quad (60)$$

$$\Gamma_2 = 631 k R^{(\alpha - 0,5)} \times 10^{-(R + 1)^{0,19}} \quad (61)$$

Determinar la altura media de la lluvia por encima del terreno,  $h_R$  (km):

Para América del Norte y Europa occidental hasta 60° E de longitud:

$$h_R = 3,2 - 0,075 (\zeta - 35) \quad \text{para} \quad 35 \leq \zeta \leq 70 \quad (62)$$

Para todas las demás zonas del mundo:

$$h_R = \begin{cases} 5 - 0,075 (\zeta - 23) & \text{para} \quad \zeta > 23 \text{ Hemisferio Norte} & (63a) \\ 5 & \text{para} \quad 0 \leq \zeta \leq 23 \text{ Hemisferio Norte} & (63b) \\ 5 & \text{para} \quad 0 \geq \zeta \geq -21 \text{ Hemisferio Sur} & (63c) \\ 5 + 0,1 (\zeta + 21) & \text{para} \quad -71 \leq \zeta < -21 \text{ Hemisferio Sur} & (63d) \\ 0 & \text{para} \quad \zeta < -71 \text{ Hemisferio Sur} & (63e) \end{cases}$$

Determinar la atenuación específica debida a la absorción del vapor de agua (se utiliza una densidad de vapor de agua de 7,5 g/m<sup>3</sup>):

$$\gamma_{wr} = \left[ 0,06575 + \frac{3,6}{(f - 22,2)^2 + 8,5} \right] f^2 7,5 \times 10^{-4} \quad (64)$$

Fijar la ganancia de la antena de la estación terrenal (se supone que es de 42 dBi):

$$G_T = 42 \quad (65)$$

### Cálculos iterativos

Efectuar el cálculo iterativo aumentando los valores de  $r_i$ , siendo  $r_i$  la distancia actual (km) entre la región de dispersión máxima y la posible ubicación de la estación terrenal e  $i = 0, 1, 2 \dots$  etc.:

$$r_i = d_{min} + i \cdot s \quad (66)$$

Determinar la pérdida por encima de la capa de fusión,  $E$  (dB), aplicable al acoplamiento por dispersión:

$$E = \begin{cases} 6,5 \left[ 6 (r_i - 50)^2 \times 10^{-5} - h_R \right] & \text{para } 6 (r_i - 50)^2 \times 10^{-5} > h_R & (67a) \\ 0 & \text{para } 6 (r_i - 50)^2 \times 10^{-5} \leq h_R & (67b) \end{cases}$$

Sea:

$$10 \log A_b = \begin{cases} 0,005 (f - 10)^{1,7} R^{0,4} & \text{para } 10 \text{ GHz} < f < 40 \text{ GHz} & (68a) \\ 0 & \text{para } f \leq 10 \text{ GHz o cuando } E \neq 0 & (68b) \end{cases}$$

$$y \quad d_o = \begin{cases} 0,7 r_i + 32 & \text{para } r_i < 340 \text{ km} & (69a) \\ 270 & \text{para } r_i \geq 340 \text{ km} & (69b) \end{cases}$$

$$y \quad d_v = \begin{cases} 0,7 r_i + 32 & \text{para } r_i < 240 \text{ km} & (70a) \\ 200 & \text{para } r_i \geq 240 \text{ km} & (70b) \end{cases}$$

Determinar la pérdida de trayecto del modo de propagación (2),  $L_r$  (dB):

$$L_r = 168 + 20 \log r_i - 20 \log f - 13,2 \log R - G_T + \\ + 10 \log A_b - 10 \log C + \Gamma_2 + E + \gamma_o d_o + \gamma_{wr} d_v \quad (71)$$

donde  $\gamma_o$  viene dada por la ecuación (20).

Para determinar el centro del contorno de coordinación (circular) del modo de propagación (2), es necesario calcular la distancia horizontal desde este punto hasta la estación terrena a lo largo del acimut del haz principal de la antena de la estación terrena. Esta distancia horizontal,  $\Delta d$  (km), está dada por:

$$\Delta d = \frac{h_R}{2 \operatorname{tg} \varepsilon_s} \quad (72)$$

donde  $\varepsilon_s$  es el ángulo de elevación del haz principal de la antena de la estación terrena (grados) y  $\Delta d$  se limitará a la distancia  $(d_r - 50)$  para asegurar que el emplazamiento de la estación terrena no está fuera del contorno de coordinación del modo de propagación (2) para valores pequeños de  $\varepsilon_s$ .

Trazar un círculo de radio  $d_r$  (km). El contorno de coordinación de la dispersión por hidrometeoros (contorno de coordinación del modo de propagación (2)) es el lugar geométrico de los puntos de este círculo limitados por las distancias de coordinación mínima y máxima.

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.

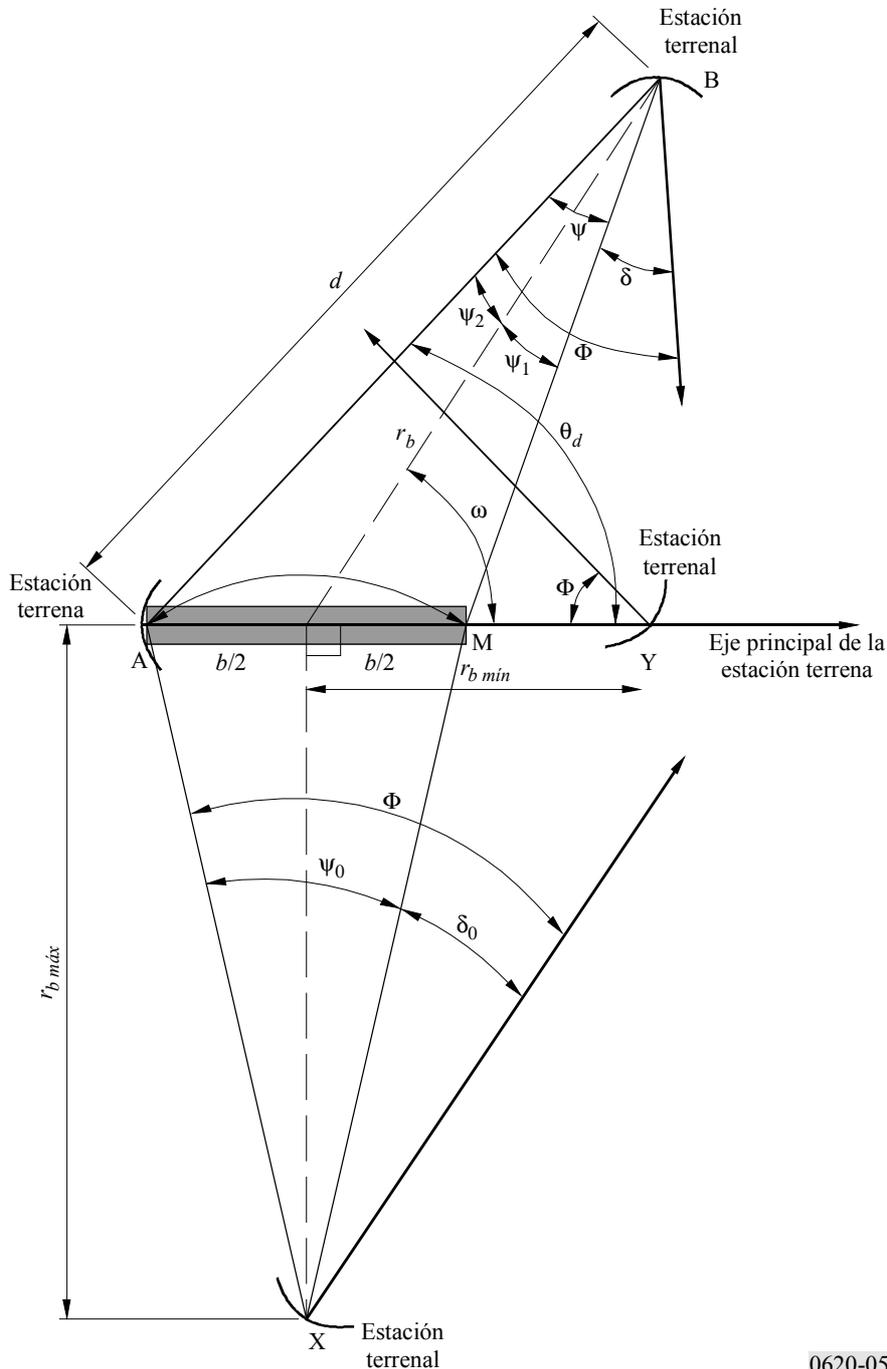
## 4 Cálculo de los contornos auxiliares para el modo de propagación (2)

### 4.1 Visión general

En la Fig. 5 se 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, definidas por la ecuación (72), respectivamente y M es la extensión horizontal máxima del volumen común potencial. La zona sombreada de la Fig. 5 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, dará lugar a 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 la altura de lluvia,  $h_R$ , 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,  $\Phi$ , es la suma de esos dos ángulos  $\psi$  y  $\delta$  y este valor  $\Phi$  permanecerá fijo a lo largo de su propio contorno auxiliar.

FIGURA 5  
Geometría de propagación en el plano horizontal



0620-05

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,  $\omega$ , y obteniendo los correspondientes valores  $r_b$ , a medida que  $\omega$  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 terrena es cuando  $\omega = 0$  (posición Y), en cuyo punto el ángulo de protección alcanza su máximo. La distancia desde el centro del volumen común hasta la estación terrena es entonces mínima, denominada  $r_{b\ min}$  en la Figura. En el otro extremo, cuando  $\omega = 90^\circ$  (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.

## 4.2 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  $\Phi$ .

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

$$\delta_{0\ min} = 1,0^\circ$$

$$\delta_{0\ máx} = 48,0^\circ$$

- Determinar la distancia horizontal,  $b$  (km), entre la estación terrena y el volumen común más distante posible:

$$b = h_R \cotg \epsilon_s \quad (73)$$

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

- Calcular el valor de  $\delta_0$  que corresponde al  $\Phi$  elegido como sigue:

- a) Tomar  $\delta_0 = \delta_{0\ min}$ .
- b) Calcular la ganancia del lóbulo lateral del transmisor para este ángulo  $\delta_0$  con respecto al eje de puntería, utilizando el diagrama de referencia de antenas que figura en el Apéndice 4.
- c) Utilizar la ganancia resultante en lugar del parámetro  $G_T$  en la ecuación (71) y obtener así la distancia máxima para el contorno auxiliar,  $r_{b\ máx}$ , asociado al umbral de pérdidas de transmisión requerido.
- d) Calcular  $\psi_0$  mediante la expresión siguiente:

$$\psi_0 = 2 \operatorname{arc\,tg} \left( \frac{b/2}{r_{b\ máx}} \right) \quad (74)$$

- e) Calcular el ángulo de evitación,  $\Phi'$ , para el  $\delta_0$  seleccionado, mediante la expresión siguiente:

$$\Phi' = \psi_0 + \delta_0 \quad (75)$$

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

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

- Obtener  $r_{b\ mín}$  como sigue:

- a) calcular la ganancia del lóbulo lateral de la antena para el valor de  $\Phi$  arriba indicado utilizando el diagrama de referencia de antenas que figura en el Apéndice 4;
- b) utilizar esa ganancia del lóbulo lateral en lugar del parámetro  $G_T$  en la ecuación (71) para calcular la distancia del contorno auxiliar asociado al umbral de pérdidas de transmisión requerido. Esta distancia es  $r_{b\ mín}$ .

- Generar el contorno para valores de  $\omega$  de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  en pasos de  $1^\circ$ , como sigue:

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

- b) Calcular  $\psi$  a partir de:

$$\psi_1 = \operatorname{arc\,tg} \left( \frac{b \operatorname{sen} \omega}{2r_b - b \operatorname{cos} \omega} \right) \quad (76)$$

$$\psi_2 = \operatorname{arc\,tg} \left( \frac{b \operatorname{sen} \omega}{2r_b + b \operatorname{cos} \omega} \right) \quad (77)$$

$$\psi = \psi_1 + \psi_2 \quad (78)$$

- c) Calcular  $\delta = \Phi - \psi$ .

- d) Calcular  $G(\delta)$  utilizando el diagrama de referencia de antenas que figura en el Apéndice 4.

- e) Utilizando la ganancia del lóbulo lateral resultante,  $G(\delta)$ , en lugar del parámetro  $G_T$  en la ecuación (71) calcular la distancia,  $r'_b$ , para el umbral de pérdidas de transmisión requerido.
- f) Si  $|r'_b - r_b| < 0,5$  km, se tendrá el valor deseado.  
Si no, se da un nuevo valor a  $r_b$ :

$$r_b = 0,5 (r_b + r_{b\text{máx}}) \quad \text{para} \quad r'_b > r_b \quad (79)$$

$$r_b = 0,5 (r_b + r_{b\text{mín}}) \quad \text{para} \quad r'_b \leq r_b \quad (80)$$

y se repiten los Pasos b) a f).

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

$$d = 0,5 b \text{ sen } \omega / \text{ sen } \psi_2 \quad (81)$$

$$\theta_d = \text{arc sen } (r_b \text{ sen } \psi_2 / 0,5 b) \quad \text{para} \quad (d^2 - r_b^2 + 0,25 b^2) / (b d) > 0 \quad (82)$$

$$\theta_d = \pi - \text{arc sen } (r_b \text{ sen } \psi_2 / 0,5 b) \quad \text{para} \quad (d^2 - r_b^2 + 0,25 b^2) / (b d) \leq 0 \quad (83)$$

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

$$r_b(\omega) = r_b(-\omega) = r_b(360^\circ - \omega) \quad (84)$$

#### APÉNDICE 4

#### AL ANEXO 1

### **Diagramas de radiación de referencia de antenas de sistemas de radioenlaces con visibilidad directa para utilizarlos en los estudios de coordinación y en la evaluación de la interferencia en la gama de frecuencias de 1 GHz a unos 40 GHz**

Este Apéndice da un diagrama de radiación de referencia de antenas de sistemas de radioenlaces con visibilidad directa para utilizarlo en los cálculos de coordinación del modo de propagación (2) cuando no se dispone del diagrama de antena real.

Es esencial hacer todo lo posible por utilizar el diagrama de antena real en los estudios de coordinación y en la evaluación de la interferencia, pero, si no se dispone de él, deberá adoptarse el diagrama de radiación de referencia siguiente para las frecuencias comprendidas en la gama de 1 GHz a 40 GHz:

- a) Cuando la relación entre el diámetro de la antena y la longitud de onda sea superior a 100, se emplearán las ecuaciones siguientes:

$$G(\varphi) = G_{\text{máx}} - 2,5 \times 10^{-3} \left( \frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 \quad \text{para} \quad 0 < \varphi < \varphi_m \quad (85)$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{para} \quad \varphi_m \leq \varphi < \varphi_r \quad (86)$$

$$G(\varphi) = 32 - 25 \log \varphi \quad \text{para} \quad \varphi_r \leq \varphi < 48^\circ \quad (87)$$

$$G(\varphi) = -10 \quad \text{para} \quad 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \quad (88)$$

$$G_1 = 2 + 15 \log \left( \frac{D}{\lambda} \right) \quad (89)$$

$$\varphi_m = \frac{20\lambda}{D} \sqrt{G_{m\acute{a}x} - G_1} \quad (90)$$

$$\varphi_r = 15,85 \left( \frac{D}{\lambda} \right)^{-0,6} \quad (91)$$

- b) Cuando la relación entre el diámetro de la antena y la longitud de onda sea inferior o igual a 100, se emplearán las ecuaciones siguientes (véanse las Notas 6 y 7):

$$G(\varphi) = G_{m\acute{a}x} - 2,5 \times 10^{-3} \left( \frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 \quad \text{para} \quad 0 < \varphi < \varphi_m \quad (92)$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{para} \quad \varphi_m \leq \varphi < 100 \frac{\lambda}{D} \quad (93)$$

$$G(\varphi) = 52 - 10 \log \frac{D}{\lambda} - 25 \log \varphi \quad \text{para} \quad 100 \frac{\lambda}{D} \leq \varphi < 48^\circ \quad (94)$$

$$G(\varphi) = 10 - 10 \log \frac{D}{\lambda} \quad \text{para} \quad 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \quad (95)$$

- c) En los casos en que sólo se conozca la ganancia máxima de la antena, la relación  $D/\lambda$  puede calcularse a partir de la expresión siguiente:

$$20 \log \frac{D}{\lambda} \approx G_{m\acute{a}x} - 7,7 \quad (96)$$

donde  $G_{m\acute{a}x}$  es la ganancia de la antena en la dirección del lóbulo principal (dBi).

- d) En los casos en que sólo se conozcan las anchuras de haz a potencia mitad de la antena:  $D/\lambda$  (expresado en la misma unidad) se puede estimar a partir de la expresión siguiente:

$$D/\lambda \approx 69,3 / \theta_{bw} \quad (97)$$

donde  $\theta_{bw}$  es la anchura de haz a potencia mitad (-3 dB) (grados);

$G_{m\acute{a}x}$  puede estimarse aproximadamente mediante la expresión:

$$G_{m\acute{a}x} \text{ (dBi)} \approx 44,5 - 20 \log \theta_{bw} \quad (98)$$

NOTA 1 – Es esencial hacer todo lo posible por utilizar el diagrama de antena real en los estudios de coordinación y en la evaluación de la interferencia.

NOTA 2 – Hay que señalar que el diagrama de radiación de una antena real puede ser peor que el diagrama de radiación de referencia para cierta gama de ángulos (véase la Nota 3); por consiguiente, no debe interpretarse que el diagrama de radiación de referencia de este Apéndice establece el límite máximo para los diagramas de radiación de las antenas de sistemas de relevadores radioeléctricos existentes o planificados.

NOTA 3 – Debe utilizarse con prudencia el diagrama de radiación de referencia en cierta gama de ángulos para los que un sistema de alimentación de que se trate puede provocar niveles relativamente elevados de desbordamiento.

NOTA 4 – Los diagramas de referencia de a) y b) sólo son aplicables a una sola polarización (horizontal o vertical). Se están estudiando diagramas de referencia para dos polarizaciones (horizontal y vertical).

NOTA 5 – El diagrama de radiación de referencia de este Apéndice sólo es válido para antenas rotacionalmente simétricas. El diagrama de radiación de referencia de antenas con aperturas asimétricas requiere nuevo estudio. Para estas antenas los anteriores diagramas de referencia deben considerarse válidos provisionalmente.

NOTA 6 – Para más información en la Recomendación UIT-R F.1245 figura un modelo matemático de diagramas de radiación media para su utilización en ciertos estudios de coordinación y para el cálculo de la interferencia.

NOTA 7 – Se necesitan estudios ulteriores para asegurar que se siguen desarrollando los diagramas de radiación de referencia, a efectos de tener en cuenta los progresos logrados en el diseño de antenas.

NOTA 8 – Aunque en general son aplicables, los diagramas de referencia de a) y b) no modelan adecuadamente algunas antenas prácticas del servicio fijo, y deben tratarse con cuidado en una gama de ángulos de 5° a 70° (véanse también las Notas 2 y 3).

## APÉNDICE 5

### AL ANEXO 1

### Parámetros de entrada y derivados

A lo largo de la presente Recomendación, los parámetros son en algunos casos parámetros de entrada y en otros parámetros derivados. El estatus de los parámetros (de entrada o derivados) se indica en el Cuadro 5 y se define como sigue:

- *De entrada:* Un parámetro de entrada es aquel cuyo valor no se da en, ni se puede obtener a partir de esta Recomendación, por ejemplo, la frecuencia, la latitud de la estación terrena, etc.
- *Derivado:* Un parámetro derivado es aquel cuyo valor se obtiene a partir de, se define (por ejemplo, una constante) o se calcula en esta Recomendación, por ejemplo, la intensidad de lluvia en superficie,  $R(p)$  (mm/h) (obtenida a partir de mapas y gráficos),  $d_{máx2}$  (obtenida a partir del Cuadro 5), la distancia de coordinación para el modo de propagación (1),  $d_1$  (km) (calculada) etc.

La definición y ubicación de los parámetros marcados con un asterisco (\*) se da en el Cuadro 1.

CUADRO 5

#### Definición de términos

| Parámetro | Unidades | Definición  | Definido en                                    | Estatus  |
|-----------|----------|---|--|----------|
| $A_c$     | dB       | Una corrección para acoplamiento directo en conductos por encima del mar  | Ecuación (24)                                  | Derivado |
| $A_d$     | dB       | La corrección para distancia al horizonte a lo largo de cada acimut desde una estación terrena  | Ecuación (10)                                  | Derivado |
| $A_h$     | dB       | La pérdida total debida al efecto de pantalla del terreno a lo largo de cada acimut desde una estación terrena  | Ecuaciones (11a) a (11c)<br>§ 1 del Apéndice 2 | Derivado |
| $b$       | km       | La distancia horizontal entre la estación terrena y el volumen común más distante posible, utilizada para calcular los contornos auxiliares del modo de propagación (2) | Ecuación (73)                                  | Derivado |
| $C$       | –        | Transformación de la dispersión efectiva utilizada en el modo de propagación (2)  | Ecuación (60)                                  | Derivado |
| $d$       | km       | La distancia desde la estación terrena a un punto del contorno auxiliar, utilizada para calcular los contornos auxiliares del modo de propagación (2)                   | Ecuación (81)<br>§ 4.1 y 4.2 del Apéndice 3    | Derivado |
| $d_1$     | km       | La distancia de coordinación para el modo de propagación (1)  | § 2, 3 y 4 del Apéndice 2                      | Derivado |

CUADRO 5 (Continuación)

| Parámetro  | Unidades | Definición   | Definido en                           | Estatus    |
|------------|----------|--|---------------------------------------|------------|
| $d_c$      | km       | *  | *                                     | De entrada |
| $d_h$      | km       | *  | *                                     | De entrada |
| $d_i$      | km       | La distancia actual desde la estación terrena utilizada en el cálculo iterativo de la distancia de coordinación para el modo (1)                     | Ecuaciones (15), (31) y (48)          | Derivado   |
| $d_{lm}$   | km       | *  | *                                     | De entrada |
| $d_{máx1}$ | km       | La distancia máxima de cálculo para el modo de propagación (1)   | § 5.2                                 | Derivado   |
| $d_{máx2}$ | km       | La distancia máxima de cálculo para el modo de propagación (2)   | Cuadro 2                              | Derivado   |
| $d_{mín}$  | km       | La distancia mínima de coordinación tanto para el modo de propagación (1) como para el modo de propagación (2)                                       | Ecuaciones (5a) a (5f)                | Derivado   |
| $d'_{mín}$ | km       | La distancia mínima de coordinación para bajas frecuencias   | Ecuación (4)                          | Derivado   |
| $d_0, d_v$ | km       | Distancias utilizadas en la determinación de la distancia de coordinación para el modo (2)   | Ecuaciones (69a), (69b) (70a) y (70b) | Derivado   |
| $d_r$      | km       | La distancia desde la estación terrena a la que la pérdida iguala o supera la pérdida de transmisión requerida para el modo de propagación (2)       | § 1 del Apéndice 3                    | Derivado   |
| $d_s$      | km       | La longitud del trayecto oblicuo dentro de la célula de lluvia   | Ecuación (59)                         | Derivado   |
| $d_t$      | km       | *  | *                                     | De entrada |
| $d_{tm}$   | km       | *  | *                                     | De entrada |
| $D$        | m        | *  | *                                     | De entrada |
| $E$        | dB       | La pérdida para alturas por encima de la capa de fusión, aplicables al acoplamiento por dispersión   | Ecuaciones (67a) y (67b)              | Derivado   |
| $f$        | GHz      | *  | *                                     | De entrada |
| $G(\phi)$  | dB       | La ganancia de antena en un ángulo $\phi$ con relación al eje determinado a partir del diagrama de radiación de referencia de la antena (Apéndice 4) | Ecuaciones (85) a (88), (92) a (95)   | Derivado   |
| $G_L$      |          | Un término utilizado en la conversión de porcentaje de tiempo para el mes más desfavorable en porcentaje de tiempo anual                             | Ecuaciones (7a) y (7b)                | Derivado   |
| $G_1$      | dB       | La ganancia del primer lóbulo lateral de la antena determinada a partir del diagrama de radiación de referencia de la antena (Apéndice 4)            | Ecuación (89)                         | Derivado   |
| $G_{máx}$  | dB       | *  | *                                     | De entrada |
| $G_T$      | dB       | *  | *                                     | De entrada |
| $h_R$      | km       | La altura de lluvia efectiva por encima del terreno  | Ecuaciones (62) y (63a) a (63e)       | Derivado   |
| $L_b(p_1)$ | dB       | *  | *                                     | De entrada |
| $L_b(p_2)$ | dB       | *  | *                                     | De entrada |

CUADRO 5 (Continuación)

| Parámetro  | Unidades   | Definición  | Definido en  | Estatus    |
|--|--|---|--|------------|
| $L_{bl}(p_1)$  | dB   | Una pérdida aplicable a un trayecto que se supone es totalmente terrestre (Zona A1 o A2), utilizada en el cálculo iterativo de la distancia de coordinación para el modo de propagación (1)                               | Ecuación (16)  | Derivado   |
| $L_{bs}(p_1)$  | dB   | Una pérdida aplicable a un trayecto que se supone es totalmente marítimo de mar fría (Zona B) o de mar cálida (Zona C), utilizada en el cálculo iterativo de la distancia de coordinación para el modo de propagación (1) | Ecuaciones (17a) y (17b)   | Derivado   |
| $L_1(p_1)$<br>$L_2(p_1)$<br>$L_3(p_1)$<br>$L_4(p_1)$<br>$L_5(p_1)$<br>$L_6(p_1)$<br>$L_7(p_1)$<br>$L_8(p_1)$<br>$L_9(p_1)$ | dB<br>dB<br>dB<br>dB<br>dB<br>dB<br>dB<br>dB<br>dB | Pérdidas utilizadas en el cálculo iterativo de la distancia de coordinación para el modo de propagación (1)   | Ecuaciones (14), (18), (26), (30), (40), (41), (46), (47) y (49) | Derivado   |
| $L_f$  | dB   | Una pérdida que depende de la frecuencia, utilizada en el cálculo de la distancia de coordinación para el modo de propagación (1)   | Ecuación (28)  | Derivado   |
| $L_r$  | dB   | La pérdida de transmisión, obtenida como una función monótonica de la intensidad de lluvia ( $R$ ), utilizada en la determinación de la distancia de coordinación para el modo de propagación (2)                         | Ecuación (71)  | Derivado   |
| $N_0$  | –  | El índice de refracción en la superficie a nivel del mar del centro del trayecto  | Ecuación (3)   | Derivado   |
| $p_c$  | %  | El porcentaje de tiempo en el que se puede suponer que la intensidad de lluvia $R(p)$ se aproxima a cero.   | Ecuación (56)<br>Cuadro 3  | Derivado   |
| $p_1$  | %  | *   | *  | De entrada |
| $p_{w1}$   | %  | *   | *  | De entrada |
| $p_2$  | %  | *   | *  | De entrada |
| $p_{w2}$   | %  | *   | *  | De entrada |
| $R(p_2)$   | mm/h   | La intensidad de lluvia en superficie que se supera por término medio un $p_2\%$ de un año, utilizada en los cálculos del modo de propagación (2)   | Ecuaciones (51) a (56)   | Derivado   |
| $r_b$  | km   | La distancia desde el centro del volumen común al contorno auxiliar, utilizada en el cálculo de los contornos auxiliares para el modo de propagación (2)  | Ecuaciones (79), (80) y (84)<br>§ 4.1 y 4.2 del Apéndice 3       | Derivado   |
| $r_b \text{ máx}$  | km   | El valor máximo de $r_b$ que se produce para $\omega = 90^\circ$  | § 4.1 del Apéndice 3   | Derivado   |
| $r_b \text{ mín}$  | km   | El valor mínimo de $r_b$ que se produce para $\omega = 0^\circ$   | § 4.1 del Apéndice 3   | Derivado   |
| $r_i$  | km   | La distancia actual entre la región de dispersión máxima y la posible ubicación de una estación terrenal, utilizada en el cálculo iterativo de la distancia de coordinación para el modo de propagación (2)               | Ecuaciones (66) y (67)   | Derivado   |
| $s$  | km   | *   | *  | De entrada |

CUADRO 5 (Continuación)

| Parámetro       | Unidades | Definición   | Definido en                | Estatus    |
|-----------------|----------|--|----------------------------|------------|
| $\alpha$        | –        | El índice utilizado en la relación $\gamma_R = k R^\alpha$ para la atenuación específica debida a la lluvia  | Cuadro 4                   | Derivado   |
| $\beta_p$       | %        | La incidencia relativa de las condiciones anómalas de propagación con cielo despejado  | Ecuaciones (2a) y (2b)     | Derivado   |
| $\Delta d$      | km       | La distancia de un punto a lo largo del acimut del haz de la estación terrena que se ha de utilizar como centro del contorno de coordinación (circular) del modo de propagación (2)  | Ecuación (72)              | Derivado   |
| $\delta$        | grados   | El ángulo de protección mínimo requerido, utilizado en el cálculo de los contornos auxiliares para el modo de propagación (2) (véase el § 4.2 del Apéndice 3)  | § 4.1 y 4.2 del Apéndice 3 | Derivado   |
| $\varepsilon$   | –        | $\varepsilon$ es un margen de tolerancia para pérdidas adicionales dependientes de la distancia y de otro tipo, incluidas las asociadas a la altura del terreno  | Ecuación (27)              | Derivado   |
| $\varepsilon_s$ | grados   | *  | *                          | De entrada |
| $\varphi$       | grados   | *  | *                          | De entrada |
| $\varphi_r$     | grados   | Un desplazamiento angular con respecto al eje del haz principal de la antena utilizado en el diagrama de radiación de referencia de antenas (Apéndice 4)   | Ecuación (91)              | Derivado   |
| $\varphi_m$     | grados   | Un desplazamiento angular con respecto al eje del haz principal de la antena utilizado en el diagrama de radiación de referencia de antenas (Apéndice 4)   | Ecuación (90)              | Derivado   |
| $\Gamma_1$      | –        | Un término utilizado en el cálculo iterativo de la distancia de coordinación para el modo de propagación (1)   | Ecuación (39)              | Derivado   |
| $\Gamma_2$      | dB       | Un término utilizado en el cálculo de la distancia de coordinación para el modo de propagación (2)   | Ecuación (61)              | Derivado   |
| $\gamma_d$      | dB/km    | Un término de atenuación específica, utilizado en el cálculo iterativo de la distancia de coordinación para el modo de propagación (1)   | Ecuación (23)              | Derivado   |
| $\gamma_g$      | dB/km    | La atenuación específica debida a la absorción gaseosa   | Ecuación (32)              | Derivado   |
| $\gamma_{gm}$   | dB/km    | La atenuación específica debida a la absorción gaseosa utilizada en la gama de frecuencias de 60 GHz a 105 GHz   | Ecuación (45)              | Derivado   |
| $\gamma_o$      | dB/km    | La atenuación específica debida al aire seco   | Ecuación (20)              | Derivado   |
| $\gamma_{om}$   | dB/km    | La atenuación específica debida al aire seco utilizada en la gama de frecuencias de 60 GHz a 105 GHz   | Ecuaciones (43a) y (43b)   | Derivado   |
| $\gamma_R$      | dB/km    | La atenuación específica debida a la lluvia  | Ecuación (58)              | Derivado   |
| $\gamma_w$      | dB/km    | La atenuación específica debida al vapor de agua   | Ecuación (21)              | Derivado   |
| $\gamma_{wdl}$  | dB/km    | La atenuación específica debida a la absorción del vapor de agua, utilizada en el modelo de propagación por conductos para trayectos sobre tierra, Zona A1 y Zona A2 (se utiliza una densidad de vapor de agua de 7,5 g/m <sup>3</sup> ) | Ecuación (22b)             | Derivado   |
| $\gamma_{wds}$  | dB/km    | La atenuación específica debida a la absorción del vapor de agua, utilizada en el modelo de propagación por conductos para trayectos sobre el mar, Zona B y Zona C (se utiliza una densidad de vapor de agua de 10,0 g/m <sup>3</sup> )  | Ecuación (22c)             | Derivado   |

CUADRO 5 (Fin)

| Parámetro     | Unidades         | Definición  | Definido en  | Estatus    |
|---------------|------------------|---|--|------------|
| $\gamma_{wr}$ | dB/km            | La atenuación específica debida a la absorción del vapor de agua, utilizada en el modelo de dispersión por hidrometeoros (se utiliza una densidad de vapor de agua de 7,5 g/m <sup>3</sup> )                            | Ecuación (64)  | Derivado   |
| $\gamma_{wt}$ | dB/km            | La atenuación específica debida a la absorción del vapor de agua, utilizada en el modelo de propagación por dispersión troposférica (se utiliza una densidad de vapor de agua de 3 g/m <sup>3</sup> )                   | Ecuación (22a)                                       | Derivado   |
| $\gamma_{wm}$ | dB/km            | La atenuación específica debida a la absorción del vapor de agua, utilizada en la gama de frecuencias de 60 GHz a 105 GHz (se utiliza una densidad de vapor de agua de 3 g/m <sup>3</sup> )                             | Ecuación (44)  | Derivado   |
| $\varphi$     | grados           | *   | *  | De entrada |
| $k$           | dB/km            | El coeficiente utilizado en la relación $\gamma_R = k R^\alpha$ para la atenuación específica debida a la lluvia  | Cuadro 4   | Derivado   |
| $\lambda$     | m                | *   | *  | De entrada |
| $\mu_1$       | –                | Un parámetro que depende del grado en que el trayecto está sobre tierra (tierra adentro y/o costa) y agua, utilizado en el cálculo iterativo de la distancia de coordinación para el modo de propagación (1)            | Ecuación (34)  | Derivado   |
| $\mu_2$       | –                | Un parámetro utilizado en el cálculo iterativo de la distancia de coordinación para el modo de propagación (1)  | Ecuación (36)  | Derivado   |
| $\mu_4$       | –                | Un parámetro utilizado en el cálculo iterativo de la distancia de coordinación para el modo de propagación (1)  | Ecuaciones (37a) y (37b)                             | Derivado   |
| $\theta_d$    | grados           | El acimut en relación con la dirección del haz principal desde la estación terrena a un punto del contorno auxiliar, utilizado en el cálculo de los contornos auxiliares para el modo de propagación (2)                | Ecuaciones (82) y (83)<br>§ 4.1 y 4.2 del Apéndice 3 | Derivado   |
| $\theta_h$    | grados           | *   | *  | De entrada |
| $\theta_{bw}$ | grados           | *   | *  | De entrada |
| $\rho$        | g/m <sup>3</sup> | *   | *  | De entrada |
| $\tau$        | –                | Un parámetro utilizado en el cálculo iterativo de la distancia de coordinación para el modo de propagación (1)  | Ecuación (33)  | Derivado   |
| $\omega$      | grados           | *   | *  | De entrada |
| $\psi$        | grados           | *   | *  | De entrada |
| $\zeta$       | grados           | *   | *  | De entrada |
| $\zeta_r$     | grados           | Una latitud, relacionada con la latitud de la estación terrena, utilizada en la determinación de un valor apropiado de la incidencia relativa de las condiciones anómalas de propagación con cielo despejado, $\beta_p$ | Ecuaciones (1a) y (1b)                               | Derivado   |