Recomendación UIT-R P.1144-12

(08/2023)

Serie P: Propagación de las ondas radioeléctricas

Guía para la aplicación de los métodos de propagación de la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones

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, 2023

© UIT 2023

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.1144-12

Guía para la aplicación de los métodos de propagación de  
la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones

(1995-1999-2001-2007-2009-2012-2015-06/2017-12/2017-2019-2021-2023)

Cometido

Esta Recomendación sirve de guía para las Recomendaciones de la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones que contienen métodos de predicción de la propagación. Además, orienta a los usuarios sobre los métodos más adecuados para determinadas aplicaciones, así como sobre los límites, la información necesaria y los resultados de cada uno de ellos.

Palabras clave

Propagación de las ondas radioeléctricas, métodos de predicción, productos digitales, interpolación espacial, sistema de referencia de altura.

Glosario

|  |  |
| --- | --- |
| Símbolo | Descripción |
| n | Número de puntos de cuadratura gaussiana (nodos) |
|  | Factores de ponderación de la cuadratura gaussiana |
|  | Puntos de cuadratura gaussiana |

Otros símbolos no enumerados en el cuadro anterior son de naturaleza intermedia y carecen de definición.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

que es necesario ayudar a los usuarios de las Recomendaciones UIT-R de la Serie P (elaboradas por la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones),

recomienda

**1** que se considere la información del Cuadro 1 como orientación para aplicar los diversos métodos de propagación que se exponen en las Recomendaciones UIT-R de la Serie P (elaboradas por la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones);

**2** que se considere la información del Cuadro 2 y del Anexo 1 como orientación sobre la utilización de los diversos mapas digitales de parámetros geofísicos que se necesitan para la aplicación de los métodos de propagación del *recomienda* 1.

NOTA – Para cada una de las Recomendaciones UIT-R que figuran en el Cuadro 1 hay columnas de información correspondientes que indican:

*Aplicación:* el servicio o servicios o la aplicación a que se refiere la Recomendación.

*Tipo:* la situación a la que se aplica la Recomendación, por ejemplo, punto a punto, punto a zona, visibilidad directa, etc.

*Resultado:* el valor del parámetro resultante de la aplicación del método de la Recomendación, por ejemplo, la pérdida básica de transmisión.

*Frecuencia:* la gama de frecuencias para la que se aplica la Recomendación.

*Distancia:* la gama de distancias para la que se aplica la Recomendación.

*Porcentaje de tiempo:* valores, o gama de valores de porcentajes de tiempo para los que se aplica la Recomendación; es decir, cada porcentaje de tiempo en que se excede la señal prevista durante un año promedio.

*Porcentaje de emplazamientos:* gama porcentual de emplazamientos para la que se aplica la Recomendación; se trata de cada porcentaje de emplazamientos dentro de un cuadrado, por ejemplo, de 100‑200 m de lado en el que se excede la señal prevista.

*Altura del terminal:* gama de alturas de la antena del terminal a que se refiere la Recomendación.

*Datos de partida:* lista de parámetros utilizada en el método de la Recomendación; la lista se ordena según la importancia del parámetro y, en algunos casos, pueden utilizarse valores por defecto.

La información indicada en el Cuadro 1 figura ya en las propias Recomendaciones; no obstante, dicho Cuadro permite a los usuarios examinar rápidamente la capacidad (y limitaciones) de las Recomendaciones sin necesidad de buscar en el texto.

CUADRO 1

Métodos de predicción de la propagación de ondas radioeléctricas del UIT-R

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Método | Título | Aplicación | Tipo | Resultado | Frecuencia | Distancia | Porcentaje de tiempo | Porcentaje de emplazamientos | Altura del terminal | Datos de partida |
| Rec. UIT-R P.368 | Curvas de propagación por onda de superficie para frecuencias comprendidas entre 10 kHz y 30 MHz | Todos los servicios | Punto a punto | Intensidad de campo | 10 kHz a 30 MHz | 1 a 10 000 km | No aplicable | No aplicable | Con base en el suelo | Frecuencia Conductividad del suelo |
| Rec. UIT-R P.452 | Procedimiento de predicción para evaluar la interferencia entre estaciones situadas en la superficie de la Tierra a frecuencias superiores a unos 0,1 GHz | Servicios que emplean estaciones situadas en la superficie de la Tierra; interferencia | Punto a punto | Pérdida básica de transmisión | 100 MHz a 50 GHz | No especificada, pero llega hasta el horizonte radioeléctrico y más allá de él | 0,001 a 50 Año medio y mes más desfavorable | No aplicable | No se especifican límites, dentro de la capa de superficie de la atmósfera (No es adecuado para aplicaciones aeronáuticas) | Datos del perfil del trayecto Frecuencia Porcentaje de tiempo Altura de la antena de transmisión Altura de la antena de recepción Latitud y longitud del transmisor Latitud y longitud del receptor Datos meteorológicos Polarización |
| Rec. 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 | Móvil aeronáutico | Punto a zona | Pérdida básica de transmisión | 100 MHz a 30 GHz | No especificada, pero llega hasta el horizonte radioeléctrico y más allá de él. Para aplicaciones aeronáuticas una distancia de 0 km en el círculo máximo no implica un trayecto de 0 km. | 1 a 99 | No aplicable | Altura de los terminales  1,5 – 20 000 m | Distancia Altura del transmisor Frecuencia Altura del receptor Porcentaje de tiempo  Polarización |

CUADRO 1 (*continuación*)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Método | Título | Aplicación | Tipo | Resultado | Frecuencia | Distancia | Porcentaje de tiempo | Porcentaje de emplazamientos | Altura del terminal | Datos de partida |
| Rec. UIT-R P.530 | Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa | Enlaces fijos con visibilidad directa | Punto a punto con visibilidad directa | Pérdida de propagación Mejora por diversidad (condiciones de cielo despejado) XPD(2) Interrupción Característica  de error | Aproximadamente 150 MHz a 100 GHz | Hasta 200 km con visibilidad directa | Todos los porcentajes de tiempo en condiciones de cielo despejado; 1 a 0,001 en condiciones de precipitación(1); y el mes más desfavorable para la atenuación | No aplicable | Altura suficiente para asegurar el despejamiento especificado del trayecto | Distancia Altura del transmisor Frecuencia Altura del receptor Porcentaje de tiempo Datos de obstrucción del terreno Datos climáticos Información del terreno |
| Rec. UIT-R P.533 | Método de predicción de la calidad de funcionamiento de circuitos que funcionan en ondas decamétricas | Radiodifusión Fijo  Móvil | Punto a punto | MUF básica Intensidad de campo de la onda ionosférica Potencia disponible en el receptor Relación señal/ruido LUF Fiabilidad del circuito | 2 a 30 MHz | 0 a 40 000 km | Todos los porcentajes | No aplicable | No aplicable | Latitud y longitud del transmisor Latitud y longitud del receptor Número de manchas solares Mes Horas Frecuencias Potencia del transmisor Tipo de antena del transmisor Tipo de antena del transmisor |
| Rec. UIT-R P.534 | Método para calcular la intensidad de campo en presencia de la capa E esporádica | Fijo Móvil Radiodifusión | Punto a punto a través de la capa E esporádica | Intensidad de campo | 30 a 100 MHz | 0 a 4 000 km | 0,1 a 50 | No aplicable | No aplicable | Distancia Frecuencia |
| Rec. UIT-R P.617 | Datos de propagación y técnicas de predicción necesarios para el diseño de sistemas de radioenlaces transhorizonte | Enlaces fijos transhorizonte | Punto a punto | Pérdida básica de transmisión del trayecto | >30 MHz | 100 a 1 000 km | 0,001 a 99,999 | No aplicable | No se especifican límites dentro de la capa de superficie de la atmósfera (No es adecuado para aplicaciones aeronáuticas) | Frecuencia Ganancia de la antena transmisora Ganancia de la antena receptora Geometría del trayecto |

CUADRO 1 (*continuación*)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Método | Título | Aplicación | Tipo | Resultado | Frecuencia | Distancia | Porcentaje de tiempo | Porcentaje de emplazamientos | Altura del terminal | Datos de partida |
| Rec. UIT-R P.618 | Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas de telecomunicación Tierra-espacio | Satélite | Punto a punto | Pérdida de propagación Ganancia de diversidad y XPD(2) (en condiciones de precipitación) | 1 a 55 GHz | Cualquier altura de órbita práctica | 0,001-5 para la atenuación debida a la lluvia; 0,001-50 para la atenuación total 0,001-1 para XPD(2); también el mes más desfavorable para la atenuación | No aplicable | No hay límite | Datos meteorológicos Frecuencia Ángulo de elevación Altura de la estación terrena Separación y ángulo entre emplazamientos de estación terrena (para ganancia de diversidad) Diámetro y eficacia de la antena (para el centelleo) Ángulo de polarización (para XPD (2)) |
| Rec. UIT-R P.619 | Datos de propagación necesarios para evaluar la interferencia entre estaciones en el espacio y estaciones sobre la superficie de la Tierra | Satélite | Punto a punto | Pérdida básica de transmisión para interferencia de una sola fuente  Pérdida básica de transmisión con cielo despejado para una interferencia de fuentes múltiples | 0,1 a 100 GHz | Cualquier altura de órbita práctica | 0,001 a 50 | No aplicable | No hay límite | Frecuencia  Ángulo de elevación de la estación terrena  Separación angular del trayecto  Longitud del trayecto.  Atenuación gaseosa  Ganancia de centelleo  Atenuación máxima permitida de la señal deseada |
| Rec. UIT-R P.620 | Datos de propagación necesarios para evaluar las distancias de coordinación en la banda de frecuencias de 100 MHz a 105 GHz | Coordinación de frecuencia de la estación terrena | Distancia de coordinación | Distancia a la que se logran las pérdidas de propagación requeridas | 100 MHz a 105 GHz | Hasta 1 200 km | 0,001 a 50 | No aplicable | No se especifican límites dentro de la capa de superficie de la atmósfera (No es adecuado para aplicaciones aeronáuticas) | Pérdida de transmisión básica mínima Frecuencia Porcentaje de tiempo Ángulo de elevación de la estación terrena |

CUADRO 1 (*continuación*)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Método | Título | Aplicación | Tipo | Resultado | Frecuencia | Distancia | Porcentaje de tiempo | Porcentaje de emplazamientos | Altura del terminal | Datos de partida |
| Rec. UIT-R P.678 | Caracterización de la variabilidad de los fenómenos de propagación y estimación del riesgo asociado al margen de propagación | Modelos de intensidad de lluvia Satélite | Punto a punto | Variabilidad de los fenómenos de propagación | 12 a 50 GHz | Cualquier altura orbital práctica | 0,01-2 para índice de pluviosidad y atenuación debida a la lluvia a lo largo de trayectos oblicuos | No aplicable | No hay límite | Probabilidad de rebasamiento |
| Rec. UIT-R P.679 | Datos de propagación necesarios para el diseño de sistemas de radiodifusión por satélite | Satélite de radiodifusión | Punto a zona | Pérdida básica de transmisión en exceso.  Efecto del entorno local | 0,5 a 5,1 GHz | Cualquier altura orbital práctica | No aplicable | No se especifican límites | No se especifican límites | Frecuencia Ángulo de elevación Características del entorno local |
| Rec. UIT-R P.680 | Datos de propagación necesarios para el diseño de sistemas de telecomunicación móviles marítimos tierra‑espacio | Móvil marítimo por satélite | Punto a punto | Desvanecimiento causado por la superficie del mar Duraciones de los desvaneci- mientos Interferencia (satélite adyacente) | 0,8 a 8 GHz | Cualquier altura orbital práctica | Hasta 0,001% mediante una distribución Rice‑Nakagami Límite del 0,01% para la interferencia(1) | No aplicable | No hay límite | Frecuencia Ángulo de elevación Ganancia máxima en el eje de puntería de la antena |
| Rec. UIT-R P.681 | Datos de propagación necesarios para el diseño de sistemas de telecomunica- ciones móviles terrestres Tierra‑espacio | Móvil terrestre por satélite | Punto a punto | Desvanecimiento en el trayecto Duraciones de los desvanecimientos Duraciones de los intervalos sin desvanecimientos | 0,8 a 20 GHz | Cualquier altura orbital práctica | No aplicable Porcentaje de distancia recorrida de 1 a 80%(1) | No aplicable | No hay límite | Frecuencia Ángulo de elevación Porcentaje de la distancia recorrida Nivel aproximado del enmascaramiento óptico |
| Rec. UIT-R P.682 | Datos de propagación necesarios para el diseño de sistemas de telecomunica- ción móviles aeronáuticos Tierra-espacio | Móvil aeronáutico por satélite | Punto a punto | Desvanecimiento causado por la superficie del mar Trayectos múltiples a partir del suelo y la aeronave durante el aterrizaje | 1 a 2 GHz (desvanecimiento causado por la superficie del mar)  1 a 3 GHz (trayecto múltiple a partir del suelo) | Cualquier altura orbital práctica | Hasta 0,001% mediante una distribución Rice‑Nakagami(1) | No aplicable | No hay límite para el desvanecimiento causado por la superficie del mar Hasta 1 km para la reflexión en el suelo durante el aterrizaje | Frecuencia Ángulo de elevación Polarización Ganancia máxima en el eje de puntería de la antena Altura de la antena |

CUADRO 1 (*continuación*)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Método | Título | Aplicación | Tipo | Resultado | Frecuencia | Distancia | Porcentaje de tiempo | Porcentaje de emplazamientos | Altura del terminal | Datos de partida |
| Rec. UIT-R P.684 | Predicción de la intensidad de campo en frecuencias por debajo de unos 150 kHz | Fijo Móvil | Punto a punto Punto a zona | Intensidad de campo de la onda ionosférica | 30 a 150 kHz | 0 a 16 000 km | 50 | No aplicable | No aplicable | Latitud y longitud del transmisor Latitud y longitud del receptor Distancia Potencia del transmisor Frecuencia Constantes del suelo Estación Número de manchas solares Hora del día |
| Rec. UIT-R P.843 | Comunicaciones mediante la propagación por impulsos meteóricos | Fijo Móvil Radiodifusión | Punto a punto  por ráfagas  de meteoritos | Potencia recibida Tasa de ráfagas | 30 a 100 MHz | 100 a 1 000 km | 0 a 5 | No aplicable | No aplicable | Frecuencia Distancia Potencia del transmisor Ganancias de antena |
| Rec. UIT-R P.1147 | Predicción de la intensidad de campo de la onda ionosférica en frecuencias comprendidas entre 150 y 1 700 kHz aproximadamente | Radiodifusión | Punto a zona | Intensidad de campo de la onda ionosférica | 0,15 a 1,7 MHz | 50 a 12 000 km | 1, 10, 50 | No aplicable | No aplicable | Latitud y longitud del transmisor Latitud y longitud del receptor Distancia Número de manchas solares Potencia del transmisor Frecuencia |
| Rec. UIT-R P.1238 | Datos de propagación y métodos de predicción para la planificación de sistemas de radiocomunica- ciones en interiores y redes radioeléctricas de área local en la gama de frecuencias de 300 MHz a 100 GHz | Móvil Red radioeléctrica de área local (RLAN) | Métodos de propagación en el interior de edificios | Pérdida básica de transmisión Dispersión del retardo de propagación | 300 MHz a 450 GHz | Dentro de edificios | No aplicable | No aplicable | Base: aproximada­mente 2‑3 m Móvil: aproximada­ mente 0,5‑3 m | Frecuencia Distancia  Factores relacionados con el suelo y las paredes |

CUADRO 1 (*continuación*)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Método | Título | Aplicación | Tipo | Resultado | Frecuencia | Distancia | Porcentaje de tiempo | Porcentaje de emplazamientos | Altura del terminal | Datos de partida |
| Rec. UIT-R P.1410 | Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales de acceso radioeléctrico de banda ancha que funcionan en una gama de frecuencias de 3 a 60 GHz aproximadamente | Acceso radioeléctrico en banda ancha | Punto a zona | Cobertura Reducción temporal de la cobertura debida a la lluvia | 3 a 60 GHz | 0-5 km | 0,001 a 1 (para calcular la reducción de la cobertura debida a la lluvia) | Hasta 100 | Sin límites: 0‑300 m (típica) | Frecuencia Tamaño de la célula Altura del terminal Parámetros estadísticos de la altura de los edificios |
| Rec. UIT-R P.1411 | Datos de propagación y métodos de predicción para la planificación de los sistemas de radiocomunica- ciones de exteriores de corto alcance y redes de radiocomunica- ciones de área local en la gama de frecuencias de 300 MHz a 100 GHz | Móvil | Métodos de propagación en trayecto corto | Pérdida básica de transmisión Dispersión del retardo de propagación | 300 MHz a 100 GHz | < 1 km | No aplicable | No aplicable | Base: aproximada- mente 4‑50 m Móvil: aproximada­mente 0,5‑3 m | Frecuencia Distancia Dimensiones de la calle Altura de las estructuras |

CUADRO 1 (*continuación*)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Método | Título | Aplicación | Tipo | Resultado | Frecuencia | Distancia | Porcentaje de tiempo | Porcentaje de emplazamientos | Altura del terminal | Datos de partida |
| Rec. UIT-R P.1546 | Métodos de predicción de punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 6 GHz | Servicio terrenales | Punto a zona | Intensidad de campo | 30 a 6 MHz | Hasta 1 000 km | 1 a 99 | 1 a 99 | *Transmisor/base:* altura efectiva desde menos de 0 m hasta 3 000 m *Receptor/móvil:* ≥1 m | Altura y cobertura del terreno (opcional) Clasificación del trayecto Distancia Altura de la antena de transmisión Frecuencia Porcentaje de tiempo Altura de la antena de recepción Ángulo de despejamiento del terminal Porcentaje de emplazamientos Gradiente de refractividad |
| Rec. UIT-R P.1622 | Métodos de predicción requeridos para el diseño de sistemas Tierra-espacio que funcionan entre 20 THz y 375 THz | Enlaces ópticos de satélite | Punto a punto | Atenuación debida a la absorción Atenuación debida a la dispersión Ruido de fondo Centelleo de amplitud Ángulo de llegada Fluctuación lenta del haz Ensanchamiento del haz | 20 a 375 THz | Enlaces ópticos Tierra‑espacio de campo lejano | No aplicable | No aplicable | No hay límite | Longitud de onda Altura del terminal Ángulo de elevación Parámetro de la estructura de la turbulencia |
| Rec. UIT-R P.1623 | Método de predicción de la dinámica de los desvanecimientos en los trayectos Tierra-espacio | Satélite | Punto a punto | Duración de los desvanecimientos, pendiente de los desvanecimientos | 10 a 50 GHz | Cualquier altura orbital práctica | No aplicable | No aplicable | No hay límite | Frecuencia Ángulo de elevación Umbral de atenuación Anchura de banda del filtro |

CUADRO 1 (*continuación*)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Método | Título | Aplicación | Tipo | Resultado | Frecuencia | Distancia | Porcentaje de tiempo | Porcentaje de emplazamientos | Altura del terminal | Datos de partida |
| Rec. UIT-R P.1812 | Método de predicción de la propagación específico del trayecto para servicios terrenales punto a zona en las bandas de frecuencias de 30 MHz a 6 000 MHz | Servicios terrenales | Punto a zona | Intensidad de campo | 30 a 6 000 MHz | No se especifica pero hasta el horizonte radioeléctrico y más allá | 1 a 50 | 1 a 99 | No se especifican límites dentro de la capa de superficie de la atmósfera (No es adecuado para aplicaciones aeronáuticas) | Datos de perfil del trayecto Frecuencia Porcentaje de tiempo Altura de la antena de transmisión Altura de la antena de recepción Latitud y longitud del transmisor Latitud y longitud del receptor Datos meteorológicos Polarización |
| Rec. UIT-R P.1814 | Métodos de predicción necesarios para diseñar enlaces ópticos terrenales en espacio libre | Enlaces ópticos terrenales | Punto a punto | Atenuación debida a la absorción Atenuación debida a la dispersión Ruido de fondo Centelleo de amplitud Ensanchamiento del haz | 20 a 375 THz | No hay límite | No aplicable | No aplicable | No hay límite | Longitud de onda (visibilidad en la niebla) Longitud del trayecto Parámetro de la estructura de la turbulencia |
| Rec. UIT-R P.1853 | Síntesis de las series temporales de atenuación troposférica | Terrenal por satélite | Punto a punto | Atenuación debida a la lluvia para trayectos terrenales Atenuación total y centelleo troposférico para los trayectos Tierra‑espacio | 4 a 40 GHz para trayectos terrenales 4 a 55 GHz para trayectos Tierra‑espacio | Entre 2 y 60 km para trayectos terrenales Satélite geoestacionario | No aplicable | No aplicable | No hay límite | Datos meteorológicos Frecuencia Ángulo de elevación Altura de la estación terrena Separación y ángulo entre emplazamientos de estación terrena (para ganancia de diversidad) Diámetro y eficacia de la antena (para el centelleo) |

CUADRO 1 (*fin*)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Método | Título | Aplicación | Tipo | Resultado | Frecuencia | Distancia | Porcentaje de tiempo | Porcentaje de emplazamientos | Altura del terminal | Datos de partida |
| Rec. UIT-R P.2001 | Modelo de propagación terrenal de gran alcance polivalente en la gama de frecuencias de 30 MHz a 50 GHz | Servicios terrenales | Punto a punto | Pérdida básica de transmisión | 30 MHz a 50 GHz | 3 a 1 000 km | 0.001 a 99.999 | No aplicable | 8000 m por encima del nivel medio del mar, pero cerca del suelo, dentro de la troposfera. | Datos del perfil del trayecto Frecuencia Porcentaje de tiempo Altura, ganancia y dirección acimutal de la antena de transmisión Altura, ganancia y dirección acimutal de la antena de recepción Latitud y longitud del transmisor Latitud y longitud del receptor Polarización |
| Rec. 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 | A bordo de aeronave | Punto a punto | Atenuación total | 1 a 55 GHz | Cualquier altura | 0,001 a 50 | No aplicable | Entre la superficie de la Tierra y el espacio | Datos meteorológicos Frecuencia Ángulo de elevación Disponibilidad Altura de la plataforma a bordo de aeronave Diámetro y eficacia de la antena (para el centelleo) |
| (1) Porcentaje de tiempo de interrupción; para la disponibilidad del servicio, se substrae de 100 el valor.  (2) XPD: Discriminación por polarización cruzada. | | | | | | | | | | |

CUADRO 2

Productos digitales del UIT-R sobre métodos de predicción de la propagación de ondas radioeléctricas

| Recomendación UIT‑R | Descripción | Resolución de rejilla | Interpolación espacial requerida (véase el Anexo 1) | Interpolación en probabilidad | Interpolación de la variable | Observaciones |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| P.452 | Δ*N* medio anual  *N*0 medio anual | 1,5° × 1,5° | Bilineal | No aplicable | No aplicable | Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables(2) |
| P.453 | Distribuciones de probabilidad anuales y mensuales del término de humedad de la refractividad en la superficie (Nwet) | 0,75° × 0,75° | Bilineal | Logarítmica | No aplicable | Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables (2 |
| • Gradiente de refractividad en los 65 m más bajos de la atmósfera (unidades-N/km)  • Gradiente de refractividad en el kilómetro más bajo de la atmósfera (unidades-N/km)  • Porcentaje de tiempo para el que el gradiente de refractividad en los 100 m más bajos es inferior a −100 unidades-N/km | 0,75° × 0,75° | Bilineal | No definido | No aplicable | Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables (2) |
| Datos del conducto de superficie | 1,5° × 1,5° | Bilineal | No definido | No aplicable | Consúltese el software sobre propagación ionosférica y troposférica y la página web sobre ruido radioeléctrico |
| Datos del conducto elevado | 1,5° × 1,5° | Bilineal | No definido | No aplicable | Consúltese el software sobre propagación ionosférica y troposférica y la página web sobre ruido radioeléctrico |
| P.530 | Logaritmo de K, *LogK,* siendo *K*%, el factor geoclimático para el mes más desfavorable medio | 0,25 × 0,25 | Bilineal | No definido | Lineal | Véase la Recomendación para la aplicación y uso de estos conjuntos de datos. |
|  | La predicción empírica *dN*75 del 0,1% de la refractividad del mes más desfavorable medio aumenta con la altura en los 75 metros inferiores de la atmósfera | 0,25 × 0,25 | Bilineal | No definido | Lineal | Véase la Recomendación para la aplicación y uso de estos conjuntos de datos. |
| P.534 | Capa E esporádica (foEs) rebasada durante durante determinados porcentajes de tiempo al año | 1,5° × 1,5° | Bilineal | Lineal | No aplicable | Véanse los nombres de fichero aplicables en el fichero Readme(2) |
| P.617 | Δ*N* medio anual  *N*0 medio anual | 1,5° × 1,5° | Bilineal | No aplicable | No aplicable | Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables(2) |
| P.678 | Mapa de la relación climática | 0,5° × 0,5° | Bilineal | No aplicable | No aplicable | Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables(2) |
| P.834 | • Coeficientes armónicos del exceso de longitud de trayecto a lo largo de los trayectos Tierra-espacio  • Coeficientes armónicos de las funciones de correspondencia hidrostática y de humedad | 1,5° × 1,5° 5° × 5° | Bilineal No requerido | No definido | No aplicable | Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables(2) |

CUADRO 2 (*continuación*)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| P.835 | Datos experimentales de perfiles verticales atmosféricos (Anexo 2) | 353 emplazamientos | No requerido | No aplicable | No aplicable | Consúltese el software sobre propagación ionosférica y troposférica y la página web sobre ruido radioeléctrico |
| Datos de previsiones meteorológicas de perfiles verticales atmosféricos (Anexo 3) | 1,5° × 1,5° | No especificado | No aplicable | No aplicable | Consúltese el software sobre propagación ionosférica y troposférica y la página web sobre ruido radioeléctrico |
| P.836 | Probabilidad de rebasar el contenido de vapor de agua integrado de una columna de aire (%) (IWVC) | 1,125° × 1,125° | Bilineal(1) | Logarítmica | Líneal | Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables(2) |
| Probabilidad de rebasar la densidad de vapor de agua en la superficie (%) (Rho) | 1,125° × 1,125° | Bilineal(1) | Logarítmica | Lineal | Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables(2) |
| Altura de escala de vapor de agua | 1,125° × 1,125° | Bilineal(1) | Logarítmica | Lineal | Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables(2) |
| Altitud topográfica (a.m.s.l.) (km) | 0, 5° × 0, 5° | Bicúbico | No aplicable | No aplicable | Consúltese la Recomendación |
| P.837 | Lluvia media total mensual (mm)  R0,01 (mm/h) | 0,25° × 0,25°  0,125° × 0,125° | Bilineal  Bilineal | No aplicable  No aplicable | No aplicable  No aplicable | Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables (2) |
| Conversión de los datos estadísticos sobre intensidad de lluvia con arreglo a diversos tiempos de integración (Anexo 3) | No aplicable | No requerido | No aplicable | No aplicable | Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables(2) |
| P.839 | Altura media anual de la isoterma de 0° C (km) | 1,5° × 1,5° | Bilineal | No aplicable | No aplicable | Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables(2) |
| P.840 | Estadísticas anuales y mensuales (media, desviación típica y FDAC) del contenido de la columna de agua líquida  Aproximación del contenido de agua líquida integrado anual mediante distribución logarítmica normal | 0,25° × 0,25° | Bilineal | Logarítmica | Lineal | Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables(2) |

CUADRO 2 (*fin*)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Recomendación UIT‑R | Descripción | Resolución de rejilla | Interpolación espacial requerida (véase el Anexo 1) | Interpolación en probabilidad | Interpolación de la variable | Observaciones |
| P.1510 | Temperatura media mensual y anual en la superficie | 0,75° × 0,75° | Bilineal | No aplicable | No aplicable | Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivos aplicables (2) |
| P.1511 | Altitud topográfica (a.m.s.l.) (km) | 0,08333° × 0,08333° | Bicúbica | No aplicable | No aplicable | Esta Recomendación contiene definiciones de latitud, longitud y altura en las Recomendaciones de la serie P. Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables (2) |
| Modelo gravitacional de la Tierra 2008 (EGM2008) (m) | 0,08333° × 0,08333° | Bicúbica | No aplicable | No aplicable | Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables (2) |
| P.1812 | Δ*N* medio anual  *N*0 medio anual | 1,5° × 1,5° | Bilineal | No aplicable | No aplicable | Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables(2) |
| P.1853 | Presión media anual en la superficie  Densidad media annual del vapor de agua | 0,75° × 0,75° | Bilineal | No aplicable | No aplicable | WV\_Annual.txt P\_Annual.txt |
| P.2001 | Refractividad a nivel de superficie y gradiente en el kilómetro más bajo de la atmósfera | Múltiple | Bilineal | No aplicable | Lineal | Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables(2) |
| P.2001 y P.534 | Frecuencia crítica para la capa *E* esporádica(*F*0*Es*) | 1,5° × 1,5° | Bilineal | Lineal | Lineal | FoEs50.txt FoEs10.txt FoEs01.txt FoEs0.1.txt |
| P.2145 | Estadísticas anuales y mensuales (media, desviación típica y FDAC) de la presión de superficie  Estadísticas anuales y mensaules (media, desviación típica y FDAC) de la temperatura de superficie  Estadísticas anuales y mensuales (media, desviación típica y FDAC) de la densidad de vapor de agua de superficie  Estadísticas anuales y mensuales (media, desviación típica y FDAC) del contenido de vapor de agua integrado  Aproximación del contenido de vapor de agua integrado anual mediante una distribución de Weibull | 0,25° x 0,25° | Bilineal | Logarítmica | Lineal | Consúltese la Recomendación |
| P.2148 | Estadísticas anuales de velocidad del viento a una altura de 10 por encima de la superficie de la Tierra | 0,25° x 0,25° | Bilineal | Logarítmica | Lineal | Consúltese la Recomendación |
| (1) Las variables en los puntos de la cuadrícula circundantes se han referido a la altitud deseada antes de la interpolación espacial por el procedimiento de escalamiento en la Recomendación.  (2) El documento de referencia se incluye en el archivo Zip (Componentes) que figura en la página web relativa a la Recomendación. | | | | | | |

Para facilitar la referencia, la Fig. 1 muestra la relación entre los mapas geofísicos (casillas negras) y los efectos de la propagación (casillas blancas).

FIGURA 1



Anexo 1

# 1a Interpolación bilineal en una retícula trapezoidal

*Datos:* Valores de *X* en cuatro puntos circundantes: (*Lat*1, *LonC*), (*Lat*1, *LonD*), (*Lat*0, *LonA*), y (*Lat*0, *LonB*); es decir *X*(*Lat*1, *LonC*), *X*(*Lat*1, *LonD*), *X*(*Lat*0, *LonA*), y *X* (*Lat*0, *LonB*).

*Problema:* Determinar el valor *X*(*Lat*, *Lon*) en un punto (*Lat*, *Lon*) mediante interpolación bilineal.

Figura 2

Line chart

Description automatically generated with medium confidence

*Solución:* Definir dos variables auxiliares, y :

y calcular:

# 1b Interpolación bilineal en una cuadrícula cuadrada

figurA 3



*Datos:* Valores de *I* en cuatro puntos que rodean a los puntos de la cuadrícula: *I*(*R*,*C*), *I*(*R*,*C*+1), *I*(*R*+1,*C*),e *I*(*R*+1,*C*+1), donde *R*, *R*+ 1, *C*, y *C*+ 1 números enteros relativos a la fila y la columna.

*Problema:* Determinar *I*(*r,c*), donde *r* es un número de fila fraccional comprendido entre *R* y *R* +1 y *c* es un número de columna fraccional comprendido entre *C* y *C* *+*1, utilizando interpolación bilineal.

*Solución:* Calcular:

*I*(*r,c*)= *I*(*R*,*C*)[(*R*+1–*r*)(*C*+1–*c*)]

+*I*(*R*+1*,C)* [(*r*–*R*)(*C*+1*– c*)]

+ *I*(*R*,*C*+*1*)[(*R*+1*– r*)(*c*–*C*)]

+*I*(*R*+ 1,*C*+*1*) [(*r – R*)(*c*–*C*)]

# 2 Interpolación bicúbica

FIGURA 4



*Datos*: Valores de *I* en 16 puntos de la cuadrícula circundantes:

*I*(*R*,*C*), *I*(*R*,*C*+1), *I*(*R*,*C*+2), *I*(*R*,*C*+3),

*I*(*R*+ 1,*C*), *I*(*R*+ 1,*C*+1), *I*(*R*+ 1,*C*+2), *I*(*R*+1,*C*+3),

*I*(*R*+2,*C*), *I*(*R*+2,*C*+1), *I*(*R*+2,*C*+2), *I*(*R*+2,*C*+3),

*I(R*+3,*C*), *I*(*R*+3,C+ 1), *I*(*R*+3,*C*+ 2), *I*(*R*+3,*C*+3)

donde *R*, *R*+ 1, etc.; y *C*, *C*+ 1, etc. son enteros.

*Problema*: Calcular *I*(*r*,*c*),donde *r* es un número de fila fracción comprendido entre *R* + 1 y *R* + 2 y *c* es un número de columna fraccional comprendido entre *C* + 1 y *C* + 2, utilizando interpolación bicúbica.

Solución:

*Etapa 1:* Para cada fila, X, donde *X* = {*R*, *R* + 1, *R* + 2, *R* + 3}, calcular el valor interpolado en la columna fraccional *c* deseada como sigue:



donde:



y

*a* = –0,5

*Etapa 2:* Calcular *I*(*r*,*c*), interpolando las interpolaciones unidimensionales *RI*(*R*,*c*), *RI*(*R*+1,*c*), *RI*(*R*+2,*c*), y *RI*(*R*+3,*c*)de la misma manera que las interpolaciones de fila.

# 3 Integración por cuadratura gaussiana

La integración por cuadratura gaussiana es una aproximación precisa a una integral definida si el integrando, *f*(*x*), se aproxima adecuadamente por un polinomio de grado 2*n*-1 o menos en un intervalo de integración. El valor de debe seleccionarse sobre la base de la precisión deseada.

## 3.1 Integral simple

Puede aproximarse adecuadamente una integral simple por integración de cuadratura gaussiana observando que:

donde:

## 3.2 Integral doble

Puede aproximarse adecuadamente una integral doble por integración de cuadratura gaussiana observando que:

donde:

## 3.3 Algoritmo para calcular los puntos de cuadratura gaussiana (nodos) y los factores de ponderación

Este algoritmo calcula los puntos (nodos), , y factores de ponderación, , para , donde es el número de puntos de cuadratura Gaussiana (nodos). La variable es la precision del Sistema de coma flotante de la computadora utilizada[[1]](#footnote-1). En computadoras que soportan la aritmética de coma flotante del IEEE,  es aproximadamente 2,2204e-16 en caso de doble precisión. La función redondea el valor de x al entero más próximo igual menor que

Paso 1: Calcular

Repetir los Pasos 2 a 13 para a

Paso 2: Calcular

Paso 3: Calcular y

Repetir Pasos 4 y 5 para

Paso 4: Calcular y

Paso 5: Calcular

Paso 6: Calcular

Paso 7: Calcular

Paso 8: Calcular

Paso 9: If , entonces ir al Paso 3, si no es así ir al Paso 10

Paso 10: Calcular

Paso 11: Calcular

Paso 12: Calcular

Paso 13: Calcular

Repeat Paso 14 for to

Paso 14: Calcular and

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. En un suplemento accesible en el sitio web de la Comisión de Estudios 3 del UIT-R para productos digitales figuran ejemplos de valores de , puntos de cuadratura gaussiana, y y factores de ponderación de la cuadratura gaussiana. [↑](#footnote-ref-1)