

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R P.2041
(09/2013)

**Predicción de la atenuación del trayecto
por enlaces entre una plataforma
aerotransportada y el espacio y entre
una plataforma aerotransportada
y la superficie de la Tierra**

Serie P
Propagación de las ondas radioeléctricas



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.2041

Predicción de la atenuación del trayecto por enlaces entre una plataforma aerotransportada y el espacio y entre una plataforma aerotransportada y la superficie de la Tierra

(2013)

Cometido

Esta Recomendación predice los diversos efectos de propagación que es necesario considerar en la planificación de sistemas aerotransportados que funcionan en sentido aeronave-espacio o aeronave-Tierra.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que en el diseño de sistemas aerotransportados, es necesario tener un conocimiento preciso de la calidad de funcionamiento del sistema debido a la propagación de las ondas radioeléctricas entre una plataforma aerotransportada y un satélite y entre una plataforma aerotransportada y la superficie de la Tierra;
- b) que la plataforma aerotransportada puede estar situada a cualquier altura entre la superficie de la Tierra y la parte superior de la estratosfera;
- c) que los sistemas pueden funcionar más allá de la línea de visibilidad directa;
- d) que las bandas de frecuencia utilizadas pueden estar en la gama de 30 MHz y 50 MHz o más elevada,

observando

- a) que el UIT-R ha establecido y probado métodos de predicción que prevén las degradaciones medias a largo plazo debidas a los efectos atmosféricos (por ejemplo, atenuación debida a los gases, atenuación debida a la lluvia, atenuación debida a las nubes y atenuación debida al centelleo) entre un terminal situado en la superficie de la Tierra y el espacio;
- b) que estos métodos de predicción de la propagación Tierra-espacio del UIT-R pueden extrapolarse para predecir el comportamiento de los enlaces a bordo de aeronaves entre una plataforma aerotransportadas y un satélite y entre una plataforma aerotransportada y la superficie de la Tierra,

recomienda

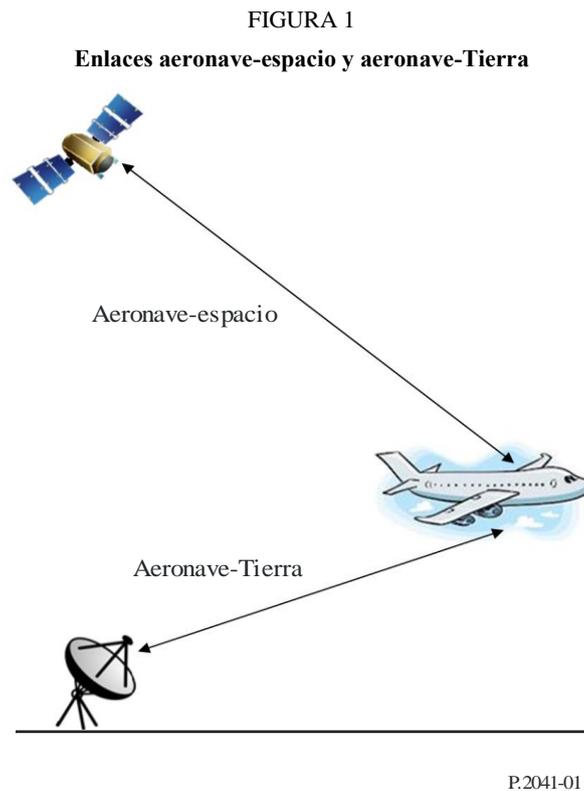
que se utilicen los siguientes métodos de predicción para prever las degradaciones medias a largo plazo (por ejemplo, la atenuación y el desvanecimiento por centelleo) debidas a los efectos atmosféricos entre una plataforma aerotransportada y un satélite y entre una plataforma aerotransportada y la superficie de la Tierra.

1 Relación con otras Recomendaciones del UIT-R

Otras Recomendaciones de la serie P abordan el tema de la propagación entre plataformas aerotransportadas: Recomendación UIT-R P.528 – Curvas de propagación para los servicios móvil aeronáutico y de radionavegación aeronáutica que utilizan las bandas de ondas métricas, decimétricas y centimétricas y Recomendación UIT-R P.682 – Datos de propagación necesarios para el diseño de sistemas de telecomunicaciones móviles aeronáuticos Tierra-espacio.

- La Recomendación UIT-R P.528 predice las pérdidas de transmisión básicas para frecuencias de 125 MHz a 15,5 GHz entre dos antenas situadas a diversas alturas y distancias. Si bien el modelo está destinado fundamentalmente a tratar los efectos de multitrayecto, difracción y dispersión troposférica, también incluye modelos sencillos de atenuación gaseosa y debida a la lluvia aplicables a emplazamientos genéricos de clima continental templado. Como resultado, el modelo no es aplicable a frecuencias más elevadas y climas distintos en los que predominan la atenuación debida a los gases, a la lluvia y a las nubes.
- La Recomendación UIT-R P.682 trata los efectos troposféricos, los efectos ionosféricos. El desvanecimiento debido a reflexiones en la superficie y la dispersión entre una plataforma aerotransportada y el espacio para frecuencias próximas a 1,5 GHz.

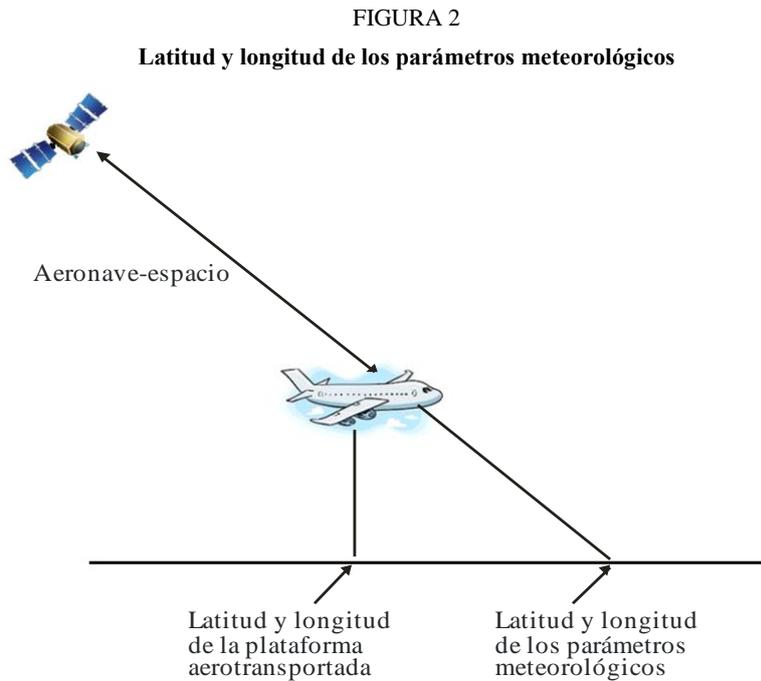
En la Fig. 1 se representan los enlaces aeronave-espacio y aeronave-Tierra.



Aunque los siguientes métodos de predicción se consideran aproximadamente correctos, no han sido probados ni validados con datos medidos.

2 Consideración sobre el uso de mapas meteorológicos digitales

Existen varios mapas de parámetros meteorológicos que son funciones de la latitud y la longitud en la superficie de la Tierra. Para un trayecto entre una plataforma aerotransportada y el espacio, los diversos parámetros meteorológicos deben determinarse en el punto en que el trayecto entre el espacio y la plataforma aerotransportada interceptaría a la Tierra, en vez de en la latitud y la longitud de la plataforma aerotransportada. Esta distinción, que se representa en la Fig. 2, es importante porque algunos parámetros meteorológicos se definen en la superficie de la Tierra (por ejemplo, la temperatura de la superficie y el término de humedad de la reflectividad radioeléctrica).



P.2041-02

3 Consideración sobre una notación coherente

Las Recomendaciones UIT-R P.836 y UIT-R P.618 utilizan la variable p para la probabilidad de rebasamiento, y la Recomendación UIT-R P.676 emplea la variable P para dicha probabilidad. En la siguiente discusión se utilizará la variable p .

4 Aplicabilidad de los métodos de predicción

Estos métodos de predicción son aplicables a enlaces entre una plataforma aerotransportada y el espacio y entre una plataforma aerotransportada y la superficie de la Tierra, donde:

- frecuencia ≤ 55 GHz;
- ángulo de elevación (φ) respecto al plano horizontal local $\geq 5^\circ$.

Dependiendo de la frecuencia y del ángulo de elevación, puede que sea necesario considerar el desvanecimiento multirayecto (véase la Recomendación UIT-R P.528); y dependiendo del emplazamiento, la hora del día y la actividad solar, puede que sea preciso considerar el centelleo ionosférico para frecuencias por debajo de unos 6 GHz (véase la Recomendación UIT-R P.531).

5 Atenuación entre una plataforma aerotransportada y el espacio

5.1 Método de predicción de la atenuación total

Si la plataforma aerotransportada se encuentra por debajo de la altura de lluvia.

De forma similar a lo indicado en la Recomendación UIT-R P.618, la atenuación total entre una plataforma aerotransportada y el espacio $A_T^{AS}(p)$, se calcula como sigue:

$$A_T^{AS}(p) = A_G^{AS}(p) + \sqrt{\left(A_R^{AS}(p) + A_C^{AS}(p)\right)^2 + \left(A_S^{AS}(p)\right)^2} \quad (1)$$

siendo:

$A_R^{AS}(p)$: atenuación debida a la lluvia con una probabilidad fija (dB)

$A_C^{AS}(p)$: atenuación debida a las nubes con una probabilidad fija (dB)

$A_G^{AS}(p)$: atenuación gaseosa debida al vapor de agua y al oxígeno con una probabilidad fija (dB)

$A_S^{AS}(p)$: desvanecimiento debido al centelleo troposférico con una probabilidad fija (dB)

y

$$A_C^{AS}(p) = A_C^{AS}(1\%) \quad \text{para } p < 1,0\% \quad (2a)$$

$$A_G^{AS}(p) = A_G^{AS}(1\%) \quad \text{para } p < 1,0\% \quad (2b)$$

Si la plataforma aerotransportada se encuentra por encima de la altura de la lluvia.

La atenuación total entre la plataforma aerotransportada y el espacio, $A_T^{AS}(p)$, se calcula como sigue:

$$A_T^{AS}(p) = A_G^{AS}(p) + A_C^{AS}(p) \quad (3)$$

siendo:

$A_C^{AS}(p)$: atenuación debida a las nubes con una probabilidad fija (dB)

$A_G^{AS}(p)$: atenuación gaseosa debida al vapor de agua y al oxígeno con una probabilidad fija (dB)

y

$$p \geq 0,1\%.$$

En los trayectos Tierra-espacio, los valores de la atenuación gaseosa, la atenuación debida a las nubes, la atenuación debida a la lluvia y el desvanecimiento por centelleo se determinan utilizando los diversos mapas meteorológicos digitales asociados, normalmente sobre una rejilla de $1,125^\circ \times 1,125^\circ$. En los siguientes párrafos se describe la forma de ajustar los métodos de predicción que se aplican a los trayectos Tierra-espacio entre una plataforma aerotransportada y el espacio.

5.2 Atenuación gaseosa

La atenuación gaseosa para un trayecto Tierra-espacio se predice en la Recomendación UIT-R P.676:

$$A_G(p) = \frac{A_o + A_w(p)}{\text{sen}\varphi} \quad (4)$$

Para un trayecto entre una plataforma aerotransportada y el espacio, la correspondiente atenuación gaseosa es:

$$A_G^{AS}(p) = \frac{A_o^{AS} + A_w^{AS}(p)}{\text{sen}\varphi} \quad (5)$$

A_o^{AS} se predice como sigue:

$$A_o^{AS} = A_o e^{-\text{altitud}/h_o} \quad (6)$$

donde *altitud* es la altura por encima de la superficie de la Tierra y h_o se obtiene de la Recomendación UIT-R P.676 utilizando la frecuencia de interés y r_p en la superficie de la Tierra.

$A_w^{AS}(p)$ se predice en la Recomendación UIT-R P.676 donde $V_t(p)$ se obtiene del Anexo 2 a la Recomendación UIT-R P.836 y *alt* es la altitud de la plataforma aerotransportada por encima del nivel medio del mar especificada en el Anexo 2, § 1 e) de la Recomendación UIT-R P.836.

5.3 Atenuación debida a las nubes

Es difícil predecir la atenuación debida a las nubes desde una plataforma aerotransportada hasta el espacio puesto que pueden aparecer distintos tipos de nubes a diferentes altitudes y con diversas extensiones verticales. Sin embargo, un método conservador consiste en suponer que la base de la nube se encuentra a la altura de la lluvia especificada en la Recomendación UIT-R P.838 y la parte superior de la nubes está a 6 km. Con arreglo a la Recomendación UIT-R P.840 el cálculo de la atenuación debida a las nubes se realiza como sigue: se utiliza el 100% del contenido total de la columna de agua líquida en la nube para altitudes por debajo de la altura de la lluvia y el 0% del contenido total de la columna de agua líquida en la nube para altitudes por encima de la parte superior de la nube, con una transición lineal del contenido total de la columna de agua líquida en la nube entre la base de la nube y la parte superior de la nube.

5.4 Atenuación debida a la lluvia

La atenuación debida a la lluvia se predice en la Recomendación UIT-R P.618 que calcula la longitud del trayecto oblicuo, L_s , desde h_s , que es la altura de la estación terrena por encima del nivel medio del mar. Para un trayecto entre una plataforma aerotransportada y el espacio, h_s se sustituye por la altitud de la plataforma aerotransportada por encima del nivel medio del mar con la restricción de que si h_s es mayor o igual a que h_R , la atenuación debida a la lluvia es 0 dB.

5.5 Desvanecimiento debido al centelleo troposférico

El desvanecimiento debido al centelleo troposférico se predice en la Recomendación UIT-R P.618. Si la plataforma aerotransportada se encuentra a una altitud por debajo de la altura de lluvia especificada en la Recomendación UIT-R P.839, el centelleo troposférico se calcula suponiendo que la plataforma aerotransportada se encuentra en la superficie de la tierra. Si dicha plataforma está ubicada a una altitud por encima de la altura de la lluvia especificada en la Recomendación UIT-R P.839, se ignora el centelleo troposférico.

6 Atenuación entre una plataforma aerotransportada y la superficie de la Tierra

6.1 Método de predicción de la atenuación total

De forma similar a lo indicado en la Recomendación UIT-R P.618, la atenuación total entre una plataforma aerotransportada y la superficie de la Tierra, $A_T^{AE}(p)$, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$A_T^{AE}(p) = A_G^{AE}(p) + \sqrt{(A_R^{AE}(p) + A_C^{AE}(p))^2 + (A_S^{AE}(p))^2} \quad (7)$$

siendo:

$A_R^{AE}(p)$: atenuación debida a la lluvia con una probabilidad fija (dB)

$A_C^{AE}(p)$: atenuación debida a las nubes con una probabilidad fija (dB)

$A_G^{AE}(p)$: atenuación gaseosa debida al vapor de agua y al oxígeno con una probabilidad fija (dB)

$A_S^{AE}(p)$: desvanecimiento debido al centelleo troposférico con una probabilidad fija (dB)

y

$$A_C^{AE}(p) = A_C^{AE}(1\%) \quad \text{para } p < 1,0\% \quad (8a)$$

$$A_G^{AE}(p) = A_G^{AE}(1\%) \quad \text{para } p < 1,0\% \quad (8b)$$

6.2 Atenuación gaseosa

$A_G^{AE}(p)$ se predice como sigue:

$$A_G^{AE}(p) = A_G(p) - A_G^{AS}(p) \quad (9)$$

siendo

$A_G(p)$: atenuación gaseosa entre la superficie de la Tierra y el espacio a lo largo del mismo trayecto

$A_G^{AS}(p)$: se calcula mediante la ecuación (5)

6.3 Atenuación debida a las nubes

Es difícil predecir la atenuación causada por las nubes entre una plataforma aerotransportada y la superficie de la Tierra ya que pueden existir distintos tipos de nubes que se encuentran a altitudes diferentes y con diversas extensiones verticales. Sin embargo, un método conservador consiste en incluir la atenuación debida a la lluvia prevista por la Recomendación UIT-R P.840 para todas las altitudes.

6.4 Atenuación debida a la lluvia

$A_R^{AE}(p)$: se predice como sigue:

$$A_R^{AE}(p) = A_R(p) - A_R^{AS}(p) \quad (10)$$

siendo $A_R(p)$ la atenuación debida a la lluvia entre la superficie de la Tierra y el espacio.

6.5 Desvanecimiento debido al centelleo troposférico

El desvanecimiento debido al centelleo troposférico se predice en la Recomendación UIT-R P.618. El centelleo troposférico se incluye para todas las altitudes.

7 Aplicabilidad a misiones aerotransportadas específicas

Los métodos de predicción descritos en esta Recomendación corresponden a la disponibilidad media a largo plazo para una altitud y un ángulo de elevación específicos. Estos métodos de predicción también pueden emplearse para predecir el caso más desfavorable o la disponibilidad media del enlace para cualquier perfil de altitud y ángulo de elevación aplicables. La duración temporal de una degradación (por ejemplo, la atenuación debida a la lluvia) dependerá de la dinámica de la plataforma aerotransportada.