

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R P.840-6
(09/2013)

Atenuación debida a las nubes y a la niebla

Serie P
Propagación de las ondas radioeléctricas



Unión
Internacional de
Telecomunicaciones

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, 2014

© UIT 2014

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.840-6

Atenuación debida a las nubes y a la niebla

(Cuestión UIT-R 201/3)

(1992-1994-1997-1999-2009-2012-2013)

Cometido

En esta Recomendación se facilitan métodos para predecir la atenuación debida a las nubes y a la niebla en los trayectos Tierra-espacio..

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que es necesario dar pautas a los ingenieros para el diseño de los sistemas de telecomunicación Tierra-espacio en frecuencias superiores a 10 GHz;
- b) que la atenuación debida a las nube puede ser un factor importante, especialmente para los sistemas de microondas que funcionan en frecuencias muy superiores a 10 GHz o para los sistemas de baja disponibilidad;
- c) que, para el cálculo de las series temporales de la atenuación total y los métodos de predicción espaciotemporal, se requiere una expresión analítica para las estadísticas de contenido total de la columna de agua líquida de nube,

recomienda

- 1 que se utilicen las curvas, los modelos y los mapas del Anexo 1 para el cálculo de la atenuación debida a las nubes y a la niebla;
- 2 que se utilice la información recogida en el Anexo 1 para los cálculos globales de los efectos de propagación que se requieren, entre otros, para los modelos de canal espaciotemporal, que a su vez requieren una expresión analítica para las estadísticas de contenido total de la columna de agua líquida de nube.

Anexo 1**1 Introducción**

Para las nubes y la niebla compuestas totalmente de gotas minúsculas, generalmente inferiores a 0,01 cm, la aproximación de Rayleigh es válida para frecuencias inferiores a 200 GHz y se puede expresar la atenuación en términos del contenido total de agua líquida por unidad de volumen. Así pues, la atenuación específica en el interior de una nube o de la niebla puede expresarse como:

$$\gamma_c = K_l M \quad \text{dB/km} \quad (1)$$

siendo:

γ_c : atenuación específica (dB/km) en la nube

K_l : coeficiente de la atenuación específica ((dB/km)/(g/m³))

M : densidad de agua líquida en la nube o la niebla (g/m³)

En frecuencias del orden de 100 GHz y superiores, la atenuación debida a la niebla puede ser significativa. La densidad de agua líquida en la niebla es típicamente de unos $0,05 \text{ g/m}^3$ en la niebla moderada (visibilidad del orden de 300 m) y de $0,5 \text{ g/m}^3$ en niebla espesa (visibilidad del orden de 50 m).

2 Coeficiente de atenuación específica

Para calcular el valor de K_l se puede utilizar un modelo matemático válido hasta frecuencias de 1 000 GHz basado en la dispersión de Rayleigh, que utiliza un modelo Debye doble para la permitividad dieléctrica $\epsilon(f)$ del agua. Por tanto:

$$K_l = \frac{0,819f}{\epsilon''(1 + \eta^2)} \quad (\text{dB/km})/(\text{g/m}^3) \quad (2)$$

donde f es la frecuencia (GHz), y:

$$\eta = \frac{2 + \epsilon'}{\epsilon''} \quad (3)$$

La permitividad dieléctrica compleja del agua viene dada por:

$$\epsilon''(f) = \frac{f(\epsilon_0 - \epsilon_1)}{f_p [1 + (f/f_p)^2]} + \frac{f(\epsilon_1 - \epsilon_2)}{f_s [1 + (f/f_s)^2]} \quad (4)$$

$$\epsilon'(f) = \left[\frac{\epsilon_0 - \epsilon_1}{1 + (f/f_p)^2} \right] + \left[\frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{1 + (f/f_s)^2} \right] + \epsilon_2 \quad (5)$$

donde:

$$\epsilon_0 = 77,66 + 103,3 (\theta - 1) \quad (6)$$

$$\epsilon_1 = 0,0671\epsilon_0 \quad (7)$$

$$\epsilon_2 = 3,52 \quad (8)$$

$$\theta = 300 / T \quad (9)$$

siendo T la temperatura (K).

Las frecuencias de relajación principal y secundaria son:

$$f_p = 20,20 - 146 (\theta - 1) + 316 (\theta - 1)^2 \quad \text{GHz} \quad (10)$$

$$f_s = 39,8f_p \quad \text{GHz} \quad (11)$$

3 Atenuación debida a las nubes a lo largo de trayectos oblicuos

Para obtener la atenuación debida a las nubes a lo largo de trayectos oblicuos para un valor de probabilidad determinado, deben conocerse las estadísticas del contenido total de la columna de agua líquida reducida a una temperatura de 0°C, L_{red} (kg/m² o, de forma equivalente, mm) para un emplazamiento determinado, lo que da:

$$A = \frac{L_{red} K_l}{\sin \theta} \quad \text{dB} \quad \text{para } 90^\circ \geq \theta \geq 5^\circ \quad (12)$$

siendo θ el ángulo de elevación y donde K_l se calcula mediante las ecuaciones (2) a (11) para una temperatura del agua de 0°.

Los valores anuales del contenido total de la columna de agua líquida de nube reducida, L_{red} (kg/m²), que exceden durante el 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 60; 70; 80; 90; 95 y 99 por ciento de un año promedio forman parte integrante de esta Recomendación y están disponibles en forma de mapas digitales.

Los valores mensuales del contenido total de la columna de agua líquida de nube reducida, L_{red} (kg/m²), que exceden durante el 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95 y 99 por ciento de un mes promedio forman parte integrante de esta Recomendación y están disponibles en forma de mapas digitales. Los valores anuales y mensuales del contenido total de la columna se indican en el fichero [R-REC-P.840-6-201309-I!!ZIP-E](#).

Los datos corresponden a 0° hasta 360° de longitud y a +90° hasta -90° de latitud, con una resolución de 1,125° tanto en latitud como en longitud. Puede deducirse el contenido total de la columna de agua líquida de nube reducida en cualquier emplazamiento de la superficie terrestre mediante el siguiente método de interpolación:

- determinar las dos probabilidades p_{encima} y p_{debajo} , por encima y por debajo de la probabilidad deseada, p , del conjunto: 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 60; 70; 80; 90; 95 y 99% para las estadísticas anuales, y del conjunto: 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95 y 99% para las estadísticas mensuales;
- para las dos probabilidades p_{encima} y p_{debajo} , determinar el contenido de la columna total de agua líquida reducida de nube, L_{red1} , L_{red2} , L_{red3} y L_{red4} en los cuatro puntos más cercanos de la cuadrícula;
- determinar el contenido total de la columna de agua líquida reducida de nube $L_{redencima}$ y $L_{reddebajo}$ con las probabilidades p_{encima} y p_{debajo} , mediante una interpolación bilineal de los cuatro valores del contenido total de la columna de agua líquida reducida de nube L_{red1} , L_{red2} , L_{red3} y L_{red4} en los cuatro puntos de la cuadrícula, según lo descrito en la Recomendación UIT-R P.1144;
- determinar el contenido total de la columna de agua líquida reducida de nube, L_{red} , con la probabilidad deseada, p , interpolando $L_{redencima}$ y $L_{reddebajo}$ contra p_{encima} y p_{debajo} para p en una escala lineal L_{red} contra $\log p$.

3.1 Aproximación de L_{red} mediante una distribución logarítmica normal

Puede obtenerse una aproximación de las estadísticas anuales del contenido total de la columna de agua líquida de nube reducida mediante una distribución logarítmica normal. Los parámetros de media, m , desviación standard, σ , y probabilidad de agua líquida reducida, P_{clw} de la distribución logarítmica normal forman parte integrante de esta Recomendación y están disponibles en forma de mapas digitales.

Puede deducirse el contenido total de la columna de agua líquida de nube reducida en cualquier emplazamiento de la superficie terrestre mediante el siguiente método de interpolación:

- determinar los parámetros $m_1, m_2, m_3, m_4, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, P_{CLW1}, P_{CLW2}, P_{CLW3}$ y P_{CLW4} en los cuatro puntos más próximos de la cuadrícula;
- determinar el contenido total de la columna de agua líquida de nube reducida $L_{red1}, L_{red2}, L_{red3}$ y L_{red4} para la probabilidad deseada, p , en los cuatro puntos más próximos de la cuadrícula a partir de los parámetros $m_1, m_2, m_3, m_4, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, P_{CLW1}, P_{CLW2}, P_{CLW3}$ y P_{CLW4} de la siguiente manera:

$$L_{red,i} = e^{m_i + \sigma_i Q^{-1}\left(\frac{P}{P_{CLWi}}\right)} \quad \text{para } i = 1, 2, 3, 4 \quad (13)$$

donde:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (14)$$

- determinar el contenido total de la columna de agua líquida de nube reducida en el lugar deseado procediendo a una interpolación bilineal de los cuatro valores del contenido total de la columna de agua líquida de nube reducida $L_{red1}, L_{red2}, L_{red3}$ y L_{red4} en los cuatro puntos de la cuadrícula, según se describe en la Recomendación UIT-R P.1144.