

Recomendación UIT-R P.835-7

(08/2024)

Serie P: Propagación de las ondas radioeléctricas

Atmósferas de referencia



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 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 <https://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, 2024

© UIT 2024

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. 835-7

Atmósferas de referencia

(Cuestión UIT-R 214/3)

(1992-1994-1997-1999-2005-2012-2017-2024)

Cometido

En la Recomendación UIT-R P.835 aparecen las atmósferas de referencia necesarias en el cálculo de la atenuación gaseosa y los efectos relacionados en los trayectos terrenales y trayectos Tierra-espacio.

Palabras clave

Presión total, presión barométrica, temperatura, densidad del vapor de agua

Acrónimos/Abreviaturas

ASCII	Código normalizado estadounidense para el intercambio de información (<i>American Standard Code for Information Interchange</i>)
ECMWF	Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio (<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i>)
ERA5	Producto de reanálisis de quinta generación del ECMWF (<i>ECMWF Fifth Generation Reanalysis Product</i>)
Snmm	Sobre el nivel medio del mar

Recomendaciones y Manuales UIT-R conexos

Manual de Radiometereología (Edición 2013)

Recomendación UIT-R P.528

Recomendación UIT-R P.530

Recomendación UIT-R P.618

Recomendación UIT-R P.619

Recomendación UIT-R P.676

Recomendación UIT-R P.836

Recomendación UIT-R P.1144

Recomendación UIT-R P.1510

Recomendación UIT-R P.1511

Recomendación UIT-R P.1853

Recomendación UIT-R P.2001

Recomendación UIT-R P.2041

Recomendación UIT-R P.2145

NOTA – Debe utilizarse la edición/revisión más reciente de cada Recomendación/Manual.

Lista de símbolos

ρ densidad del vapor de agua

H altura geopotencial sobre el nivel medio del mar

P	presión total (barométrica)
T	temperatura
Z	altura geométrica sobre el nivel medio del mar
e	presión parcial del vapor de agua

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que se necesitan atmósferas de referencia en el cálculo de diversos parámetros de propagación atmosférica en trayectos Tierra-espacio y terrenales;
- b) que los sistemas numéricos de predicción meteorológica proporcionan perfiles verticales anuales y mensuales medios de los parámetros atmosféricos, dentro de sus resoluciones temporal y espacial,

recomienda

- 1 que se utilice la atmósfera de referencia del UIT-R del Anexo 1 para determinar la temperatura, la presión total (barométrica) y la densidad del vapor del agua en función de la altura geométrica cuando se necesite un perfil vertical global único de los parámetros atmosféricos;
- 2 que se utilicen las atmósferas de referencia estacionales del Anexo 2 para determinar la temperatura, la presión total (barométrica) y la densidad del vapor de agua en función de la altura geométrica cuando se necesiten datos estacionales medios en función de la latitud;
- 3 que se utilicen los perfiles mundiales medios de temperatura, presión total (barométrica) y densidad de vapor de agua en función de la altura geométrica del Anexo 3, obtenidos a partir de previsiones meteorológicas numéricas, cuando se necesiten datos de referencia para un emplazamiento específico.

Anexo 1

1 Atmósfera de referencia del UIT-R

La siguiente atmósfera de referencia del UIT-R proporciona una referencia simple de los perfiles de presión, temperatura y densidad de vapor de agua total (barométrica) en función de la altura geométrica desde el nivel medio del mar hasta 100 km sobre el nivel medio del mar.

1.1 Temperatura y presión

La presión y temperatura (barométricas) totales para la atmósfera de referencia del UIT-R se derivan de la *United States Standard Atmosphere* de 1976. La *United States Standard Atmosphere* de 1976 es una distribución vertical hipotética idealizada en estado estacionario de la temperatura atmosférica y la presión total (barométrica), que es aproximadamente representativa de las condiciones de latitud media durante todo el año. Los perfiles de temperatura y presión atmosférica se definen en dos regímenes de altura¹: 1) alturas geopotenciales (H) de 0 km' a 84,852 km', y 2) alturas geométricas

¹ La altura geopotencial se expresa en km' y la altura geométrica se expresa en km.

(Z) de 86 km a 100 km. Las conversiones entre la altura geopotencial, H (km), y la altura geométrica, Z (km), adoptadas por la *U.S. Standard Atmosphere*, 1976, son:

$$H = \frac{6\,356,766Z}{6\,356,766+Z} \quad (1a)$$

y

$$Z = \frac{6\,356,766H}{6\,356,766-H} \quad (1b)$$

donde la altura geopotencial de 84,852 km' corresponde a una altura geométrica de 86 km. Dado que en varias Recomendaciones de la serie P (por ejemplo, la Recomendación UIT-R P.676, Anexo 1) se utiliza la altura geométrica, es posible calcular la temperatura y la presión a una altura geométrica $Z \leq 86$ m convirtiendo la altura geométrica, Z, en la correspondiente altura geopotencial, H, y calculando la temperatura y la presión en la correspondiente altura geopotencial, H.

En el primer régimen de altura, la temperatura, T (K), en la altura geopotencial, H (km'), es:

$$T(H) = 288,15 - 6,5 H \quad \text{para } 0 \leq H \leq 11 \quad (2a)$$

$$T(H) = 216,65 \quad \text{para } 11 < H \leq 20 \quad (2b)$$

$$T(H) = 216,65 + (H-20) \quad \text{para } 20 < H \leq 32 \quad (2c)$$

$$T(H) = 228,65 + 2,8 (H-32) \quad \text{para } 32 < H \leq 47 \quad (2d)$$

$$T(H) = 270,65 \quad \text{para } 47 < H \leq 51 \quad (2e)$$

$$T(H) = 270,65 - 2,8 (H-51) \quad \text{para } 51 < H \leq 71 \quad (2f)$$

$$T(H) = 214,65 - 2,0 (H-71) \quad \text{para } 71 < H \leq 84,852 \quad (2g)$$

y la presión, P (hPa) en la altura geopotencial, H (km') es:

$$P(H) = 1\,013,25 \left[\frac{288,15}{288,15-6,5 H} \right]^{-34,1632/6,5} \quad \text{para } 0 \leq H \leq 11 \quad (3a)$$

$$P(H) = 226,3226 \exp[-34,1632 (H - 11)/216,65] \quad \text{para } 11 < H \leq 20 \quad (3b)$$

$$P(H) = 54,74980 \left[\frac{216,65}{216,65+(H-20)} \right]^{34,1632} \quad \text{para } 20 < H \leq 32 \quad (3c)$$

$$P(H) = 8,680422 \left[\frac{228,65}{228,65+2,8 (H-32)} \right]^{34,1632/2,8} \quad \text{para } 32 < H \leq 47 \quad (3d)$$

$$P(H) = 1,109106 \exp[-34,1632 (H - 47)/270,65] \quad \text{para } 47 < H \leq 51 \quad (3e)$$

$$P(H) = 0,6694167 \left[\frac{270,65}{270,65-2,8 (H-51)} \right]^{-34,1632/2,8} \quad \text{para } 51 < H \leq 71 \quad (3f)$$

$$P(H) = 0,03956649 \left[\frac{214,65}{214,65-2,0 (H-71)} \right]^{-34,1632/2,0} \quad \text{para } 71 < H \leq 84,852 \quad (3g)$$

En el segundo régimen de altura, la temperatura, T (K), en la altura geométrica, Z (km), es la siguiente:

$$T(Z) = 186,8673 \quad \text{para } 86 \leq Z \leq 91 \quad (4a)$$

$$T(Z) = 263,1905 - 76,3232 \left[1 - \left(\frac{Z-91}{19,9429} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{para } 91 < Z \leq 100 \quad (4b)$$

y la presión, P (hPa), en la altura geométrica, Z (km), es:

$$P(Z) = \exp (a_0 + a_1 Z + a_2 Z^2 + a_3 Z^3 + a_4 Z^4) \quad \text{para } 86 \leq Z \leq 100 \quad (5)$$

donde:

$$a_0 = 95,571\,899$$

$$a_1 = -4,011\,801$$

$$a_2 = 6,424\,731 \times 10^{-2}$$

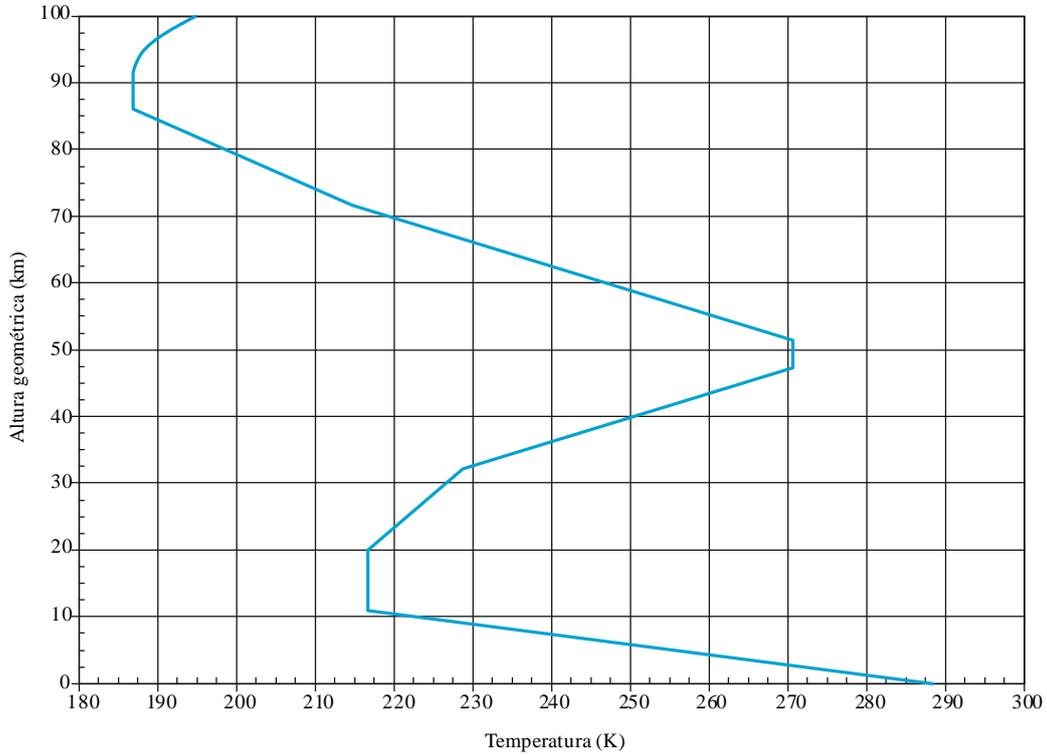
$$a_3 = -4,789\ 660 \times 10^{-4}$$

$$a_4 = 1,340\ 543 \times 10^{-6}$$

Para facilitar su consulta, la temperatura y la presión en función de la altura geométrica se muestran en las Figs. 1 y 2, respectivamente.

FIGURA 1

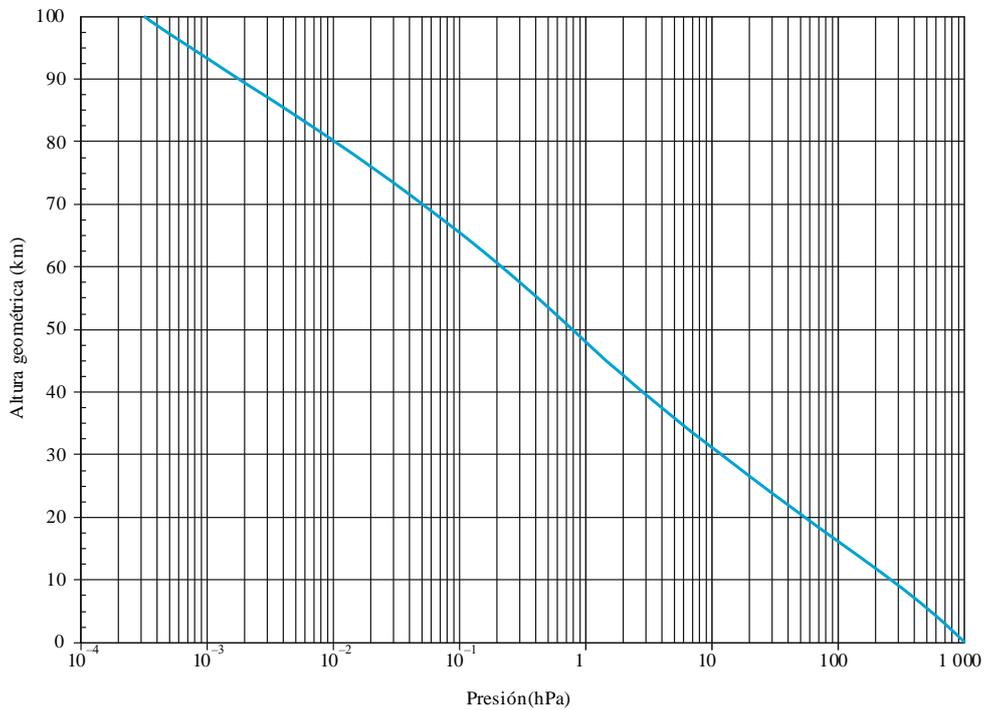
Temperatura en función de la altura geométrica



P0835-01

FIGURA 2

Presión total en función de la altura geométrica



P0835-02

1.2 Densidad del vapor de agua

En ausencia de datos locales fiables, la densidad del vapor de agua atmosférico, ρ , en función de la altura geométrica puede aproximarse mediante el siguiente perfil exponencial negativo:

$$\rho(Z) = 7,5 \exp(-Z/2) \quad \text{g/m}^3 \quad (6)$$

que disminuye exponencialmente al aumentar la altura geométrica, hasta una altura geométrica en la que la relación de combinación $e(Z)/P(Z) = 2 \times 10^{-6}$, y la presión parcial del vapor de agua, $e(Z)$, es:

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

La densidad del vapor de agua por encima de esta altura geométrica es, entonces:

$$\rho(Z) = 2 \times 10^{-6} \frac{P(Z) 216,7}{T(Z)} \quad \text{g/m}^3 \quad (8)$$

Anexo 2

1 Atmósferas de referencia estacionales

En los puntos siguientes se proporcionan atmósferas de referencia estacionales simples para regímenes de latitud baja (15° N), media (45° N) y alta (60° N) del hemisferio norte. La atmósfera de referencia de latitud baja se define para las cuatro estaciones; y las atmósferas de referencia de latitudes medias y altas se definen para el verano y el invierno.

Los perfiles de referencia para otras latitudes pueden obtenerse del siguiente modo:

- Para $0^\circ \text{ N} \leq \text{latitud} \leq 15^\circ \text{ N}$ y todas las estaciones, debe utilizarse la atmósfera de referencia anual de latitud baja.
- Para $15^\circ \text{ N} < \text{latitud} < 45^\circ \text{ N}$ y verano e invierno, la atmósfera de referencia debe obtenerse interpolando linealmente la atmósfera de referencia anual de latitud baja y la atmósfera de referencia estacional de latitud media apropiada con la latitud de interés.
- Para $45^\circ \text{ N} \leq \text{latitud} < 60^\circ \text{ N}$ y verano e invierno, la atmósfera de referencia debe obtenerse interpolando linealmente las atmósferas de referencia estacionales apropiadas de latitudes medias y altas.
- Para la latitud $\geq 60^\circ \text{ N}$ y el verano e invierno, debe utilizarse la atmósfera de referencia estacional adecuada de latitudes altas.

Si bien estas atmósferas de referencia estacionales se obtuvieron específicamente para latitudes del hemisferio norte, también pueden aplicarse a las latitudes correspondientes del hemisferio sur.

1.1 Atmósfera de referencia anual para latitudes bajas

Para latitudes bajas (15° N), pueden utilizarse los siguientes perfiles para las cuatro estaciones.

La temperatura T (K) a la altura geométrica Z (km) viene dada por:

$$T(Z) = 300,4222 - 6,3533 Z + 0,005 886 Z^2 \quad \text{para } 0 \leq Z < 17 \quad (9a)$$

$$T(Z) = 194 + 2,533 (Z - 17) \quad \text{para } 17 \leq Z < 47 \quad (9b)$$

$$T(Z) = 270 \quad \text{para } 47 \leq Z < 52 \quad (9c)$$

$$T(Z) = 270 - 3,0714 (Z - 52) \quad \text{para } 52 \leq Z < 80 \quad (9d)$$

$$T(Z) = 184 \quad \text{para } 80 \leq Z \leq 100 \quad (9e)$$

y la presión P (hPa) total (barométrica) a la altura geométrica Z (km) viene dada por:

$$P(Z) = 1012,0306 - 109,0338 Z + 3,6316 Z^2 \quad \text{para } 0 \leq Z \leq 10 \quad (10a)$$

$$P(Z) = P_{10} \exp[-0,147 (Z - 10)] \quad \text{para } 10 < Z \leq 72 \quad (10b)$$

$$P(Z) = P_{72} \exp[-0,165 (Z - 72)] \quad \text{para } 72 < Z \leq 100 \quad (10c)$$

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

La densidad del vapor de agua ρ (g/m³) a la altura geométrica Z (km) viene dada por:

$$\rho(Z) = 19,6542 \exp[-0,2313 Z - 0,1122 Z^2 + 0,01351 Z^3 - 0,0005923 Z^4] \quad \text{para } 0 \leq Z < 15 \quad (11a)$$

$$\rho(Z) = 0 \quad \text{para } Z > 15 \quad (11b)$$

1.2 Atmósfera de referencia para latitudes medias

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

1.2.1 Latitud media en verano

La temperatura T (K) a la altura geométrica Z (km) viene dada por:

$$T(Z) = 294,9838 - 5,2159 Z - 0,7109 Z^2 \quad \text{para } 0 \leq Z < 13 \quad (12a)$$

$$T(Z) = 215,15 \quad \text{para } 13 \leq Z < 17 \quad (12b)$$

$$T(Z) = 215,15 \exp [0,008128 (Z - 17)] \quad \text{para } 17 \leq Z < 47 \quad (12c)$$

$$T(Z) = 275 \quad \text{para } 47 \leq Z < 53 \quad (12d)$$

$$T(Z) = 275 + 111,57755 \{1 - \exp [0,0237 (Z - 53)]\} \quad \text{para } 53 \leq Z < 80 \quad (12e)$$

$$T(Z) = 175 \quad \text{para } 80 \leq Z \leq 100 \quad (12f)$$

y la presión P (hPa) total (barométrica) a la altura geométrica Z (km) viene dada por:

$$P(Z) = 1012,8186 - 111,5569 Z + 3,8646 Z^2 \quad \text{para } 0 \leq Z \leq 10 \quad (13a)$$

$$P(Z) = P_{10} \exp [-0,147 (Z - 10)] \quad \text{para } 10 < Z \leq 72 \quad (13b)$$

$$P(Z) = P_{72} \exp [-0,165 (Z - 72)] \quad \text{para } 72 < Z \leq 100 \quad (13c)$$

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

La densidad del vapor de agua ρ (g/m³) a la altura geométrica Z (km) viene dada por:

$$\rho(Z) = 14,3542 \exp[-0,4174 Z - 0,02290 Z^2 + 0,001007 Z^3] \quad \text{para } 0 \leq Z \leq 15 \quad (14a)$$

$$\rho(Z) = 0 \quad \text{para } Z > 15 \quad (14b)$$

1.2.2 Latitud media en invierno

La temperatura T (K) a la altura geométrica Z (km) viene dada por:

$$T(Z) = 272,7241 - 3,6217 Z - 0,1759 Z^2 \quad \text{para } 0 \leq Z < 10 \quad (15a)$$

$$T(Z) = 218 \quad \text{para } 10 \leq Z < 33 \quad (15b)$$

$$T(Z) = 218 + 3,3571 (Z - 33) \quad \text{para } 33 \leq Z < 47 \quad (15c)$$

$$T(Z) = 265 \quad \text{para } 47 \leq Z < 53 \quad (15d)$$

$$T(Z) = 265 - 2,0370 (Z - 53) \quad \text{para } 53 \leq Z < 80 \quad (15e)$$

$$T(Z) = 210 \quad \text{para } 80 \leq Z \leq 100 \quad (15f)$$

y la presión P (hPa) total (barométrica) a la altura geométrica Z (km) viene dada por:

$$P(Z) = 1018,8627 - 124,2954 Z + 4,8307 Z^2 \quad \text{para } 0 \leq Z \leq 10 \quad (16a)$$

$$P(Z) = P_{10} \exp[-0,147 (Z - 10)] \quad \text{para } 10 < Z \leq 72 \quad (16b)$$

$$P(Z) = P_{72} \exp[-0,155 (Z - 72)] \quad \text{para } 72 < Z \leq 100 \quad (16c)$$

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

La densidad del vapor de agua ρ (g/m³) a la altura geométrica Z (km) viene dada por:

$$\rho(Z) = 3,4742 \exp[-0,2697 Z - 0,03604 Z^2 + 0,0004489 Z^3] \quad \text{para } 0 \leq Z \leq 10 \quad (17a)$$

$$\rho(Z) = 0 \quad \text{para } Z > 10 \quad (17b)$$

1.3 Atmósfera de referencia para latitudes altas

En el caso de latitudes altas (60° N) pueden utilizarse los siguientes perfiles para el verano e invierno.

1.3.1 Latitud alta en verano

La temperatura T (K) a la altura geométrica Z (km) viene dada por:

$$T(Z) = 286,8374 - 4,7805 Z - 0,1402 Z^2 \quad \text{para } 0 \leq Z < 10 \quad (18a)$$

$$T(Z) = 225 \quad \text{para } 10 \leq Z < 23 \quad (18b)$$

$$T(Z) = 225 \exp[0,008317 (Z - 23)] \quad \text{para } 23 \leq Z < 48 \quad (18c)$$

$$T(Z) = 277 \quad \text{para } 48 \leq Z < 53 \quad (18d)$$

$$T(Z) = 277 - 4,0769 (Z - 53) \quad \text{para } 53 \leq Z < 79 \quad (18e)$$

$$T(Z) = 171 \quad \text{para } 79 \leq Z \leq 100 \quad (18f)$$

y la presión P (hPa) total (barométrica) a la altura geométrica Z (km) viene dada por:

$$P(Z) = 1008,0278 - 113,2494 Z + 3,9408 Z^2 \quad \text{para } 0 \leq Z \leq 10 \quad (19a)$$

$$P(Z) = P_{10} \exp[-0,140 (Z - 10)] \quad \text{para } 10 < Z \leq 72 \quad (19b)$$

$$P(Z) = P_{72} \exp[-0,165 (Z - 72)] \quad \text{para } 72 < Z \leq 100 \quad (19c)$$

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

La densidad del vapor de agua ρ (g/m³) a la altura geométrica Z (km) viene dada por:

$$\rho(Z) = 8,988 \exp[-0,3614 Z - 0,005402 Z^2 - 0,001955 Z^3] \quad \text{para } 0 \leq Z \leq 15 \quad (20a)$$

$$\rho(Z) = 0 \quad \text{para } Z > 15 \quad (20b)$$

1.3.2 Latitud alta en invierno

La temperatura T (K) a la altura geométrica Z (km) viene dada por:

$$T(Z) = 257,4345 + 2,3474 Z - 1,5479 Z^2 + 0,08473 Z^3 \quad \text{para } 0 \leq Z < 8,5 \quad (21a)$$

$$T(Z) = 217,5 \quad \text{para } 8,5 \leq Z < 30 \quad (21b)$$

$$T(Z) = 217,5 + 2,125 (Z - 30) \quad \text{para } 30 \leq Z < 50 \quad (21c)$$

$$T(Z) = 260 \quad \text{para } 50 \leq Z < 54 \quad (21d)$$

$$T(Z) = 260 - 1,667 (Z - 54) \quad \text{para } 54 \leq Z \leq 100 \quad (21e)$$

y la presión P (hPa) total (barométrica) a la altura geométrica Z (km) viene dada por:

$$P(Z) = 1010,8828 - 122,2411 Z + 4,554 Z^2 \quad \text{para } 0 \leq Z \leq 10 \quad (22a)$$

$$P(Z) = P_{10} \exp[-0,147 (Z - 10)] \quad \text{para } 10 < Z \leq 72 \quad (22b)$$

$$P(Z) = P_{72} \exp[-0,150 (Z - 72)] \quad \text{para } 72 < Z \leq 100 \quad (22c)$$

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

La densidad del vapor de agua ρ (g/m³) a la altura geométrica Z (km) viene dada por:

$$\rho(Z) = 1,2319 \exp[0,07481 Z - 0,0981 Z^2 + 0,00281 Z^3] \quad \text{para } 0 \leq Z \leq 10 \quad (23a)$$

$$\rho(Z) = 0 \quad \text{para } Z > 10 \quad (23b)$$

Anexo 3

1 Perfiles verticales medios globales anuales y mensuales

El presente Anexo contiene los perfiles verticales medios anuales y mensuales de la densidad total (barométrica) de presión, temperatura y vapor de agua a 138 niveles de altitud sobre el nivel medio del mar, obtenidos a partir del promedio de 30 años (1991-2020) de los datos a nivel del modelo ECMWF ERA5.

Estos perfiles verticales forman parte integrante de la presente Recomendación y están disponibles en forma de mapas digitales en las Partes 1 a 12 correspondientes a cada mes del año y en la Parte 13 correspondientes al periodo anual. Cada parte contiene un fichero zip con cuatro ficheros de mapas, P.bin, T.bin, WV.bin y Z.bin para el periodo aplicable. P.bin contiene los perfiles de presión, T.bin contiene los perfiles de temperatura, WV.bin contiene los perfiles de densidad de vapor de agua y Z.bin contiene los perfiles de altitud geométrica sobre el nivel medio del mar. En el Cuadro 1 se muestran las características de cada fichero de mapa.

CUADRO 1

Características del fichero de mapas

Parámetro	Valor
Formato	IEEE 754
Orden de bytes	Little endian
Precisión	Único (Valor de 4 bytes)
Número total de bytes	573 506 472
Gama de latitudes	-90° N a 90°N
Incremento de latitud	+0,25°
Gama de longitudes	-180° E a 180° E
Incremento de longitud	+0,25°
Número de puntos de la cuadrícula de latitud	721
Número de puntos de la cuadrícula de longitud	1 441
Número de niveles de altitud	138
Unidades de presión total	hPa
Unidades de temperatura	K
Unidades de densidad de vapor de agua	g/m ³
Unidades de altitud	km, snmm

Cada parámetro se almacena como un *parámetro* de matriz tridimensional (*ilevel*, *ilat*, *ilon*), donde, suponiendo que la indexación comienza en 1, $level = 1, 2, \dots, 138$; $ilat = 1, 2, \dots, 721$; e $ilon = 1, 2, \dots, 1441$. El primer byte de los cuatro bytes correspondiente al valor de la presión (P) total (barométrica), la temperatura (T), la densidad de vapor de agua (WV) o la altitud geométrica sobre el nivel medio del mar (Z) en cualquier punto de la cuadrícula *Latitude_degN*, *Longitude_degE* y nivel de altitud *ilevel*) es el byte número *ipos*, donde *ipos* va de $ipos = 1$ a $ipos = 573\ 506\ 469$.

$$ipos = \{ilevel - 1 + (ilat - 1) \times 138 + (ilon - 1) \times 138 \times 721\} \times 4 + 1 \quad (24)$$

donde:

$$ilat = (Latitude_degN + 90)/0,25 + 1 \quad (25)$$

$$ilon = (Longitude_degE + 180)/0,25 + 1 \quad (26)$$

$$ilevel = (1, 2, 3, \dots, 138) \quad (27)$$

Hay 138 niveles de presión, temperatura y densidad de vapor de agua en cada punto de la cuadrícula, donde $P(ilevel, ilat, ilon)$, $T(ilevel, ilat, ilon)$, y $WV(ilevel, ilat, ilon)$ son los valores de la presión total, la temperatura y la densidad del vapor de agua a una altitud sobre el nivel medio del mar, $Z(ilevel, ilat, ilon)$. $Z(138, ilat, ilon)$ es la altitud² ERA5 de la superficie de la Tierra sobre el nivel medio del mar, y $Z(1, ilat, ilon)$ es la altitud máxima sobre el nivel medio del mar en el punto de la cuadrícula asociado. $Z(138, ilat, ilon)$ puede ser diferente de la altitud topográfica de la Recomendación UIT-R P.1511, que se determinó mediante una combinación de altimetría de radar de satélite de alta resolución aumentada por datos de altimetría local.

² La altitud geométrica ERA5 de la superficie de la Tierra sobre el nivel medio del mar se obtuvo dividiendo la energía potencial gravitacional ERA5 de una unidad de masa en la superficie de la Tierra (m^2/s^2) por la aceleración gravitacional ($9,80665\ m/s^2$) y convirtiendo la altitud geopotencial resultante de la superficie de la Tierra en una altitud geométrica de la superficie de la Tierra.