

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R P.836-6
(12/2017)

**Vapor de agua: densidad en la superficie y
contenido de una columna de aire**

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, 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.836-6

Vapor de agua: densidad en la superficie y contenido de una columna de aire

(Cuestión UIT-R 201/3)

(1992-1997-2001-2001-2009-2013-2017)

Cometido

Esta Recomendación proporciona métodos para predecir la densidad de vapor de agua en la superficie y el contenido de vapor de agua total de una columna de aire en los trayectos Tierra-espacio.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que para calcular los efectos de la refracción y de la atenuación producida por los gases se necesita información sobre la densidad de vapor de agua en la atmósfera;
- b) que esta información está disponible para todos los emplazamientos de la Tierra y para todas las estaciones,

recomienda

que se utilice la información contenida en los Anexos 1 y 2 para los cálculos globales de los efectos de propagación que requieran una estimación de la densidad de vapor de agua en la superficie terrestre o del contenido total de vapor de agua de una columna de aire y de sus variaciones estacionales, siempre que no se disponga de datos locales más precisos.

Anexo 1**1 Densidad de vapor de agua en la superficie**

El vapor de agua y el oxígeno en la atmósfera producen la absorción de las ondas milimétricas, especialmente en la región de las rayas de absorción (véase la Recomendación UIT-R P.676). La concentración del oxígeno atmosférico es relativamente constante; sin embargo, la concentración de vapor de agua varía tanto con la situación geográfica como con el tiempo.

Los valores anuales de la densidad de vapor de agua en la superficie, ρ (g/m³), rebasados 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% de un año medio forman parte de esta Recomendación y están disponibles en forma de mapas digitales en el fichero R-REC-P.836-6-201712-I!!ZIP-E.

Los valores mensuales de la densidad de vapor de agua en la superficie, ρ (g/m³), rebasados durante el 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 60; 70; 80; 90; 95 y 99% de un mes medio forman parte de esta Recomendación y están disponibles en forma de mapas digitales en el fichero del Suplemento.

Los datos abarcan desde 0° a 360° en longitud y desde +90° a -90° en latitud, con una resolución de 1,125° tanto en latitud como en longitud. La densidad de vapor de agua en la superficie en el

emplazamiento deseado sobre la superficie de la Tierra puede obtenerse mediante el siguiente método de interpolación (si los datos locales correspondientes a la altura por encima del nivel medio del mar en el lugar deseado no estuvieran disponibles, puede utilizarse el mapa de la Recomendación UIT-R P.1511):

- a) se determinan 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;
- b) para las dos probabilidades, p_{encima} y p_{debajo} , se determinan las densidades de vapor de agua en la superficie, ρ'_1 , ρ'_2 , ρ'_3 y ρ'_4 en los cuatro puntos de la cuadrícula más próximos;
- c) utilizando el fichero de datos de altura de escala de vapor de agua anual o mensual correspondiente a las probabilidades p_{encima} y p_{debajo} , se determina la altura de escala de vapor de agua en los cuatro puntos de la cuadrícula más próximos $vsch_1$, $vsch_2$, $vsch_3$ y $vsch_4$ para cada probabilidad, p_{encima} y p_{debajo} ;
- d) utilizando el mapa digital de altitud topográfica TOPO_0DOT5.txt que forma parte de esta Recomendación y se facilita en el archivo R-REC-P.836-6-201712-I!!ZIP-E, se determinan las altitudes topográficas alt_1 , alt_2 , alt_3 y alt_4 , en los cuatro puntos de la cuadrícula más próximos utilizando el método de interpolación bicúbica especificado en el Anexo 1 de la Recomendación UIT-R P.1144;
- e) para cada uno de los cuatro puntos de la cuadrícula más próximos y cada probabilidad, se determinan las densidades de vapor de agua, ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 y ρ_4 , a la altitud deseada, alt , extrapolando las densidades de vapor de agua, ρ'_1 , ρ'_2 , ρ'_3 y ρ'_4 , mediante la siguiente relación:

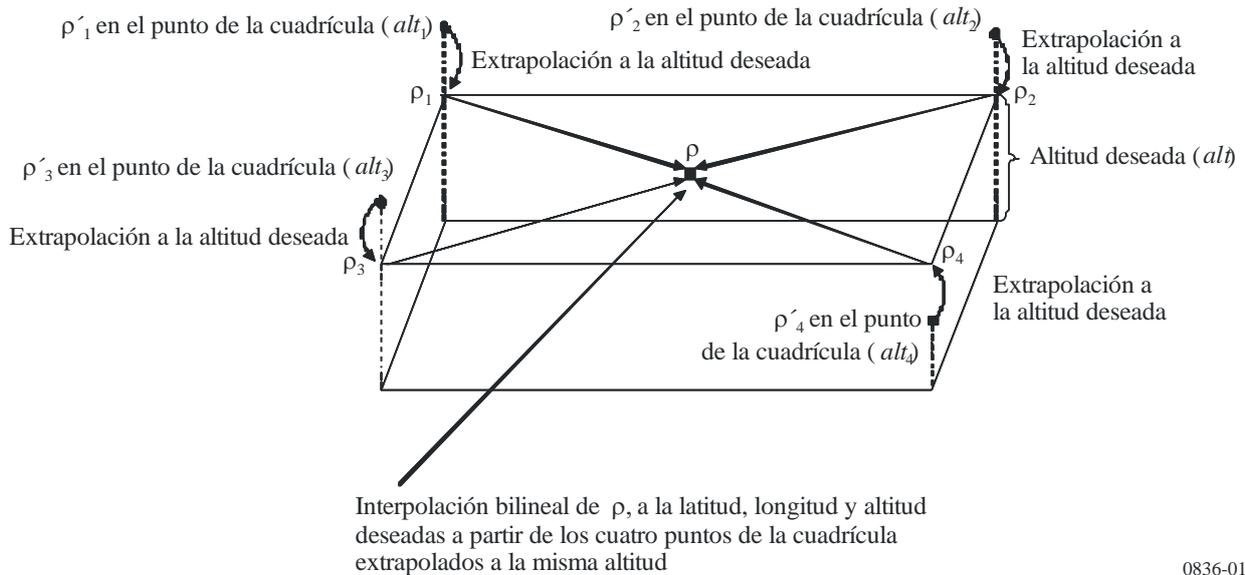
$$\rho_i = \rho'_i e^{-\frac{alt-alt_i}{vsch_i}} \quad \text{para } i = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

- f) se determinan las densidades de vapor de agua, ρ_{encima} y ρ_{debajo} , a las probabilidades p_{encima} y p_{debajo} y en el emplazamiento deseado efectuando una interpolación bilineal de los cuatro valores de la densidad de vapor de agua, ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 y ρ_4 , en los cuatro puntos de la cuadrícula como se describe en la Recomendación UIT-R P.1144 (como referencia, se muestra en la Fig. 1 el procedimiento para determinar ρ_{encima} y ρ_{debajo} a partir de ρ'_1 , ρ'_2 , ρ'_3 y ρ'_4);
- g) se determina la densidad de vapor de agua, ρ , a la probabilidad deseada, p , interpolando ρ_{encima} y ρ_{debajo} en función de p_{encima} y p_{debajo} a p en una escala lineal de ρ en función de $\log p$.

Para referencia, en la Recomendación UIT-R P.453 aparecen las relaciones entre la densidad de vapor de agua, la presión de vapor de agua y la humedad relativa.

FIGURA 1

Procedimiento de interpolación para probabilidades por encima y por debajo de la probabilidad deseada



0836-01

Anexo 2

1 Contenido total de vapor de agua

En algunas aplicaciones, el contenido total de vapor de agua a lo largo de un trayecto puede utilizarse para calcular la longitud del trayecto en exceso y la atenuación ocasionada por el vapor de agua atmosférico, suponiendo que ésta última es proporcional al contenido total de vapor de agua con un coeficiente específico de absorción de masa.

El contenido total de vapor de agua, expresado en kg/m^2 o, de forma equivalente, en milímetros de agua precipitable, puede obtenerse mediante sondeos efectuados con radiosondas, mediciones con satélites de navegación y conservaciones radiométricas. Los datos de las radiosondas están ampliamente disponibles pero tienen una resolución temporal limitada y sólo son aplicables a trayectos cenitales. El contenido total de vapor de agua puede obtenerse a partir de mediciones radiométricas efectuadas a las frecuencias adecuadas a lo largo del trayecto deseado.

Los valores anuales del contenido total de vapor de agua de una columna de aire, V (kg/m^2), rebasados 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% del año forman parte de esta Recomendación y están disponibles en forma de mapas digitales.

Los valores mensuales del contenido total de vapor de agua de una columna de aire, V (kg/m^2), rebasados durante el 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 60; 70; 80; 90; 95 y 99% de un mes medio forman parte de esta Recomendación y están disponibles en forma de mapas digitales.

Los datos abarcan desde 0° a 360° en longitud y desde $+90^\circ$ a -90° en latitud, con una resolución de $1,125^\circ$ tanto en latitud como en longitud. El contenido total de vapor de agua en el emplazamiento deseado sobre la superficie de la Tierra puede obtenerse mediante el siguiente método de interpolación (si los datos locales correspondientes a la altura por encima del nivel medio del mar en el lugar deseado no estuvieran disponibles, puede utilizarse el mapa de la Recomendación UIT-R P.1511):

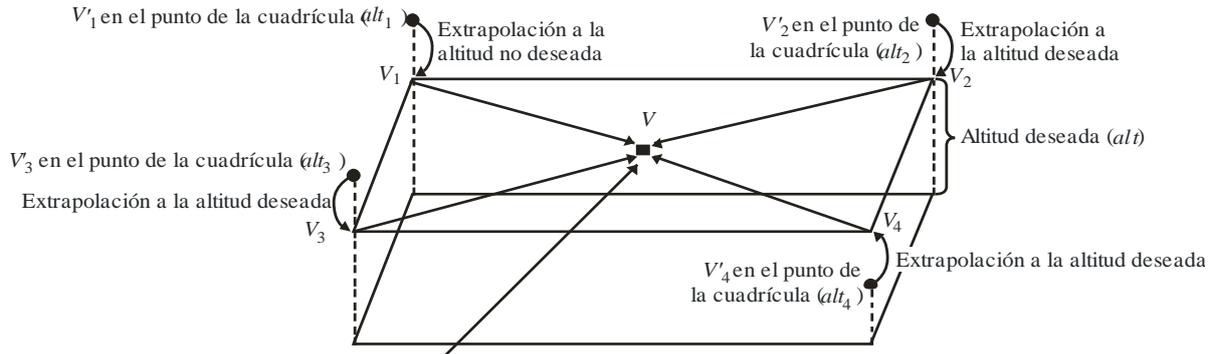
- a) se determinan las dos probabilidades, p_{encima} y p_{debajo} , por encima y por debajo de la probabilidad deseada, p , del conjunto: 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 60; 70; 80; 90; 95 y 99% para las estadísticas anuales, y del conjunto: 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95 y 99% para las estadísticas mensuales;
- b) para las dos probabilidades, p_{encima} y p_{debajo} , se determina el contenido total de vapor de agua, V_1' , V_2' , V_3' y V_4' en los cuatro puntos de la cuadrícula más próximos;
- c) utilizando el fichero de datos de altura de escala de vapor de agua anual o mensual correspondiente a las probabilidades p_{encima} y p_{debajo} , se determina la altura de escala de vapor de agua en los cuatro puntos de la cuadrícula más próximos $vsch_1$, $vsch_2$, $vsch_3$ y $vsch_4$ para cada probabilidad, p_{encima} y p_{debajo} ;
- d) utilizando el mapa digital de altitud topográfica TOPO_0DOT5.txt que forma parte de esta Recomendación y se facilita en el archivo de Suplemento, se determinan las altitudes topográficas alt_1 , alt_2 , alt_3 y alt_4 , en los cuatro puntos de la cuadrícula más próximos utilizando el método de interpolación bicúbica especificado en el Anexo 1 de la Recomendación UIT-R P.1144;
- e) para cada uno de los cuatro puntos de la cuadrícula más próximos y cada probabilidad, se determina el contenido total de vapor de agua, V_1 , V_2 , V_3 y V_4 , a la altitud deseada, alt , extrapolando el contenido total de vapor de agua, de una columna de aire V_1' , V_2' , V_3' y V_4' , mediante la siguiente relación:

$$V_i = V_i' e^{\frac{alt - alt_i}{vsch_i}} \quad \text{para } i = 1, 2, 3, 4 \quad (2)$$

- f) se determina el contenido total de vapor de agua, de una columna de aire V_{encima} y V_{debajo} , a las probabilidades p_{encima} y p_{debajo} y en el emplazamiento deseado efectuando una interpolación bilineal de los cuatro valores del contenido total de vapor de agua, de una columna de aire V_1 , V_2 , V_3 y V_4 , en los cuatro puntos de la cuadrícula como se describe en la Recomendación UIT-R P.1144 (como referencia, se muestra en la Fig. 2 el procedimiento para determinar V_{encima} y V_{debajo} a partir de V_1' , V_2' , V_3' y V_4');
- g) se determina el contenido total de vapor de agua, de una columna de aire, V , a la probabilidad deseada, p , interpolando V_{encima} y V_{debajo} en función de p_{encima} y p_{debajo} a p en una escala lineal de V en función de $\log p$.

FIGURA 2

Procedimiento de interpolación para probabilidades por encima y por debajo de la probabilidad deseada



Interpolación bilineal V , a la latitud, longitud y altitud deseadas a partir de los cuatro puntos de la cuadrícula extrapolados a la misma altitud