

RECOMENDACIÓN UIT-R P.835-3

**ATMÓSFERAS NORMALIZADAS DE REFERENCIA PARA LA ATENUACIÓN DEBIDA A LOS GASES**

(Cuestión UIT-R 201/3)

(1992-1994-1997-1999)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

a) la necesidad de utilizar un modelo de atmósfera de referencia en el cálculo de la atenuación causada por los gases a lo largo de un trayecto Tierra-espacio,

*recomienda*

**1** que, cuando no se disponga de datos locales más fiables, se utilice el modelo de atmósferas del Anexo 1 para determinar los valores de temperatura, presión y presión del vapor de agua en función de la altura en el cálculo de la atenuación debida a los gases;

**2** que los datos experimentales que aparecen en el Anexo 2 se utilicen para los emplazamientos de interés en lo que se refiere a las variaciones estacionales y mensuales.

ANEXO 1

**1 Atmósfera de referencia mundial anual media**

El siguiente modelo de atmósfera de referencia refleja los perfiles medios anuales cuando se promedian en todo el mundo.

**1.1 Temperatura y presión**

El modelo de atmósfera de referencia se basa en la United States Standard Atmosphere de 1976, que consiste en una atmósfera dividida en siete capas sucesivas con una variación lineal con la temperatura para cada capa, como se muestra en la Fig. 1.

La temperatura  $T$  a la altura  $h$  viene dada por:

$$T(h) = T_i + L_i (h - H_i) \quad \text{K} \quad (1)$$

donde:

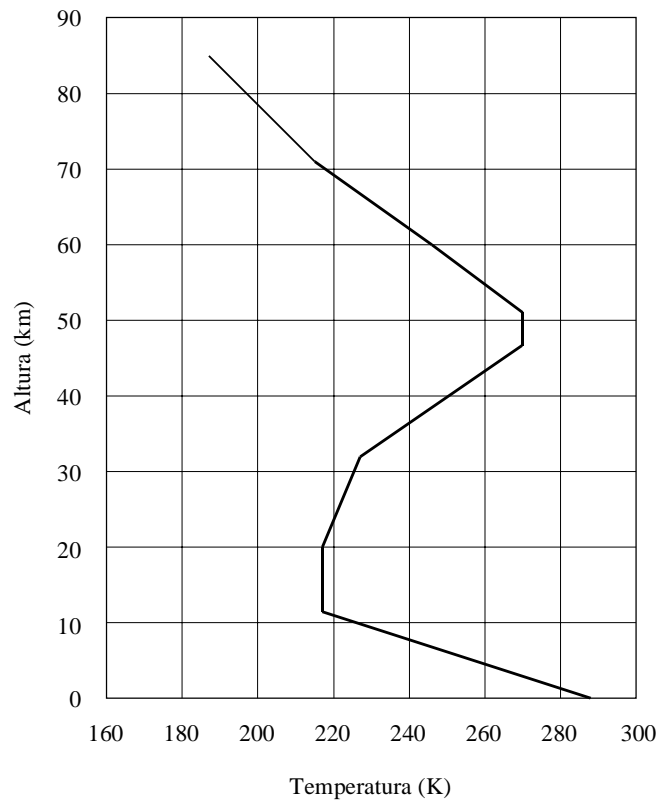
$$T_i = T(H_i) \quad (2)$$

y  $L_i$  es el gradiente de temperatura que comienza a la altura  $H_i$  y viene dado en el Cuadro 1.

CUADRO 1

Subíndice, $i$	Altura, $H_i$ (km)	Gradiente de temperatura, $L_i$ (K/km)
0	0	-6,5
1	11	0,0
2	20	+1,0
3	32	+2,8
4	47	0,0
5	51	-2,8
6	71	-2,0
7	85	

FIGURA 1  
Perfil de referencia de la temperatura atmosférica



0835-01

Cuando el gradiente de temperatura  $L_i \neq 0$ , la presión viene dada por la ecuación:

$$P(h) = P_i \left[ \frac{T_i}{T_i + L_i (h - H_i)} \right]^{34,163 / L_i} \quad \text{hPa} \quad (3)$$

y cuando el gradiente de temperatura  $L_i = 0$ , la presión se obtiene de la ecuación:

$$P(h) = P_i \exp \left[ \frac{-34,163 (h - H_i)}{T_i} \right] \quad \text{hPa} \quad (4)$$

Los valores normalizados de temperatura y presión a nivel del suelo son:

$$\begin{aligned} T_0 &= 288,15 & \text{K} \\ P_0 &= 1013,25 & \text{hPa} \end{aligned} \quad (5)$$

Nótese que por encima de unos 85 km de altura, el equilibrio termodinámico local de la atmósfera comienza a descomponerse, y la ecuación hidrostática, en la que se basan las ecuaciones arriba indicadas, deja de ser válida.

### 1.2 Presión del vapor de agua

La distribución del vapor de agua en la atmósfera es generalmente muy variable, pero puede aproximarse por la ecuación:

$$\rho(h) = \rho_0 \exp(-h / h_0) \quad \text{g/m}^3 \quad (6)$$

donde la altura de escala  $h_0 = 2$  km, y la densidad normal del vapor del agua al nivel del suelo es:

$$\rho_0 = 7,5 \quad \text{g/m}^3 \quad (7)$$

La presión del vapor se obtiene a partir de la densidad mediante la ecuación (véase la Recomendación UIT-R P.453):

$$e(h) = \frac{\rho(h) T(h)}{216,7} \quad \text{hPa} \quad (8)$$

La densidad del vapor de agua disminuye exponencialmente al aumentar la altura, hasta una altura en la que se verifica la relación de combinación  $e(h)/P(h) = 2 \times 10^{-6}$ . Por encima de esta altura, la relación de combinación se supone que es constante.

### 1.3 Cálculo de la atenuación debida a la atmósfera seca

El perfil de la densidad de los gases atmosféricos diferentes del vapor de agua (la «atmósfera seca») puede obtenerse a partir de los perfiles de temperatura y presión indicados en el § 1.1.

En los cálculos de la atenuación, este perfil de densidad se puede aproximar mediante un perfil exponencial según la ecuación (6) con:

$$h_0 = 6 \text{ km} \quad (9)$$

## 2 Atmósfera de referencia anual para latitudes bajas

Para las latitudes bajas (inferiores a 22°) las variaciones estacionales no son muy importantes y puede utilizarse un único perfil anual.

La temperatura  $T$  (K) a la altura  $h$  (km) viene dada por:

$T(h) = 300,4222 - 6,3533 h + 0,005886 h^2$	para	$0 \leq h \leq 17$
$T(h) = 194 + (h - 17) 2,533$	para	$17 \leq h \leq 47$
$T(h) = 270$	para	$47 \leq h \leq 52$
$T(h) = 270 - (h - 52) 3,0714$	para	$52 \leq h \leq 80$
$T(h) = 184$	para	$80 \leq h \leq 100$

siendo la presión  $P$  (hPa):

$P(h) = 1012,0306 - 109,0338 h + 3,6316 h^2$	para	$0 \leq h \leq 10$
$P(h) = P_{10} \exp[-0,147 (h - 10)]$	para	$10 \leq h \leq 72$
$P(h) = P_{72} \exp[-0,165 (h - 72)]$	para	$72 \leq h \leq 100$

donde  $P_{10}$  y  $P_{72}$  son las presiones a 10 y 72 km respectivamente.

Para el vapor de agua ( $\text{g/m}^3$ ):

$\rho(h) = 19,6542 \exp[-0,2313 h - 0,1122 h^2 + 0,01351 h^3 - 0,0005923 h^4]$	para	$0 \leq h \leq 15$
$\rho(h) = 0$	para	$h > 15$

### 3 Atmósfera de referencia para latitudes medias

En el caso de latitudes medias (entre 22° y 45°) pueden utilizarse los siguientes perfiles para el verano y el invierno.

#### 3.1 Latitud media en verano

La temperatura  $T$  (K) a la altura  $h$  (km) viene dada por:

$T(h) = 294,9838 - 5,2159 h - 0,07109 h^2$	para	$0 \leq h \leq 13$
$T(h) = 215,5$	para	$13 \leq h \leq 17$
$T(h) = 215,5 \exp [(h - 17) 0,008128]$	para	$17 \leq h \leq 47$
$T(h) = 275$	para	$47 \leq h \leq 53$
$T(h) = 275 + \{1 - \exp [(h - 53) 0,06]\} 20$	para	$53 \leq h \leq 80$
$T(h) = 175$	para	$80 \leq h \leq 100$

siendo la presión  $P$  (hPa):

$P(h) = 1012,8186 - 111,5569 h + 3,8646 h^2$	para	$0 \leq h \leq 10$
$P(h) = P_{10} \exp [-0,147 (h - 10)]$	para	$10 \leq h \leq 72$
$P(h) = P_{72} \exp [-0,165 (h - 72)]$	para	$72 \leq h \leq 100$

donde  $P_{10}$  y  $P_{72}$  son las presiones a 10 y 72 km respectivamente.

Para el vapor de agua ( $\text{g/m}^3$ ):

$\rho(h) = 14,3542 \exp [-0,4174 h - 0,02290 h^2 + 0,001007 h^3]$	para	$0 \leq h \leq 10$
$\rho(h) = 0$	para	$h > 10$

#### 3.2 Latitud media en invierno

La temperatura  $T$  (K) a la altura  $h$  (km) viene dada por:

$T(h) = 272,7241 - 3,6217 h - 0,1759 h^2$	para	$0 \leq h \leq 10$
$T(h) = 218$	para	$10 \leq h \leq 33$
$T(h) = 218 + (h - 33) 3,3571$	para	$33 \leq h \leq 47$
$T(h) = 265$	para	$47 \leq h \leq 53$
$T(h) = 265 - (h - 53) 2,0370$	para	$53 \leq h \leq 80$
$T(h) = 210$	para	$80 \leq h \leq 100$

siendo la presión  $P$  (hPa):

$P(h) = 1018,8627 - 124,2954 h + 4,8307 h^2$	para	$0 \leq h \leq 10$
$P(h) = P_{10} \exp [-0,147 (h - 10)]$	para	$10 \leq h \leq 72$
$P(h) = P_{72} \exp [-0,155 (h - 72)]$	para	$72 \leq h \leq 100$

donde  $P_{10}$  y  $P_{72}$  son las presiones a 10 y 72 km respectivamente.

Para el vapor de agua ( $\text{g/m}^3$ ):

$\rho(h) = 3,4742 \exp [-0,2697 h - 0,03604 h^2 + 0,0004489 h^3]$	para	$0 \leq h \leq 10$
$\rho(h) = 0$	para	$h > 10$

## 4 Atmósfera de referencia para latitudes altas

En el caso de latitudes altas (superiores a 45°) pueden utilizarse los siguientes perfiles para el verano e invierno.

### 4.1 Latitud alta en verano

La temperatura  $T$  (K) a la altura  $h$  (km) viene dada por:

$T(h) = 286,8374 - 4,7805 h - 0,1402 h^2$	para	$0 \leq h \leq 10$
$T(h) = 225$	para	$10 \leq h \leq 23$
$T(h) = 225 \exp [(h - 23) 0,008317]$	para	$23 \leq h \leq 48$
$T(h) = 277$	para	$48 \leq h \leq 53$
$T(h) = 277 - (h - 53) 4,0769$	para	$53 \leq h \leq 79$
$T(h) = 171$	para	$79 \leq h \leq 100$

siendo la presión  $P$  (hPa):

$P(h) = 1008,0278 - 113,2494 h + 3,9408 h^2$	para	$0 \leq h \leq 10$
$P(h) = P_{10} \exp [-0,140 (h - 10)]$	para	$10 \leq h \leq 72$
$P(h) = P_{72} \exp [-0,165 (h - 72)]$	para	$72 \leq h \leq 100$

donde  $P_{10}$  y  $P_{72}$  son las presiones a 10 y 72 km respectivamente.

Para el vapor de agua ( $\text{g/m}^3$ ):

$\rho(h) = 8,988 \exp [-0,3614 h - 0,005402 h^2 - 0,001955 h^3]$	para	$0 \leq h \leq 15$
$\rho(h) = 0$	para	$h > 15$

### 4.2 Latitud alta en invierno

La temperatura  $T$  (K) a la altura  $h$  (km) viene dada por:

$T(h) = 257,4345 + 2,3474 h - 1,5479 h^2 + 0,08473 h^3$	para	$0 \leq h \leq 8,5$
$T(h) = 217,5$	para	$8,5 \leq h \leq 30$
$T(h) = 217,5 + (h - 30) 2,125$	para	$30 \leq h \leq 50$
$T(h) = 260$	para	$50 \leq h \leq 54$
$T(h) = 260 - (h - 54) 1,667$	para	$54 \leq h \leq 100$

siendo la presión  $P$  (hPa):

$P(h) = 1010,8828 - 122,2411 h + 4,554 h^2$	para	$0 \leq h \leq 10$
$P(h) = P_{10} \exp [-0,147 (h - 10)]$	para	$10 \leq h \leq 72$
$P(h) = P_{72} \exp [-0,150 (h - 72)]$	para	$72 \leq h \leq 100$

donde  $P_{10}$  y  $P_{72}$  son las presiones a 10 y 72 km respectivamente.

Para el vapor de agua ( $\text{g/m}^3$ ):

$\rho(h) = 1,2319 \exp [0,07481 h - 0,0981 h^2 + 0,00281 h^3]$	para	$0 \leq h \leq 10$
$\rho(h) = 0$	para	$h > 10$

## BIBLIOGRAFÍA

BRUSSAARD, G., DAMOSSO, E. y STOLA, L. [octubre de 1983] Characterisation of the 50-70 GHz band for space communications. *CSELT Rapport Tecnici*, Vol. XI, N.º 5.

## ANEXO 2

## 1 Datos experimentales de perfiles verticales atmosféricos

Se han calculado para 353 emplazamientos en todo el mundo los valores medios mensuales de los perfiles verticales de temperatura, presión y humedad relativa, utilizando las observaciones realizadas por radiosonda a lo largo de un periodo de 10 años (1980-1989). Este conjunto de datos (DST.STD) está disponible en la Oficina de Radiocomunicaciones de la UIT y contiene los valores medios mensuales de los perfiles verticales, para las horas 00.00 UTC y 12.00 UTC, de la presión, temperatura y humedad relativa. Estos perfiles, calculados en ausencia de ganancia, van de 0 a 16 km con incrementos de 500 m. En el Cuadro 2 aparece un ejemplo de uno de estos perfiles.

Por encima de la altitud indicada puede realizarse una extrapolación utilizando los perfiles de referencia que aparecen en Anexo 1. Para transformar la humedad relativa en valores absolutos de densidad de vapor de agua deben utilizarse las fórmulas que aparecen en la Recomendación UIT-R P.453.

CUADRO 2

### Formato de datos DST.STD – Ejemplo de un perfil medio mensual

NNNNNMMT NL  
01384111 33

Press(hPa)	Z(km)	Temp(K)	RH(%/100)
.000	.00	273.16	.000E+00
950.734	.50	273.14	.730E+00
892.926	1.00	271.16	.672E+00
837.925	1.50	269.03	.581E+00
786.709	2.00	266.60	.516E+00
737.580	2.50	264.01	.467E+00
691.017	3.00	261.18	.445E+00
647.037	3.50	258.14	.427E+00
605.609	4.00	255.07	.413E+00
566.371	4.50	251.86	.402E+00
528.962	5.00	248.62	.400E+00
493.406	5.50	245.34	.362E+00
460.513	6.00	241.99	.329E+00
429.041	6.50	238.62	.297E+00
398.949	7.00	235.19	.275E+00
371.513	7.50	231.82	.237E+00
345.238	8.00	228.65	.179E+00
319.967	8.50	225.70	.139E+00
296.107	9.00	223.06	.107E+00
271.381	9.50	221.51	.943E-01
250.931	10.00	219.68	.815E-01
232.328	10.50	218.39	.723E-01
214.863	11.00	217.63	.642E-01
196.348	11.50	217.70	.539E-01
181.888	12.00	217.56	.477E-01
167.454	12.50	217.86	.421E-01
153.456	13.00	218.37	.366E-01
140.897	13.50	218.51	.317E-01
129.541	14.00	218.67	.272E-01
120.027	14.50	218.27	.253E-01
110.853	15.00	217.74	.235E-01
101.978	15.50	217.22	.220E-01
91.925	16.00	217.89	.196E-01

#### Leyenda:

NNNNN = Número de la estación OMM: 01384

MM = Mes: 11

T = Hora de lanzamiento: 1 (1 = 00.00 UTC, 2 = 12.00 UTC) NL = Número fijo de niveles de perfil: 33

Press(hPa) = Presión atmosférica

Z(km) = Altura sobre el nivel del mar

Temp(K) = Temperatura del aire

RH(%/100) = Humedad relativa (en porcentaje)

NOTA 1 – El primer nivel (en la superficie) puede fijarse a cero si no está registrado.