

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R P.620-7
(06/2017)

**Datos de propagación necesarios para
evaluar las distancias de coordinación en la
banda de frecuencias de 100 MHz a 105 GHz**

Serie P
Propagación de las ondas radioeléctricas



Prólogo

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

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

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

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

Series de las Recomendaciones UIT-R

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

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

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

Publicación electrónica
Ginebra, 2018

© UIT 2018

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R P.620-7*

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)

(1986-1992-1995-1997-1999-2003-2005-2017)

Cometido

En esta Recomendación se incluye un método de predicción para determinar la zona de coordinación alrededor de una estación terrena en las bandas de frecuencias entre 100 MHz y 105 GHz. Se facilitan métodos de predicción para calcular la zona de coordinación durante periodos tanto de atmósfera despejada como de dispersión por hidrometeoros (por ejemplo dispersión por la lluvia).

Términos clave

Zona de coordinación, distancia de coordinación, atmósfera despejada, dispersión por hidrometeoros

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) 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;
- b) que la determinación de la zona de coordinación debe basarse en los mejores datos de propagación disponibles y tomarse con suficientes reservas;
- c) que la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (Estambul, 2000) (CMR-2000) aprobó una revisión del Apéndice 7 del Reglamento de Radiocomunicaciones (actualizada muy recientemente en la CMR-15) basándose en textos de la Recomendación UIT-R SM.1448 que a su vez se refieren a textos de la Recomendación UIT-R P.620 que cubre la gama de frecuencias de 100 MHz a 105 GHz;
- d) que la Resolución 74 (CMR-03) describe un proceso para mantener actualizadas las bases técnicas del Apéndice 7,

recomienda

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.

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 1 de Radiocomunicaciones.

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 en función de la distancia, hasta que se consigue la pérdida de retransmisión requerida o se alcanza una distancia límite.

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 geoestacionarios.

Para cada acimut a partir de una estación terrena, y para cada uno de los dos nodos 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.

El método iterativo puede siempre utilizar un paso uniforme, siendo recomendable 1 km. En el caso del modo (1) las funciones que definen la pérdida de propagación son monotónicas con la distancia y, si se prefiere, se puede utilizar un procedimiento iterativo más eficiente.

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 790 MHz, el modelo se basa en un ajuste empírico a los datos medidos.
- Frecuencias de 790 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.

Para determinar las distancias de coordinación del modo de propagación (2), se modela la dispersión isotrópica procedente de hidrometeoros situados en el volumen común formado por los haces principales de las estaciones potencialmente interferidoras. A efectos de la coordinación de frecuencias se puede ignorar la interferencia causada por la dispersión producida por hidrometeoros a frecuencias por debajo de 1 GHz y por encima de 40,5 GHz. Por debajo de 1 GHz, el nivel de la

señal dispersada es muy bajo y por encima de 40,5 GHz, aunque se produce una dispersión significativa, la señal dispersada está entonces muy atenuada en el trayecto del volumen de dispersión a la estación terrena.

En el modo (1) se incrementa la distancia a partir de un mínimo especificado que varía de acuerdo a los factores de propagación pertinentes a cada gama de frecuencias. En el modo (2) se reduce la distancia a partir de un máximo determinado en el Cuadro 2. En el modo auxiliar (2), se reduce la distancia a partir de la distancia de coordinación del modo (2) principal para el mismo acimut.

La pérdida debida al efecto pantalla del terreno en torno a una estación terrena deberá calcularse aplicando el método descrito en el § 1 del Adjunto 2 de acuerdo con los ángulos de elevación horizontal a lo largo de los diferentes radios vectores cuyo origen es la estación terrena. Esta pérdida adicional deberá tenerse en cuenta para todas las frecuencias entre 100 MHz y 105 GHz.

4 Información radioclimática

4.1 Datos radioclimáticos

Para el cálculo de la distancia de coordinación con el modo de propagación (1), se ha clasificado el mundo en términos de zonas radioclimáticas (véase el § 4.2) y según un parámetro radiometeorológico, β_p , que refleja la incidencia relativa de las condiciones anómalas de propagación con cielo despejado.

El valor de β_p depende de la latitud. La latitud que se ha de utilizar para determinar el valor correcto de β_p , viene dado por:

$$\zeta_r = \begin{cases} |\zeta| - 1,8 & \text{para } |\zeta| > 1,8^\circ \\ 0 & \text{para } |\zeta| \leq 1,8^\circ \end{cases} \quad (1a)$$

$$(1b)$$

donde ζ es la latitud de la estación terrena (grados).

β_p se determina entonces mediante la expresión siguiente:

$$\beta_p = \begin{cases} 10^{1,67-0,015\zeta_r} & \text{para } \zeta_r \leq 70^\circ \\ 4,17 & \text{para } \zeta_r > 70^\circ \end{cases} \quad (2a)$$

$$(2b)$$

Para frecuencias entre 790 MHz y 60 GHz, se utiliza el coíndice de refracción en la superficie a nivel del mar del centro del trayecto, N_0 , en los cálculos del modo de propagación (1). Se calcula mediante la expresión siguiente:

$$N_0 = 330 + 62,6 e^{-\left(\frac{\zeta-2}{32,7}\right)^2} \quad (3)$$

4.2 Zonas radioclimáticas

Para el cálculo de la distancia de coordinación con el modo de propagación (1), se ha dividido el mundo en cuatro zonas radioclimáticas básicas. Dichas zonas se definen como sigue:

- *Zona A1*: zonas terrestres costeras y litoral, es decir, la tierra adyacente a un área de la Zona B o la Zona C (véase más abajo), hasta una altitud de 100 m con respecto al nivel medio del mar o del agua pero hasta una distancia máxima de 50 km desde el área de Zona B o Zona C más cercana, según sea el caso. Cuando no haya información precisa sobre el contorno de 100 m, se puede utilizar un valor aproximado (por ejemplo, 300 pies).

- *Zona A2*: toda la zona terrestre, salvo las zonas costeras y el litoral, que se definió más arriba como Zona A1.
- *Zona B*: mares fríos, océanos y grandes masas de agua interiores situadas a latitudes por encima de 30°, con la excepción del Mediterráneo y el Mar Negro.
- *Zona C*: mares cálidos, océanos y grandes masas de agua interiores situadas a latitudes por debajo de 30°, así como el Mediterráneo y el Mar Negro.

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

d_{lm} (km): distancia sobre tierra continua más larga, Zona A2, dentro de la distancia del trayecto actual;

d_{lm} (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 km², 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 km² 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 a todas las zonas terrestres como pertenecientes a la Zona climática A2.

4.3 Utilización de información radioclimática de otras Recomendaciones

En ciertos puntos de los cálculos tanto para el modo (1) como para el modo (2), se hace referencia a la información radioclimática obtenida de otras Recomendaciones UIT-R. Éstas son:

- a) Recomendación UIT-R P.836 para la densidad de vapor de agua;
- b) Recomendación UIT-R P.837 para la intensidad de la lluvia;
- c) Recomendación UIT-R P.839 para la altura de la lluvia.

Siempre que sea necesario se hace referencia a estas Recomendaciones para obtener un parámetro radioclimático correspondiente a una ubicación particular definida por la longitud y la latitud. En otras partes de los cálculos de los modos (1) y (2) se utilizan valores constantes de algunos parámetros radioclimáticos. En estos casos no es necesaria la referencia a otras Recomendaciones.

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 ($d_{mín}$), 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:

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

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:

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

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

Se aplica esta mínima distancia únicamente al modo de propagación (1). En cuanto al modo de propagación (2), ha de utilizarse una distancia mínima de 55 km en todas las frecuencias.

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:

$$d_{máx1} = \begin{cases} 1200 & \text{km} & \text{para} & f \leq 60 \text{ GHz} & (6a) \\ 80 - 10 \log\left(\frac{p_1}{50}\right) & \text{km} & \text{para} & f > 60 \text{ GHz} & (6b) \end{cases}$$

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

5.3 Utilización de los límites de distancia para los cálculos iterativos

En los cálculos del modo (1), se aumenta la distancia a partir del límite de la distancia mínima sin pasar nunca del límite de la distancia máxima. En los cálculos del modo (2), se reduce la distancia a partir del límite de la distancia máxima (o a partir del contorno principal en el caso del modo auxiliar (2)), sin pasar nunca a distancias menores de la mínima.

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 790 MHz, método descrito en el § 2 del Apéndice 2;
- frecuencias comprendidas entre 790 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 de 1-40,5 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).

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 terrena. 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 terrena 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, ϕ , de un haz de antena de estación terrenal con respecto a la dirección de la estación terrena, deberán calcularse de acuerdo con el método descrito en el § 4 del Adjunto 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, $d_{mín}$. 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 radiación de referencia de antena que figura en el Adjunto 4.

Adjunto 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_{im}	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)	§ 4.2 del Anexo 1	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)	§ 4.2 del Anexo 1	De entrada
f	GHz	Frecuencia, 100 MHz a 105 GHz	–	De entrada
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 (57)	De entrada
h_R	km	La altura efectiva de la lluvia sobre el terreno	Apéndice 3	De entrada
$L_b(p_1)$	dB	La pérdida de transmisión básica mínima permisible requerida durante $p_1\%$ del tiempo para el modo de propagación (1)	§ 1	De entrada

CUADRO 1 (continuación)

Parámetro	Unidades	Definición	Definido en	Estatus
$L_b(p_2)$	dB	La pérdida de transmisión básica mínima permisible requerida durante $p_2\%$ del tiempo para el modo de propagación (2)	§ 1	De entrada
p_1	%	El porcentaje de tiempo medio anual para el modo de propagación (1), donde p_1 es la gama: 1% a 50% para f entre 100 MHz y 790 MHz 0,001% a 50% para f entre 790 MHz y 105 GHz	Ecuación (8)	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)	De entrada o derivado
p_{w2}	%	El porcentaje de tiempo del mes más desfavorable para el modo de propagación (2)	§ 7.2	De entrada
r_E	km	El radio efectivo de la Tierra (= 8 500 km)	Apéndice 3	De entrada
$R(p_2)$	mm/h	La intensidad de la lluvia en la superficie rebasada en promedio durante el $p_2\%$ de un año, utilizada en los cálculos del modo de propagación (2)	Apéndice 3	De entrada
s	km	El aumento de la distancia utilizado en el cálculo iterativo de la distancia de coordinación (se recomienda el valor de 1 km)	§ 1	De entrada
ε	grados	El ángulo de elevación del haz principal de la antena de la estación terrena	§ 3 del Apéndice 3	De entrada
φ	grados	Un desplazamiento angular con respecto al eje del haz principal de la antena	§ 4.1 del Adjunto 3	De entrada
γ_P	dB/km	La atenuación específica debida a la lluvia	Apéndice 3	De entrada
θ_h	grados	El ángulo de elevación del horizonte de la estación terrena	§ 1 del Apéndice 2	De entrada
ρ	g/m ³	Densidad del vapor de agua atmosférico rebasada durante el 50% del tiempo	Ecuaciones (21) y (56)	De entrada

CUADRO 1 (fin)

ρ_0	g/m^3	La densidad del vapor de agua atmosférico rebasada durante el 50% del tiempo en la estación terrena	Ecuación (22b)	De entrada
ρ_{dmin}	g/m^3	La densidad del vapor de agua atmosférico rebasada durante el 50% del tiempo en d_{min} en el acimut correspondiente	Ecuación (22b)	De entrada
ρ_i	g/m^3	Densidad del vapor de agua atmosférico rebasada durante el 50% del tiempo para cada paso de la iteración del modo (1)	Ecuación (32)	De entrada
ω	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 del Apéndice 3	De entrada
ζ	grados	La latitud de la estación terrena (positiva en el Norte y negativa en el Sur)	Ecuaciones (1a) y (1b)	De entrada

Adjunto 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:

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

Se calcula el ángulo del horizonte, θ_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 θ_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° . 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° .

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

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

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:

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

y

$$A_h \geq -10$$

(12)

Se señala que, en las ecuaciones (10), (11) y (12), el valor de θ_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 790 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.:

$$d_i = d_{\text{mín}} + i \cdot s \tag{15}$$

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:

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

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

$$\begin{cases} \left. \begin{aligned} &49,343 \log(d_i + 1840 f^{1,58}) + 1,266 (\log p_1)^{(0,468 + 2,598 f)} d_i^{0,453} \\ &+ (0,037 d_i - 70) (f - 0,1581) + 1,95 \times 10^{-10} d_i^2 p_1^3 + 20,2 \end{aligned} \right\} \text{trayectos totalmente en Zona C} \tag{17b}$$

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

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

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

3 Frecuencias comprendidas entre 790 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, $d_{\text{mín}}$, 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:

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

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

o
$$d_i \geq d_{\text{máx1}} \tag{19b}$$

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:

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

La atenuación específica debida al vapor de agua viene dada en función de ρ , densidad del vapor de agua en unidades de g/m^3 , por la siguiente ecuación:

$$\gamma_w(\rho) = \left(0,050 + 0,002 \log \rho + \frac{3,6}{(f - 22,2)^2 + 8,5} \right) f^2 \rho \times 10^{-4} \quad (21)$$

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 $3,0 \text{ g/m}^3$:

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

Obtener de la Recomendación UIT-R P.836 las densidades medias del vapor de agua ρ_0 en la estación terrena y $\rho_{dmín}$ a la distancia $d_{mín}$ a lo largo del acimut pertinente.

Calcular la atenuación debida al vapor de agua para la parte del trayecto que se encuentra dentro de la distancia mínima, utilizando:

$$A_w = d_{mín} \cdot \gamma_w \left(\frac{\rho_0 + \rho_{dmín}}{2} \right) \quad (22b)$$

donde ρ_0 y $\rho_{dmín}$ se definen en el Adjunto 1 al Anexo 1.

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):

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

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:

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

Para el modelo de dispersión troposférica

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

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

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:

θ_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):

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

Cálculos iterativos

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

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

Para la posición sobre la superficie de la Tierra a la distancia d_i en el acimut pertinente se obtiene de la Recomendación UIT-R P.836 la densidad del vapor de agua rebasada durante el 50% del tiempo, ρ_i (g/m^3). Calcular entonces la atenuación que depende de la distancia debido a la absorción gaseosa utilizando:

$$A_g = (\gamma_o + \gamma_d) \cdot d_i + \sum_{n=0}^i \gamma_w(\rho_n) \cdot s \quad (32)$$

donde $\gamma_w(\rho_n)$ está dada por la ecuación (21).

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.

μ_1 estará limitado a $\mu_1 \leq 1$.

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

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

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

μ_2 estará limitado a $\mu_2 \leq 1$.

$$\mu_4 = \begin{cases} 10^{(-0,935 + 0,017 \zeta_r) \log \mu_1} & \text{para } \zeta_r \leq 70^\circ \quad (37a) \\ 10^{0,3 \log \mu_1} & \text{para } \zeta_r > 70^\circ \quad (37b) \end{cases}$$

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

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

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

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

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

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 comprendidas 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/m³ 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.:

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

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

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

Adjunto 3 al Anexo 1

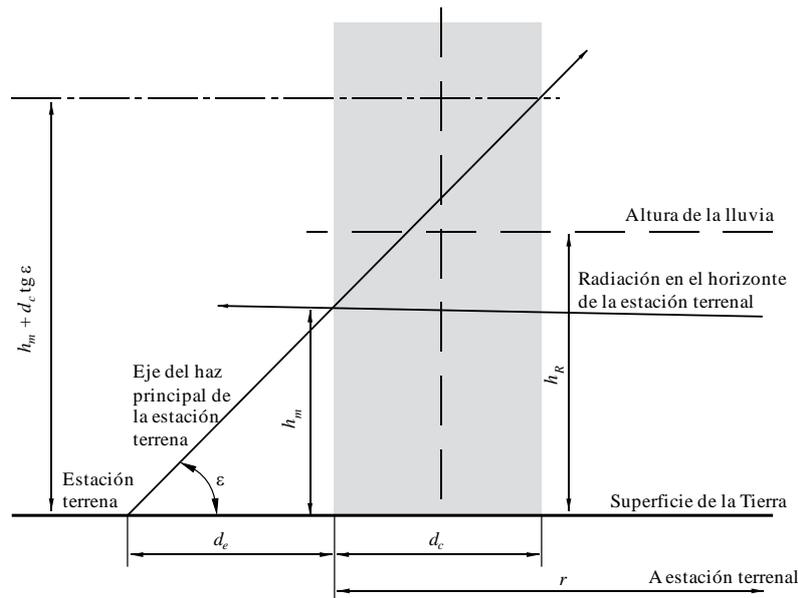
Cálculo de la distancia de coordinación para el modo de propagación (2)

1 Panorámica

La metodología para determinar la distancia de coordinación en el caso de interferencia provocada por la dispersión debida a la lluvia en el modo de propagación (2) se basa en la ecuación de los radares biestáticos, con la aproximación denominada «haz estrecho» para la antena de la estación terrena, en la cual se cancelan, debido a la ganancia de la antena, las pérdidas de dispersión desde el volumen de dispersión hasta la antena de la estación terrena. Por consecuencia, el método depende fundamentalmente de la longitud del trayecto desde la estación terrenal hasta el volumen de dispersión, es decir la célula de lluvia.

El algoritmo que figura a continuación permite obtener las pérdidas de transmisión, $L_r(p_2)$ (dB), en función de la intensidad de la lluvia, $R(p_2)$ (mm/h), y tomando como parámetro la distancia de separación entre el borde de la célula de lluvia y la posible ubicación de la estación terrenal, r_i (km). En la Fig. 1 se ilustra la geometría del proceso de dispersión debida a la lluvia.

FIGURA 1
Geometría del proceso de dispersión debida a la lluvia



P0620-01

El procedimiento para determinar el contorno de dispersión por hidrometeoros es el siguiente:

El valor de $R(p_2)$, debe obtenerse de la Recomendación UIT-R P.837 para el porcentaje medio de tiempo anual requerido, p_2 (0,001% a 10%) y la latitud y la longitud apropiadas a la ubicación de la estación terrenal.

A continuación se calculan los valores de $L_r(p_2)$ para los valores de r_i que disminuyen, comenzando en la distancia máxima de cálculo $d_{máx2}$ para el modo de propagación (2), dada en el Cuadro 2. La disminución recomendada de la distancia, s (km), es 1 km. Se disminuye el valor de r_i hasta que el valor correspondiente de $L_r(p_2)$ sea ligeramente inferior a la pérdida de transmisión $L_b(p_2)$ requerida. Así, se debe disminuir r_i hasta que se cumpla alguna de las siguientes condiciones:

$$L_r(p_2) < L_b(p_2) \quad (50a)$$

o

$$r_i < d_{mín} \quad (50b)$$

donde esta última condición representa la distancia mínima de cálculo.

La distancia de cálculo, d_r , viene dada entonces por el valor inmediato precedente de r_i :

$$d_r = r_{i-1} = d_{máx2} - s \cdot (i - 1) \quad (51)$$

La distancia de cálculo resultante, d_r , es la longitud del trayecto de propagación entre la estación terrenal y el borde de la célula de lluvia que provocará la pérdida requerida en el trayecto de transmisión. Suponiendo que la dispersión de la célula de lluvia sea isótropa en el acimut, el contorno de coordinación se define como un círculo, centrado en el borde de la célula de lluvia, con el radio d_r .

El contorno de coordinación se representa entonces como un círculo de radio d_r centrado a una distancia d_e de la estación terrenal a lo largo de la dirección acimutal de la estación terrenal, donde d_e es la distancia de la estación terrenal al borde de la célula de lluvia, como se indica en la Fig. 1; en el siguiente procedimiento se define la determinación de la distancia d_e .

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 la determinación iterativa de la distancia de cálculo. 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)

Se determina la intensidad de lluvia excedida durante $p_2\%$ del tiempo, $R(p_2)$, de la Recomendación UIT-R P.837, para la latitud y la longitud de la estación terrena. Véase que $p_2\%$ es el porcentaje medio de tiempo anual aplicable al modo de propagación (2).

Si la intensidad de lluvia rebasada durante $p_2\%$ del tiempo $R(p_2) \leq 0,1$ mm/h, deben definirse los contornos de coordinación del modo de propagación (2) suponiendo un valor de la intensidad de lluvia de 0,1 mm/h.

Véase además que la intensidad y la altura de la lluvia no variarán significativamente entre la ubicación de la estación terrena y la correspondiente a la célula de lluvia a lo largo de la dirección acimutal de la estación terrena, ya que la distancia entre estos dos puntos generalmente será menor de ~30 km, para ángulos de elevación de la estación terrena de hasta sólo 10°.

Se determina la atenuación específica, γ_R (dB/km) debida a la lluvia utilizando la Recomendación UIT-R P.838, suponiendo la polarización vertical.

Se fija el diámetro de la célula de lluvia, d_c (km):

$$d_c = 3,3R(p_2)^{-0,08} \tag{52}$$

Se determina la altura media de la lluvia sobre el terreno, h_R (km), de la Recomendación UIT-R P.839 para la latitud y la longitud de la estación terrena.

Se calcula un parámetro intermedio, η :

$$\eta = (R(p_2) + 1)^{0,19} \tag{53}$$

Se calcula la distancia de escala, r_m (km) para la atenuación exterior al volumen de dispersión común:

$$r_m = 600R(p_2)^{-0,5} \times 10^{-\eta} \tag{54}$$

La atenuación específica debida al aire seco (dB/km) se evalúa a partir de la siguiente expresión:

$$\gamma_o = \left[7,19 \times 10^{-3} + \frac{6,09}{f^2 + 0,227} + \frac{4,81}{(f - 57)^2 + 1,5} \right] f^2 \times 10^{-3} \tag{55}$$

De la Recomendación UIT-R P.836, determinar la densidad del vapor de agua en la superficie, ρ (g/m³), rebasada durante el 50% del tiempo en la latitud y longitud correspondientes a la estación

terrena. Véase que, por simplicidad al determinar los contornos del modo de propagación (2), se supone que la densidad del vapor de agua es constante en el trayecto. La atenuación específica del vapor de agua viene dada entonces en dB/km por:

$$\gamma_{wv} = \left[0,050 + 0,0021\rho + \frac{3,6}{(f - 22,2)^2 + 8,5} \right] f^2 \rho \times 10^{-4} \quad (56)$$

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

$$G_T = 42 \quad (57)$$

Cálculos iterativos

Se evalúa las ecuaciones (58) a (77) inclusive, comenzando con la distancia máxima de cálculo, obtenida del Cuadro 2, para valores de r_i que disminuyen, donde r_i es la distancia de separación actual (km) entre la célula de lluvia y la posible ubicación de una estación terrenal e $i = 0, 1, 2, \dots$ etc.:

$$r_i = d_{máx2} - i \cdot s \quad (58)$$

Se continúa este proceso hasta que se cumpla la condición de la desigualdad (50). Bajo esta condición, la distancia de cálculo a la dispersión debida a la lluvia, d_r , tiene el valor precedente de r_i , es decir:

$$d_r = d_{máx2} - (i - 1) \cdot s \quad (59)$$

Si en una iteración se llega a $d_r < d_{mín}$, entonces $d_r = d_{mín}$ y la iteración termina, teniendo presente que, para el modo de propagación (2), $d_{mín} = 55$ km.

Se determina la altura sobre el terreno para el punto de intersección entre los haces de las antenas de la estación terrenal y de la estación terrena:

$$h_m = r_E \left(\frac{1}{\cos \delta} - 1 \right) \quad (60)$$

donde:

δ es la separación angular entre la célula de lluvia y el punto sobre la superficie de la Tierra a la distancia actual, r_i :

$$\delta = \frac{r_i}{r_E} \quad \text{rad} \quad (61)$$

r_E : radio efectivo de la Tierra, $r_E = 8500$ km.

Se determina la longitud del trayecto de la estación terrenal al punto de intersección del haz:

$$r_t = h_m \sqrt{1 + 2 \frac{r_E}{h_m}} \quad (62)$$

Se determina la longitud del trayecto de la intersección del haz a la estación terrena:

$$r_r = \sqrt{r_E^2 \sin^2 \varepsilon + h_m^2 + 2h_m r_E - r_E \sin \varepsilon} \quad (63)$$

donde:

ε : ángulo de elevación de la antena de la estación terrena.

Se determina la distancia horizontal de la estación terrena al borde de la célula de lluvia:

$$d_e = r_E \arcsen \left(\frac{r_r}{h_m + r_E} \cos \varepsilon \right) \quad (64)$$

Se calcula el parámetro h_c que dependen de la región dentro de la célula de lluvia donde ocurre la intersección del haz:

$$h_c = \begin{cases} h_m & \text{para } h_R \leq h_m \\ h_R & \text{para } h_m < h_R < h_m + d_c \operatorname{tg} \varepsilon \\ h_m + d_c \operatorname{tg} \varepsilon & \text{para } h_R \geq h_m + d_c \operatorname{tg} \varepsilon \end{cases} \quad (65)$$

Se calcula la atenuación desde el punto en la distancia actual a la intersección del haz:

$$\Gamma_2 = \gamma_R r_m \left[1 - \exp \left(-\frac{r_t}{r_m} \right) \right] \quad (66)$$

y la atenuación de la intersección del haz a la estación terrena:

$$\Gamma_1 = \begin{cases} \gamma_R r_m \left[1 - \exp \left(-\frac{d_e}{r_m} \right) \right] & \text{para } h_m \leq h_R \\ \gamma_R r_m \left[\exp \left(-\frac{(h_m - h_R) \cot \varepsilon}{r_m} \right) - \exp \left(-\frac{d_e}{r_m} \right) \right] & \text{para } h_m > h_R \end{cases} \quad (67)$$

De lo anterior, se evalúa la atenuación del trayecto total por la dispersión debida a la lluvia por debajo de la altura de la lluvia:

$$\Gamma_b = \exp \left[-0,23 \left(\frac{\Gamma_1}{\cos \varepsilon} + \Gamma_2 \right) \right] \quad (68)$$

y la atenuación del trayecto total por la dispersión debida a la capa de fusión y al hielo por encima de la altura de la lluvia:

$$\Gamma_a = \exp \left[-0,23 \left(\frac{\Gamma_1}{\cos \varepsilon} + \gamma_R \frac{h_c - h_m}{\operatorname{sen} \varepsilon} \right) \right] \quad (69)$$

Se calcula la función de transferencia de dispersión efectiva por la dispersión debida a la lluvia por debajo de la altura de la lluvia:

$$C_b = \frac{4,34}{\gamma_R (1 + \cos \varepsilon)} \left[1 - \exp \left\{ -0,23 \gamma_R (h_c - h_m) \frac{\operatorname{sen} \varepsilon}{1 - \cos \varepsilon} \right\} \right] \quad (70)$$

y por la dispersión debida al hielo por encima de la altura de la lluvia:

$$C_a = \frac{0,67}{\operatorname{sen} \varepsilon_s} \left[\exp \{-1,5(h_c - h_R)\} - \exp \{-1,5(h_m - h_R + d_c \operatorname{tg} \varepsilon)\} \right] \quad (71)$$

La función de transferencia de dispersión efectiva viene dada entonces por:

$$C = \Gamma_b C_b + \Gamma_a C_a \quad (72)$$

Se determina la desviación de la dispersión de Rayleigh para las frecuencias por encima de 10 GHz:

$$10 \log S = \begin{cases} 0,005(f-10)^{1,7} R(p_2)^{0,4} & \text{para } 10 \leq f \leq 40 \\ 0 & \text{para } f < 10 \text{ o cuando } C_b = 0 \end{cases} \quad (73)$$

Véase que esta desviación de la dispersión de Rayleigh se aplica solamente a la dispersión debida a la lluvia, por debajo de la altura de la lluvia.

La atenuación debida a los gases atmosféricos se evalúa a partir de las siguientes expresiones. En primer lugar, se determina las longitudes de trayecto equivalentes, para tener en cuenta la disminución de la atenuación específica gaseosa con la altura. Para el trayecto de la estación terrenal a la célula de lluvia:

$$d_{to} = \begin{cases} 0,9r_t & \text{para } r_t < 270 \text{ km} \\ 243 + 0,4(r_t - 270) & \text{para } r_t \geq 270 \text{ km} \end{cases} \quad (74a)$$

$$d_{tv} = \begin{cases} 0,85r_t & \text{para } r_t < 220 \text{ km} \\ 187 + 0,4(r_t - 220) & \text{para } r_t \geq 220 \text{ km} \end{cases} \quad (74b)$$

y para el trayecto de la célula de lluvia a la estación terrenal:

$$d_{ro} = 0,8r_r \quad (75a)$$

$$d_{rv} = 0,5r_r \quad (75b)$$

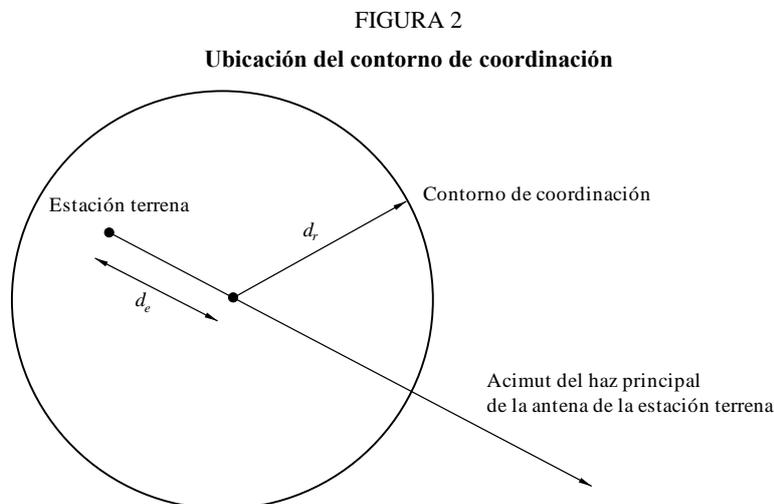
La atenuación gaseosa se determina entonces a partir de:

$$A_g = \gamma_o(d_{to} + d_{ro}) + \gamma_{wv}(d_{tv} + d_{rv}) \quad (76)$$

Finalmente, la pérdida de transmisión se determina a partir de:

$$L_r(p_2) = 173 + 20 \log r_i - 20 \log f - 14 \log R(p_2) - 10 \log C + 10 \log S - G_T + A_g \quad (77)$$

La distancia d_r que resulta de esta iteración es la distancia de la estación terrenal al borde de la célula de lluvia y el contorno de coordinación viene dado por un círculo de radio d_r , centrado a una distancia d_e de la estación terrenal, a lo largo de su dirección acimutal, como se indica en la Fig. 2.

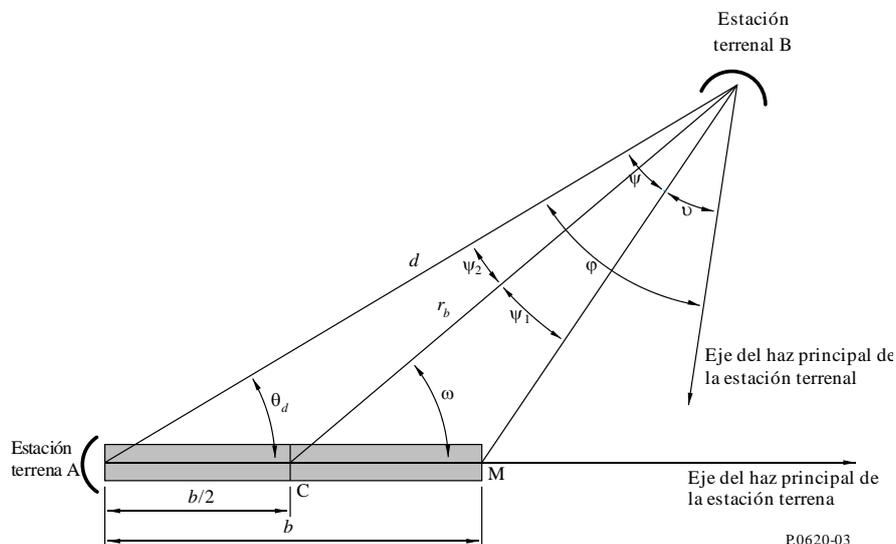


4 Determinación de contornos auxiliares para el modo de propagación (2)

Los contornos auxiliares del modo de propagación (2) permiten tomar en consideración el desplazamiento acimutal de un haz de antena de estación terrenal desde la ubicación de la estación terrenal coordinadora. La Fig. 3 muestra la región de dispersión por hidrometeoros proyectada en el plano horizontal. En esta Figura, la estación terrenal y la estación terrenal están situadas en los puntos A y B respectivamente, donde la estación terrenal está en una dirección radial definida por el ángulo ω desde el punto C en el centro del contorno principal o suplementario del modo de propagación (2). El punto C es también el centro del contorno auxiliar.

La zona sombreada en la Fig. 3 representa la región crítica, a lo largo del eje del haz principal de la estación terrenal, entre la estación terrenal y la altura de la lluvia. Dentro de esta región crítica puede formarse un volumen común entre el haz de la estación terrenal y el haz de cualquier estación terrenal dentro del contorno principal, o suplementario, del modo de propagación (2). La longitud de esta región crítica es b y su extensión horizontal máxima está en el punto M. La intersección de esta región crítica por el eje del haz principal de la estación terrenal, produciría una interferencia importante debida a la dispersión por hidrometeoros a través del acoplamiento del lóbulo principal al lóbulo principal.

FIGURA 3
Geometría de la propagación en el plano horizontal



P.0620-03

Para un punto dado dentro del contorno principal, o suplementario, del modo de propagación (2), el ángulo subtendido por la región crítica se denomina ángulo crítico, ψ . El ángulo de protección, υ , representa el ángulo del eje del haz principal de la estación terrenal fuera de la región crítica. El ángulo de evitación del haz entre el eje del haz principal de la estación terrenal y la ubicación de la estación terrenal es φ . Es la suma de los dos ángulos ψ y υ y ésta es la magnitud que tiene un valor fijo para un contorno auxiliar específico. Cada contorno auxiliar es generado variando el ángulo, ω , y derivando la distancia, r_b , del punto C al contorno auxiliar. Cuando el ángulo ω aumenta de 0° a 360° , los ángulos ψ y υ cambian pero su suma permanece igual.

El algoritmo del § 4.1 de este Apéndice se puede utilizar para calcular el contorno auxiliar del modo de propagación (2) para un valor dado del ángulo de evitación del haz, φ .

El método se basa en la disminución iterativa de la distancia, r_b , entre la estación terrenal y la estación terrenal, comenzando en la distancia del contorno principal d_r , obtenida de la ecuación (59) anterior, hasta que se encuentre sea el valor más pequeño de r_b para el que se alcanza la pérdida mínima

requerida, o se logre la distancia de coordinación mínima. Para cada valor de r_b , se determina el ángulo crítico ψ y a continuación se calcula el ángulo de protección, υ . Entonces se utilizan en la ecuación (77) la ganancia de la antena de la estación terrenal correspondiente a υ y la distancia actual r_b para obtener la pérdida del trayecto en el modo de propagación (2).

El proceso anterior se repite para cada ángulo ω , para generar un contorno auxiliar completo para un valor dado del ángulo de evitación del haz, ϕ . Para algunas combinaciones del ángulo de evitación del haz y el ángulo ω , un contorno auxiliar puede coincidir con el contorno principal, o suplementario, del modo de propagación (2).

4.1 El algoritmo paso por paso

Los contornos auxiliares del modo de propagación (2) se construyen calculando distancias a lo largo de radiales desde el centro del contorno principal o suplementario del modo de propagación (2), que es el punto C, en la distancia $b/2$ desde la estación terrenal a lo largo del acimut de su eje de haz principal. La distancia $b/2$ es también igual a d_e , donde d_e viene dada por la ecuación (64).

Para el valor seleccionado de ángulo de evitación del haz, ϕ , generar el contorno auxiliar para valores de ángulo ω , que varían de 0° a 180° en pasos de 1° , como sigue:

- Fijar r_b a la distancia de contorno principal o suplementario de modo (2), d_r , calculada como se describe en la ecuación (59).
- Calcular ψ a partir de:

$$\psi_1 = \arctg \left(\frac{b \operatorname{sen} \omega}{2r_b - b \cos \omega} \right) \quad (78)$$

$$\psi_2 = \arctg \left(\frac{b \operatorname{sen} \omega}{2r_b + b \cos \omega} \right) \quad (79)$$

$$\psi = \psi_1 + \psi_2 \quad (80)$$

- Si $\psi > \phi$, el contorno auxiliar del modo (2) coincide con el contorno principal o suplementario del modo (2) para el valor actual de ω , completar el cálculo para ese valor de ω , y se pasa al Paso j). En los demás casos, continuar los siguientes Pasos d) a i), hasta que se satisfaga una de las condiciones de terminación descritas en los Pasos f) e i).
- Disminuir r_b sustrayendo 0,2 km de su valor.
- Calcular de nuevo el ángulo crítico ψ usando las ecuaciones (78), (79) y (80).
- Si $(0,5 b \operatorname{sen} \omega / \operatorname{sen} \psi_2) < d_{\min}$, el contorno auxiliar del modo (2) coincide con la distancia de coordinación mínima d_{\min} , se ha completado el cálculo para el valor actual de ω y se pasa al Paso j). En los demás casos, continuar al Paso g).
- Calcular el ángulo de protección $\upsilon = \phi - \psi$.
- Calcular $G(\upsilon)$, ganancia de antena de estación terrenal en el ángulo υ con respecto al eje del haz que utiliza el diagrama de antena de referencia indicado en el Apéndice 4.
- En la ecuación (77), se utiliza la ganancia calculada en el Paso h) en lugar de G_T y el nuevo valor de r_b , y se calcula la pérdida de trayecto L_r correspondiente al modo de propagación (2). Si $L_r < L_b(p_2)$, se aumenta r_b añadiendo 0,2 km a su valor y se considera como la distancia para el radio vector actual. De lo contrario, se repiten los cálculos a partir del Paso d).

- j) Una vez hallado el valor de r_b para el valor actual de ángulo ω , calcular el ángulo θ_d , desde la ubicación de la estación terrena y, si procede, la distancia, d , hasta el punto del contorno utilizando:

$$d = 0,5 b \sin \omega / \sin \psi_2 \quad (81)$$

$$\theta_d = \omega - \psi_2 \quad (82)$$

Un contorno auxiliar del modo de propagación (2) es simétrico alrededor del eje del haz principal de la estación terrena. De este modo, los valores de d y θ_d correspondientes a los valores de ω de 181° a 359° pueden ser hallados observando que esos resultados para un valor dado de ω son iguales que para $(-\omega)$ o $(360^\circ - \omega)$.

El tamaño de paso para incrementar r_b indicado anteriormente, 0,2 km, es adecuado para la mayoría de los casos. Controla la granularidad del resultado cuando se considera como un conjunto de valores de r_b . Para valores bajos de elevación del haz de estación terrena, la granularidad se hace más perceptible en los valores de d y θ_d , y se puede usar un tamaño de paso más pequeño.

Adjunto 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

Véase la Recomendación UIT-R F.699 – Diagramas de radiación de referencia de antenas de sistemas inalámbricos fijos para utilizarlos en los estudios de coordinación y en la evaluación de la interferencia en la gama de frecuencias de 100 MHz a unos 70 GHz, para el cálculo de los diagramas de radiación con este fin y la gama de frecuencias.

Adjunto 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 3 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 3), la distancia de coordinación para el modo de propagación (1), d_1 (km) (calculada), etc.

CUADRO 3

Definición de términos

Parámetro	Unidades	Definición	Definido en	Estatus
A_1	dB	La parte que no depende de la distancia de la pérdida de propagación por conductos	Ecuación (25)	Derivado
A_2	dB	La parte que no depende de la distancia de la pérdida por dispersión troposférica	Ecuación (29)	Derivado
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_g	dB	La atenuación debida a los gases atmosféricos en el modo de propagación (1) y la obtenida del cálculo en el modo de propagación (2)	Ecuaciones (32) y (76)	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) § 1 del Adjunto 2	Derivado
A_w	dB	Atenuación debida al vapor de agua en la parte del trayecto correspondiente a la distancia mínima para el modo (1)	Ecuación 22b	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)	§ 4.1 del Adjunto 3	Derivado
C	–	Función de transferencia de la dispersión efectiva utilizada en el modo de propagación (2)	Ecuación (72)	Derivado
C_a, C_b	–	Funciones de transferencia de la dispersión efectiva para la dispersión por encima y debajo de la altura de lluvia	Ecuaciones (71) y (70)	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) § 4.1 del Adjunto 3	Derivado
d_1	km	La distancia de coordinación para el modo de propagación (1)	§ 2, 3 y 4 del Adjunto 2	Derivado
d_c	km	La distancia de la estación terrena a la costa en la dirección considerada, utilizada para calcular la distancia de coordinación del modo de propagación (1)	Ecuación (24)	De entrada
d_c	km	El diámetro de la célula de lluvia, utilizado en los cálculos del modo de propagación (2)	Ecuación (52)	Derivado
d_e	km	La distancia horizontal de la estación terrena al borde de la célula de lluvia	Ecuación (64)	Derivado
d_h	km	La distancia del horizonte radioeléctrico, visto desde el centro de la antena de la estación terrena	§ 1 del Adjunto 2	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	La distancia continua más larga en tierra, Zona A2, dentro de la distancia d_i , utilizada en el cálculo iterativo de la distancia de coordinación del modo de propagación (1)	§ 4.2 del Anexo 1	De entrada
$d_{máx1}$	km	La distancia máxima de cálculo para el modo de propagación (1)	§ 5.2	Derivado

CUADRO 3 (continuación)

Parámetro	Unidades	Definición	Definido en	Estatus
$d_{máx2}$	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)	
$d'_{mín}$	km	La distancia mínima de coordinación para bajas frecuencias	Ecuación (4)	Derivado
d_{to}, d_{iv} d_{ro}, d_v	km	Distancias utilizadas en la determinación de la atenuación gaseosa para los cálculos del modo (2)	Ecuaciones (74a), (74b) (75a) y (75b)	Derivado
d_r	km	La distancia desde la célula de lluvia a la que la pérdida iguala o supera la pérdida de transmisión requerida para el modo de propagación (2)	§ 1 del Adjunto 3	Derivado
d_{tm}	km	La distancia terrestre (es decir, tierra adentro más 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)	§ 4.2 del Anexo 1	De entrada
D	m	El diámetro de antena utilizado para determinar el diagrama de radiación de referencia de antena (Apéndice 4)	Adjunto 4	De entrada
f	GHz	Frecuencia, 100 MHz a 105 GHz	No aplicable	De entrada
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
$G_{máx}$	dB	La ganancia en el eje del haz principal de la antena utilizada en el diagrama de radiación de referencia de antena (Apéndice 4)	Adjunto 4	De entrada
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 (57)	De entrada
h_c	km	Un parámetro utilizado en los cálculos del modo de propagación (2), que depende de la región interior a la célula de lluvia	Ecuación (65)	Derivado
h_m	km	La altura por encima del terreno de la intersección del haz en los cálculos del modo de propagación (2)	Ecuación (60)	Derivado
h_R	km	La altura de lluvia efectiva por encima del terreno	No aplicable	De entrada
$L(p_1)$	dB	La pérdida de transmisión básica mínima admisible requerida durante el $p_1\%$ (modo (1)) del tiempo	§ 1	De entrada
$L_b(p_2)$	dB	La pérdida de transmisión básica mínima admisible requerida durante el $p_2\%$ (modo (2)) del tiempo	§ 1	De entrada
$L_{bl}(p_1)$	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

CUADRO 3 (continuación)

Parámetro	Unidades	Definición	Definido en	Estatus
$L_1(p_1)$ $L_2(p_1)$ $L_3(p_1)$ $L_4(p_1)$ $L_5(p_1)$ $L_6(p_1)$ $L_7(p_1)$ $L_8(p_1)$ $L_9(p_1)$	dB dB dB dB dB dB dB dB 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
$L_r(p_2)$	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 (77)	Derivado
N_0	–	El índice de refracción en la superficie a nivel del mar del centro del trayecto	Ecuación (3)	Derivado
p_1	%	El porcentaje de tiempo medio anual para el modo de propagación (1), donde p_1 está comprendido en la gama: 1% a 50% para f entre 100 MHz y 790 MHz 0,001% a 50% para f entre 790 MHz y 105 GHz	Ecuación (8) § 6.1	De entrada
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) § 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
$R(p_2)$	mm/h	La intensidad de la lluvia en la superficie que se supera por término medio un $p_2\%$ de un año, utilizada en los cálculos del modo de propagación (2)		De entrada
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 (78), (79) § 4.1 del Adjunto 3	Derivado
r_E	km	El radio efectivo de la Tierra (= 8 500 km)	§ 3 del Adjunto 3	De entrada
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)	Ecuación (51)	Derivado
r_m	km	La distancia de escala para la atenuación fuera del volumen de dispersión común en el cálculo del modo (2)	Ecuación (54)	Derivado
r_r	km	La longitud del trayecto que va desde la intersección del haz a la estación terrenal en los cálculos del modo de propagación (2)	Ecuación (63)	Derivado
r_t	km	La longitud de trayecto que va desde la intersección del haz a la estación terrenal en los cálculos del modo de propagación (2)	Ecuación (62)	Derivado

CUADRO 3 (continuación)

Parámetro	Unidades	Definición	Definido en	Estatus
s	km	El incremento de distancia utilizado en el cálculo iterativo de la distancia de coordinación (el valor recomendado es de 1 km)	§ 1	De entrada
S	–	La desviación de la dispersión de Rayleigh, en el cálculo del modo de propagación (2)	Ecuación (73)	Derivado
β	–	Un parámetro utilizado en el cálculo de la distancia de coordinación del modo de propagación (1)	Ecuación (38)	Derivado
β_p	%	La incidencia relativa de las condiciones anómalas de propagación con cielo despejado	Ecuaciones (2a) y (2b)	Derivado
δ	rad	La separación angular en el centro de la Tierra entre la estación terrena y la distancia actual en los cálculos del modo de propagación (2)	Ecuación (61)	Derivado
ε_L	–	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
ε	grados	El ángulo de elevación del haz principal de la antena de la estación terrena	§ 3 del Adjunto 3	De entrada
Γ		Un término utilizado en el cálculo iterativo de la distancia de coordinación del modo de propagación (1)	Ecuación (39)	Derivado
Γ_1	dB	Un término utilizado en el cálculo de la distancia de coordinación para el modo de propagación (2)	Ecuación (67)	Derivado
Γ_2	dB	Un término utilizado en el cálculo de la distancia de coordinación para el modo de propagación (2)	Ecuación (66)	Derivado
Γ_a	dB	Un término utilizado en el cálculo de la distancia de coordinación para el modo de propagación (2)	Ecuación (69)	Derivado
Γ_b	dB	Un término utilizado en el cálculo de la distancia de coordinación para el modo de propagación (2)	Ecuación (68)	Derivado
γ_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
γ_{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
γ_o	dB/km	La atenuación específica debida al aire seco	Ecuaciones (20) y (55)	Derivado
γ_{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
γ_R	dB/km	La atenuación específica debida a la lluvia	Adjunto 3	De entrada
γ_w	dB/km	La atenuación específica debida al vapor de agua	Ecuación (21)	Derivado
γ_{wv}	dB/km	La atenuación específica debida a la absorción del vapor de agua, utilizada en el modelo de dispersión por hidrometeoros	Ecuación (56)	Derivado
γ_{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 ³)	Ecuación (22a)	Derivado
γ_{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	Ecuación (44)	Derivado

CUADRO 3 (fin)

Parámetro	Unidades	Definición	Definido en	Estatus
η	–	Un parámetro intermedio en el cálculo del modo de propagación (2)	Ecuación (53)	Derivado
λ	m	La longitud de onda utilizada para determinar el diagrama de radiación de referencia de las antenas (Apéndice 4)	Adjunto 4	De entrada
μ_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
μ_2	–	Un parámetro utilizado en el cálculo iterativo de la distancia de coordinación para el modo de propagación (1)	Ecuación (36)	Derivado
μ_4	–	Un parámetro utilizado en el cálculo iterativo de la distancia de coordinación para el modo de propagación (1)	Ecuaciones (37a) y (37b)	Derivado
θ_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)	Ecuación (82) § 4.1 del Adjunto 3	Derivado
θ_h	grados	El ángulo de elevación del horizonte de la estación terrena	§ 1 del Adjunto 2	De entrada
ρ	g/m^3	Densidad del vapor de agua atmosférico excedida durante el 50% del tiempo	Ecuaciones (21) y (56)	De entrada
ρ_0	g/m^3	Densidad del vapor de agua atmosférico excedida durante el 50% del tiempo en la estación terrena	Ecuación (22b)	De entrada
$\rho_{d_{\min}}$	g/m^3	Densidad del vapor de agua atmosférico excedida durante el 50% del tiempo en d_{\min} sobre el acimut pertinente	Ecuación (22b)	De entrada
ρ_i	g/m^3	Densidad del vapor de agua atmosférico excedida durante el 50% del tiempo de cada paso de la iteración del modo (1)	Ecuación (32)	De entrada
σ	–	Un parámetro utilizado en el cálculo iterativo de la distancia de coordinación del modo de propagación (1)	Ecuación (36)	Derivado
τ	–	Un parámetro utilizado en el cálculo iterativo de la distancia de coordinación para el modo de propagación (1)	Ecuación (33)	Derivado
υ	grados	El ángulo de protección, utilizado para determinar los contornos auxiliares del modo de propagación (2)	Paso g) § 4.1 del Adjunto 3	Derivado
ω	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 del Adjunto 3	De entrada
ψ	grados	El ángulo subtendido por la región crítica dentro del cual puede darse un volumen común entre la estación terrena y el haz de cualquier estación terrenal, en el modo de propagación (2)	Ecuación (80) § 4.1 del Adjunto 3	Derivado
ζ	grados	La latitud de la estación terrena (positiva en el Norte, negativa en el Sur)	Ecuaciones (1a) y (1b)	De entrada
ζ_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, β_p	Ecuaciones (1a) y (1b)	Derivado