

RECOMENDACIÓN UIT-R F.1404*

ATENUACIÓN MÍNIMA DE PROPAGACIÓN DEBIDA A LOS GASES ATMOSFÉRICOS QUE DEBE UTILIZARSE EN LOS ESTUDIOS DE COMPARTICIÓN DE FRECUENCIAS ENTRE LOS SISTEMAS DEL SERVICIO FIJO Y LOS DE LOS SERVICIOS DE RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE, MÓVIL POR SATÉLITE Y CIENTÍFICOS ESPACIALES

(Cuestiones UIT-R 111/9, UIT-R 113/9 y UIT-R 163/9)

(1999)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la atenuación en trayecto oblicuo entre una estación terrenal y una estación espacial (geoestacionaria (OSG) o no geoestacionaria (no OSG)) resultante de la absorción debida a los gases atmosféricos, incluyendo el vapor de agua, es un factor importante para los estudios de compartición de frecuencias entre los sistemas del servicio fijo y los sistemas del servicio de radiodifusión por satélite (SRS), del servicio móvil por satélite (SMS) y de los servicios científicos espaciales;
- b) que la atenuación en trayecto oblicuo depende de la distribución a lo largo del trayecto de ciertos parámetros meteorológicos tales como la temperatura, la presión y la humedad, y que por lo tanto, varía con la situación geográfica del emplazamiento, el mes del año, la altura de una estación del servicio fijo sobre el nivel del mar y el ángulo de elevación del trayecto oblicuo;
- c) que dicha atenuación en trayecto oblicuo puede estimarse mediante el método descrito en el Anexo 1 de la Recomendación UIT-R P.676, pero que conviene contar con un procedimiento sencillo para estimar la atenuación;
- d) que a efectos de los estudios de compartición de frecuencias, es necesario definir los parámetros del mes más seco al nivel del mar para cada zona climática, sobre la base de la Recomendación UIT-R P.835;
- e) que la atenuación en trayecto oblicuo es una función complicada de la frecuencia y que debe elegirse para cada banda de frecuencias una frecuencia representativa en la que se obtenga la atenuación mínima,

recomienda

- 1 que para los estudios de compartición de frecuencias entre los sistemas del servicio fijo y los sistemas del SRS, el SMS y los servicios científicos espaciales se estime en cada banda de frecuencias la atenuación en trayecto oblicuo resultante de la absorción debida a los gases atmosféricos, incluyendo el vapor de agua, en una frecuencia representativa que dé la atenuación mínima en dicha banda (vease la Nota 1);
- 2 que se utilice el método del Anexo 1 para la estimación de la atenuación en trayecto oblicuo debida a la absorción atmosférica (veanse las Notas 2, 3 y 4).

NOTA 1 – La información de esta Recomendación vale únicamente para los estudios de compartición de frecuencias, pues se refiere a la atenuación en trayecto oblicuo en el mes más seco.

NOTA 2 – Cuando se necesiten más detalles, pueden obtenerse éstos a partir de la Recomendación UIT-R P.676.

NOTA 3 – La información de esta Recomendación se basa en la Recomendación UIT-R P.676-3 (Ginebra, 1997) y en la Recomendación UIT-R P.835-2 (Ginebra, 1997).

NOTA 4 – La Recomendación UIT-R SF.1395 presenta fórmulas aproximadas de la atenuación mínima en trayecto oblicuo debida a la absorción atmosférica para las bandas de frecuencias compartidas con el servicio fijo y el SFS.

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 3 (Grupo de Trabajo 3J), 7 (Grupo de Trabajo 7D), 8 (Grupo de Trabajo 8D), 10 y 11 (Grupo de Trabajo Mixto 10-11S) de Radiocomunicaciones.

ANEXO 1

Estimación de la atenuación de la propagación en trayecto oblicuo debida a los gases atmosféricos que debe utilizarse en los estudios de compartición de frecuencias entre los sistemas del servicio fijo y los sistemas del SRS, del SMS y de los servicios científicos espaciales

1 Introducción

La atenuación en trayecto oblicuo entre una estación terrenal y una estación espacial (OSG o no OSG) resultante de la absorción debida a los gases atmosféricos, incluyendo el vapor de agua, es un factor importante para los estudios de compartición de frecuencias entre los sistemas del servicio fijo y los sistemas del SRS, el SMS y los servicios científicos espaciales. La atenuación en trayecto oblicuo depende de la distribución a lo largo del trayecto de ciertos parámetros meteorológicos tales como la temperatura, la presión y la humedad, y varía por tanto con la posición geográfica del emplazamiento, el mes del año, la altura de la estación del servicio fijo sobre el nivel del mar y el ángulo de elevación del trayecto oblicuo, así como de la frecuencia de funcionamiento. El procedimiento para calcular la atenuación en trayecto oblicuo es el procedimiento de raya por raya que figura en el Anexo 1 de la Recomendación UIT-R P.676.

En los cálculos detallados de la atenuación atmosférica puede utilizarse la información local sobre el contenido medio anual de vapor de agua en el mes más seco y otros parámetros meteorológicos, junto con los modelos atmosféricos de la Recomendación UIT-R P.835. Cuando no se disponga de esta información, los resultados indicados a continuación ofrecen un procedimiento simple para estimar la atenuación atmosférica.

Las fórmulas del § 2 suponen que cada una de las bandas atribuidas al servicio fijo está atribuida también al SRS, SMS o servicios científicos espaciales de forma compartida y se presenta para cinco zonas geográficas representativas del mundo (hemisferios septentrional y meridional).

2 Estimación de la atenuación en trayecto oblicuo

A los efectos de esta estimación simplificada, se dice que una estación del servicio fijo está en una de las tres zonas climáticas, dependiendo únicamente de la latitud (valor absoluto) de la estación:

- latitudes bajas, a menos de 22,5° del Ecuador;
- latitudes medias, a más de 22,5°, pero a menos de 45° del Ecuador;
- latitudes elevadas, a 45° o más del Ecuador.

El Cuadro 1 muestra los parámetros climáticos para cada una de estas zonas. Véase que la densidad del vapor de agua al nivel del mar para la zona de latitudes bajas es inferior a la indicada en la Recomendación UIT-R P.835 para la estación seca. Los valores de la atenuación para estas zonas se han determinado en función del ángulo de elevación para el trayecto de transmisión real desde la estación del servicio fijo a la posición de la estación espacial (OSG o no OSG). En los puntos siguientes se ofrecen las fórmulas numéricas para la atenuación atmosférica que se aproximan a los valores teóricos, siendo:

$A_L(h, \theta)$, $A_M(h, \theta)$ y $A_H(h, \theta)$: pérdida total de absorción atmosférica (dB) para las zonas de latitud baja, latitud media y latitud elevada, respectivamente;

h y θ : altitud de la antena del servicio fijo sobre el nivel del mar (km) y ángulo de elevación (grados), respectivamente.

CUADRO 1

Parámetros a nivel del mar para las zonas climáticas

Zona climática	Temperatura (K)	Presión atmosférica (hPa)	Densidad del vapor de agua (g/m ³)
Latitud baja	300,4	1 012,0	10,0
Latitud media	272,7	1 018,9	3,5
Latitud elevada	257,4	1 010,8	1,23

Para la integración se utilizó el método del Anexo 1 de la Recomendación UIT-R P.676. Se emplearon los perfiles con la altura de la temperatura, la presión y la densidad del vapor de agua definidas en la Recomendación UIT-R P.835, para calcular las pérdidas. Las aproximaciones se efectuaron para $0 \leq h \leq 3$ km y $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$.

El ángulo de elevación real puede determinarse a partir del ángulo de elevación obtenido en condiciones de propagación en el espacio libre, utilizando el método de la Recomendación UIT-R F.1333. Para ángulos de elevación reales inferiores a 0° , debe utilizarse la atenuación correspondiente a 0° .

NOTA 1 – En algunas situaciones, puede resultar necesario estimar la atenuación en una frecuencia específica basándose en las fórmulas indicadas a continuación. Por ejemplo, si es necesario hallar la atenuación en la zona de latitud baja a 36,5 GHz, es posible estimar dicha atenuación interpolando la atenuación a 36,0 GHz (véase la ecuación (9a)) y la correspondiente a 37,0 GHz (véase la ecuación (10a)). No obstante, para que dicha interpolación sea precisa, las dos frecuencias representativas adyacentes deben ser razonablemente próximas entre sí. Además, hay que adoptar especial cautela en las proximidades de 22,24 GHz (frecuencia de resonancia del vapor de agua) en donde la interpolación lineal puede no ser válida.

2.1 Banda de frecuencias 11,7-12,75 GHz

En esta banda de frecuencias, la atenuación es mayor a frecuencias superiores y, por tanto, las fórmulas indicadas a continuación dan la atenuación a 11,7 GHz.

$$A_L(h, \theta) = 3,84 / [1 + 0,8598 \theta + h(0,2815 + 0,3031 \theta) + 0,1148 h^2] \quad (1a)$$

$$A_M(h, \theta) = 3,23 / [1 + 0,7585 \theta + h(0,4154 + 0,2232 \theta)] \quad (1b)$$

$$A_H(h, \theta) = 3,12 / [1 + 0,7487 \theta + h(0,3792 + 0,2102 \theta)] \quad (1c)$$

2.2 Banda de frecuencias 18,6-18,8 GHz

En esta banda de frecuencias, la atenuación es mayor a frecuencias superiores y, por tanto, las fórmulas siguientes dan la atenuación a 18,6 GHz.

$$A_L(h, \theta) = 15,16 / [1 + 0,9258 \theta + 0,03625 \theta^2 + h(0,2981 + 0,4352 \theta) + h^2(0,2429 + 0,1330 \theta)] \quad (2a)$$

$$A_M(h, \theta) = 7,98 / [1 + 0,9103 \theta + h(0,2862 + 0,4112 \theta) + 0,1469 h^2] \quad (2b)$$

$$A_H(h, \theta) = 5,67 / [1 + 0,8172 \theta + h(0,2017 + 0,3017 \theta) + 0,1057 h^2] \quad (2c)$$

2.3 Banda de frecuencias 21,2-21,4 GHz

En esta banda de frecuencias, la atenuación es mayor a frecuencias superiores y, por tanto, las fórmulas siguientes dan la atenuación a 21,2 GHz.

$$A_L(h, \theta) = 38,08 / [1 + 0,8485 \theta + 0,06485 \theta^2 - 0,002121 \theta^3 + 0,1669 \times 10^{-4} \theta^4 + h(0,2934 + 0,3816 \theta) + h^2(0,09441 + 0,1701 \theta) + 0,04082 h^3] \quad (3a)$$

$$A_M(h, \theta) = 16,70 / [1 + 0,8126 \theta + 0,02719 \theta^2 + h(0,2395 + 0,2772 \theta) + h^2(0,1180 + 0,08558 \theta)] \quad (3b)$$

$$A_H(h, \theta) = 9,66 / [1 + 0,6721 \theta + 0,04348 \theta^2 + h(0,07322 + 0,3655 \theta) + 0,1177 h^2] \quad (3c)$$

2.4 Banda de frecuencias 21,4-22,0 GHz

En esta banda de frecuencias, la atenuación es mayor a frecuencias superiores y, por tanto, las fórmulas siguientes dan la atenuación a 21,4 GHz.

$$A_L(h, \theta) = 40,39 / [1 + 0,8413 \theta + 0,06418 \theta^2 - 0,002095 \theta^3 + 0,1646 \times 10^{-4} \theta^4 + h(0,2871 + 0,3732 \theta) + h^2(0,09311 + 0,1638 \theta) + 0,03859 h^3] \quad (4a)$$

$$A_M(h, \theta) = 17,59 / [1 + 0,8066 \theta + 0,02682 \theta^2 + h(0,2354 + 0,2699 \theta) + h^2(0,1135 + 0,08342 \theta)] \quad (4b)$$

$$A_H(h, \theta) = 10,08 / [1 + 0,6205 \theta + 0,04369 \theta^2 + h(0,06793 + 0,3605 \theta) + 0,1155 h^2] \quad (4c)$$

2.5 Banda de frecuencias 22,21-22,5 GHz

En esta banda de frecuencias, la atenuación tiene un máximo en 22,24 GHz debido a la resonancia del vapor de agua y un mínimo en 22,5 GHz y, de ahí, las fórmulas indicadas a continuación dan la atenuación a 22,5 GHz.

$$A_L(h, \theta) = 47,88 / [1 + 0,78405 \theta + 0,10659 \theta^2 - 0,0091566 \theta^3 + 0,30002 \times 10^{-3} \theta^4 - 0,40272 \times 10^{-5} \theta^5 + 0,18706 \times 10^{-7} \theta^6 + h(0,29782 + 0,30275 \theta) + h^2(0,066824 + 0,17983 \theta) + 0,038747 h^3] \quad (5a)$$

$$A_M(h, \theta) = 20,36 / [1 + 0,7223 \theta + 0,06031 \theta^2 - 0,001980 \theta^3 + 0,1572 \times 10^{-4} \theta^4 + h(0,2053 + 0,2374 \theta) + h^2(0,1101 + 0,08933 \theta)] \quad (5b)$$

$$A_H(h, \theta) = 11,55 / [1 + 0,6073 \theta + 0,04379 \theta^2 + h(0,05750 + 0,3490 \theta) + 0,1102 h^2] \quad (5c)$$

2.6 Banda de frecuencias 23,6-24,0 GHz

En esta banda de frecuencias, la atenuación es menor a frecuencias superiores y, por tanto, las fórmulas siguientes dan la atenuación a 24,0 GHz.

$$A_L(h, \theta) = 40,20 / [1 + 0,8774 \theta + 0,06742 \theta^2 - 0,002221 \theta^3 + 0,1759 \times 10^{-4} \theta^4 + h(0,3193 + 0,4177 \theta) + h^2(0,1014 + 0,1945 \theta) + 0,05008 h^3] \quad (6a)$$

$$A_M(h, \theta) = 17,88 / [1 + 0,8377 \theta + 0,02861 \theta^2 + h(0,2587 + 0,3070 \theta) + h^2(0,1362 + 0,09479 \theta)] \quad (6b)$$

$$A_H(h, \theta) = 10,51 / [1 + 0,6504 \theta + 0,04326 \theta^2 + h(0,08915 + 0,3870 \theta) + 0,1285 h^2] \quad (6c)$$

2.7 Banda de frecuencias 25,25-27,5 GHz

En esta banda de frecuencias, la atenuación es menor a frecuencias superiores y, por tanto, las fórmulas siguientes dan la atenuación a 27,5 GHz.

$$A_L(h, \theta) = 22,73 / [1 + 0,9463 \theta + 0,03455 \theta^2 + h(0,3232 + 0,4519 \theta) + h^2(0,2486 + 0,1317 \theta)] \quad (7a)$$

$$A_M(h, \theta) = 11,96 / [1 + 0,8121 \theta + 0,03055 \theta^2 + h(0,2619 + 0,4728 \theta) + 0,1490 h^2] \quad (7b)$$

$$A_H(h, \theta) = 8,77 / [1 + 0,8259 \theta + h(0,2163 + 0,3037 \theta) + 0,1067 h^2] \quad (7c)$$

2.8 Banda de frecuencias 31,8-33,0 GHz

En esta banda de frecuencias, la atenuación es mayor a frecuencias superiores y, por tanto, las fórmulas siguientes dan la atenuación a 31,8 GHz.

$$A_L(h, \theta) = 19,55 / [1 + 0,9263 \theta + 0,02442 \theta^2 + h(0,3399 + 0,4324 \theta) + h^2(0,1898 + 0,07463 \theta)] \quad (8a)$$

$$A_M(h, \theta) = 12,04 / [1 + 0,8112 \theta + 0,01934 \theta^2 + h(0,2740 + 0,3825 \theta) + 0,1155 h^2] \quad (8b)$$

$$A_H(h, \theta) = 9,90 / [1 + 0,8140 \theta + h(0,2401 + 0,2679 \theta) + 0,08673 h^2] \quad (8c)$$

2.9 Banda de frecuencias 36,0-37,0 GHz

En esta banda de frecuencias, la atenuación es mayor a frecuencias superiores y, por tanto, las fórmulas siguientes dan la atenuación a 36,0 GHz.

$$A_L(h, \theta) = 21,60 / [1 + 0,8102 \theta + 0,05726 \theta^2 - 0,001887 \theta^3 + 0,1488 \times 10^{-4} \theta^4 + h(0,2731 + 0,5166 \theta) + 0,1884 h^2] \quad (9a)$$

$$A_M(h, \theta) = 15,00 / [1 + 0,8197 \theta + 0,01342 \theta^2 + h(0,3078 + 0,2651 \theta) + h^2(0,07561 + 0,03399 \theta)] \quad (9b)$$

$$A_H(h, \theta) = 12,80 / [1 + 0,7376 \theta + 0,01588 \theta^2 + h(0,2185 + 0,2806 \theta) + 0,07660 h^2] \quad (9c)$$

2.10 Banda de frecuencias 37,0-38,0 GHz

En esta banda de frecuencias, la atenuación es mayor a frecuencias superiores y, por tanto, las fórmulas siguientes dan la atenuación a 37,0 GHz.

$$A_L(h, \theta) = 22,63 / [1 + 0,8064 \theta + 0,05519 \theta^2 - 0,001808 \theta^3 + 0,1416 \times 10^{-4} \theta^4 + h(0,2740 + 0,4986 \theta) + 0,1789 h^2] \quad (10a)$$

$$A_M(h, \theta) = 16,03 / [1 + 0,8146 \theta + 0,01315 \theta^2 + h(0,3044 + 0,2598 \theta) + h^2(0,07308 + 0,03276 \theta)] \quad (10b)$$

$$A_H(h, \theta) = 13,85 / [1 + 0,7369 \theta + 0,01556 \theta^2 + h(0,2197 + 0,2771 \theta) + 0,07495 h^2] \quad (10c)$$

2.11 Banda de frecuencias 39,5-40,0 GHz

En esta banda de frecuencias, la atenuación es mayor a frecuencias superiores y, por tanto, las fórmulas siguientes dan la atenuación a 39,5 GHz.

$$A_L(h, \theta) = 26,03 / [1 + 0,7941 \theta + 0,05051 \theta^2 - 0,001631 \theta^3 + 0,1259 \times 10^{-4} \theta^4 + h(0,2739 + 0,4541 \theta) + 0,1562 h^2] \quad (11a)$$

$$A_M(h, \theta) = 19,39 / [1 + 0,8019 \theta + 0,01254 \theta^2 + h(0,2957 + 0,2470 \theta) + h^2(0,06718 + 0,03002 \theta)] \quad (11b)$$

$$A_H(h, \theta) = 17,46 / [1 + 0,7615 \theta + 0,01187 \theta^2 + h(0,2619 + 0,2041 \theta) + h^2(0,05213 + 0,02735 \theta)] \quad (11c)$$

2.12 Banda de frecuencias 40,0-40,5 GHz

En esta banda de frecuencias, la atenuación es mayor a frecuencias superiores y, por tanto, las fórmulas siguientes dan la atenuación a 40,0 GHz.

$$A_L(h, \theta) = 26,87 / [1 + 0,7912 \theta + 0,04963 \theta^2 - 0,001599 \theta^3 + 0,1230 \times 10^{-4} \theta^4 + h(0,2735 + 0,4451 \theta) + 0,1517 h^2] \quad (12a)$$

$$A_M(h, \theta) = 20,23 / [1 + 0,7993 \theta + 0,01243 \theta^2 + h(0,2939 + 0,2444 \theta) + h^2(0,06605 + 0,02951 \theta)] \quad (12b)$$

$$A_H(h, \theta) = 18,33 / [1 + 0,7608 \theta + 0,01179 \theta^2 + h(0,2620 + 0,2033 \theta) + h^2(0,05148 + 0,02706 \theta)] \quad (12c)$$

2.13 Banda de frecuencias 40,5-42,5 GHz

En esta banda de frecuencias, la atenuación es mayor a frecuencias superiores y, por tanto, las fórmulas siguientes dan la atenuación a 40,5 GHz.

$$A_L(h, \theta) = 27,78 / [1 + 0,7880 \theta + 0,04877 \theta^2 - 0,001566 \theta^3 + 0,1202 \times 10^{-4} \theta^4 + h(0,2729 + 0,4361 \theta) + 0,1473 h^2] \quad (13a)$$

$$A_M(h, \theta) = 20,76 / [1 + 0,6980 \theta + 0,04731 \theta^2 - 0,001508 \theta^3 + 0,1157 \times 10^{-4} \theta^4 + h(0,2497 + 0,3257 \theta) + 0,07995 h^2] \quad (13b)$$

$$A_H(h, \theta) = 18,92 / [1 + 0,6577 \theta + 0,04678 \theta^2 - 0,001484 \theta^3 + 0,1139 \times 10^{-4} \theta^4 + h(0,2200 + 0,2811 \theta) + 0,06507 h^2] \quad (13c)$$

2.14 Banda de frecuencias 55,78-59,0 GHz

En esta banda de frecuencias, la atenuación debida a la absorción de oxígeno en el cenit procedente del suelo al nivel del mar excede de 50 dB (véase la Recomendación UIT-R P.676). Por tanto, no es necesario considerar ninguna restricción para la compartición de frecuencias entre el servicio fijo y los servicios científicos espaciales.

2.15 Banda de frecuencias 64,0-66,0 GHz

En esta banda de frecuencias, la atenuación es menor a frecuencias superiores y, por tanto, las fórmulas indicadas a continuación dan la atenuación en 66,0 GHz.

$$\begin{aligned}
 A_L(h, \theta) = & 528,4 / [1 + 0,568865 \theta + 0,0640672 \theta^2 - 0,00696532 \theta^3 \\
 & + 0,385420 \times 10^{-3} \theta^4 - 0,114133 \times 10^{-4} \theta^5 + 0,181220 \times 10^{-6} \theta^6 \\
 & - 0,145280 \times 10^{-8} \theta^7 + 0,461010 \times 10^{-11} \theta^8 \\
 & + h (0,178140 + 0,117782 \theta + 0,00785552 \theta^2 - 0,228606 \times 10^{-3} \theta^3 \\
 & + 0,159694 \times 10^{-5} \theta^4) + h^2 (0,0367537 + 0,0186594 \theta)]
 \end{aligned} \tag{14a}$$

$$\begin{aligned}
 A_M(h, \theta) = & 522,9 / [1 + 0,596648 \theta + 0,0698675 \theta^2 - 0,00806908 \theta^3 \\
 & + 0,466138 \times 10^{-3} \theta^4 - 0,141814 \times 10^{-4} \theta^5 + 0,229255 \times 10^{-6} \theta^6 \\
 & - 0,186157 \times 10^{-8} \theta^7 + 0,596475 \times 10^{-11} \theta^8 \\
 & + h (0,205676 + 0,125103 \theta + 0,0107935 \theta^2 - 0,326445 \times 10^{-3} \theta^3 \\
 & + 0,235065 \times 10^{-5} \theta^4) + h^2 (0,0399720 + 0,0251223 \theta)]
 \end{aligned} \tag{14b}$$

$$\begin{aligned}
 A_H(h, \theta) = & 531,9 / [1 + 0,616560 \theta + 0,0701934 \theta^2 - 0,00821842 \theta^3 \\
 & + 0,476119 \times 10^{-3} \theta^4 - 0,143928 \times 10^{-4} \theta^5 + 0,230683 \times 10^{-6} \theta^6 \\
 & - 0,185825 \times 10^{-8} \theta^7 + 0,591348 \times 10^{-11} \theta^8 \\
 & + h (0,224143 + 0,119089 \theta + 0,0133543 \theta^2 - 0,416213 \times 10^{-3} \theta^3 \\
 & + 0,308010 \times 10^{-5} \theta^4) + h^2 (0,0388456 + 0,0290534 \theta)]
 \end{aligned} \tag{14c}$$