

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)
W_i	Factores de ponderación de la cuadratura gaussiana
X_i	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 receptor
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 o causado por la superficie del mar Duraciones de los desvanecimientos 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 telecomunicaciones 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 telecomunicación 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 radiocomunicaciones 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: aproximadamente 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 radiocomunicaciones de exteriores de corto alcance y redes de radiocomunicaciones 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: aproximadamente 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	<i>Transmisor/base:</i> altura efectiva desde menos de 0 m hasta 3 000 m <i>Receptor/móvil:</i> ≥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 subtrae 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	ΔN medio anual N_0 medio anual	$1,5^\circ \times 1,5^\circ$	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)	$0,75^\circ \times 0,75^\circ$	Bilineal	Logarítmica	No aplicable	Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables ⁽²⁾
	<ul style="list-style-type: none"> 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 	$0,75^\circ \times 0,75^\circ$	Bilineal	No definido	No aplicable	Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables ⁽²⁾
	Datos del conducto de superficie	$1,5^\circ \times 1,5^\circ$	Bilineal	No definido	No aplicable	Consúltense el software sobre propagación ionosférica y troposférica y la página web sobre ruido radioeléctrico
	Datos del conducto elevado	$1,5^\circ \times 1,5^\circ$	Bilineal	No definido	No aplicable	Consúltense 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	$0,25^\circ \times 0,25^\circ$	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	$0,25^\circ \times 0,25^\circ$	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	$1,5^\circ \times 1,5^\circ$	Bilineal	Lineal	No aplicable	Véanse los nombres de fichero aplicables en el fichero Readme ⁽²⁾
P.617	ΔN medio anual N_0 medio anual	$1,5^\circ \times 1,5^\circ$	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	$0,5^\circ \times 0,5^\circ$	Bilineal	No aplicable	No aplicable	Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables ⁽²⁾
P.834	<ul style="list-style-type: none"> Coefficientes armónicos del exceso de longitud de trayecto a lo largo de los trayectos Tierra-espacio Coefficientes armónicos de las funciones de correspondencia hidrostática y de humedad 	$1,5^\circ \times 1,5^\circ$ $5^\circ \times 5^\circ$	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	Consúltense 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	Consúltense 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	Lineal	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	Consúltense la Recomendación
P.837	Lluvia media total mensual (mm) R _{0,01} (mm/h)	0,25° × 0,25°	Bilineal	No aplicable	No aplicable	Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables ⁽²⁾
		0,125° × 0,125°	Bilineal	No aplicable	No aplicable	
	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⁾

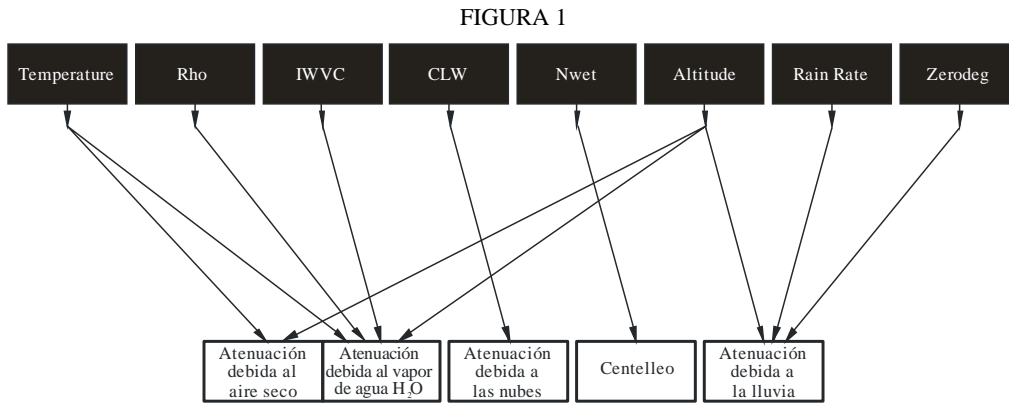
CUADRO 2 (fin)

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	$0,75^\circ \times 0,75^\circ$	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)	$0,08333^\circ \times 0,08333^\circ$	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)	$0,08333^\circ \times 0,08333^\circ$	Bicúbica	No aplicable	No aplicable	Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables ⁽²⁾
P.1812	ΔN medio anual N_0 medio anual	$1,5^\circ \times 1,5^\circ$	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 anual del vapor de agua	$0,75^\circ \times 0,75^\circ$	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_0E_s)	$1,5^\circ \times 1,5^\circ$	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 mensuales (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	$0,25^\circ \times 0,25^\circ$	Bilineal	Logarítmica	Lineal	Consúltense la Recomendación
P.2148	Estadísticas anuales de velocidad del viento a una altura de 10 por encima de la superficie de la Tierra	$0,25^\circ \times 0,25^\circ$	Bilineal	Logarítmica	Lineal	Consúltense 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).



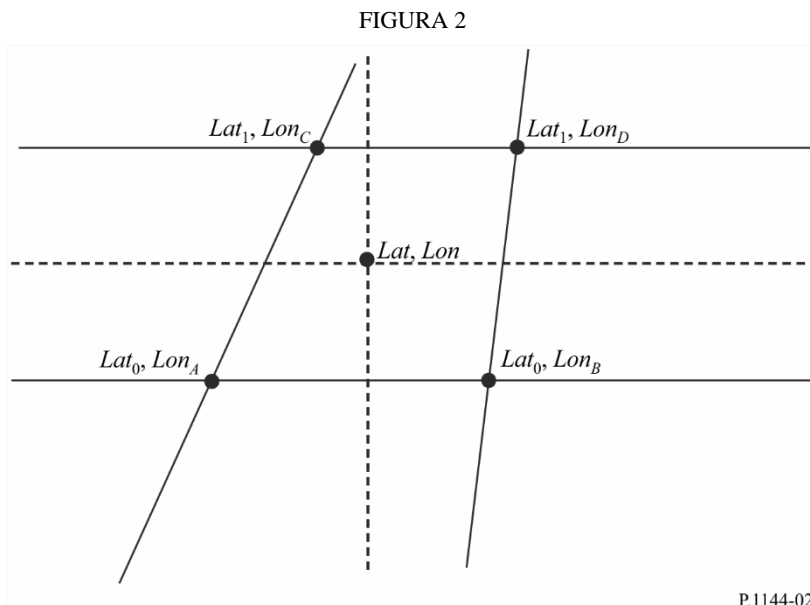
P.1144-01

Anexo 1

1a Interpolación bilineal en una retícula trapezoidal

Datos: Valores de X en cuatro puntos circundantes: (Lat_1, Lon_C) , (Lat_1, Lon_D) , (Lat_0, Lon_A) , y (Lat_0, Lon_B) ; es decir $X(Lat_1, Lon_C)$, $X(Lat_1, Lon_D)$, $X(Lat_0, Lon_A)$, y $X(Lat_0, Lon_B)$.

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



P.1144-02

Solución: Definir dos variables auxiliares, t y s :

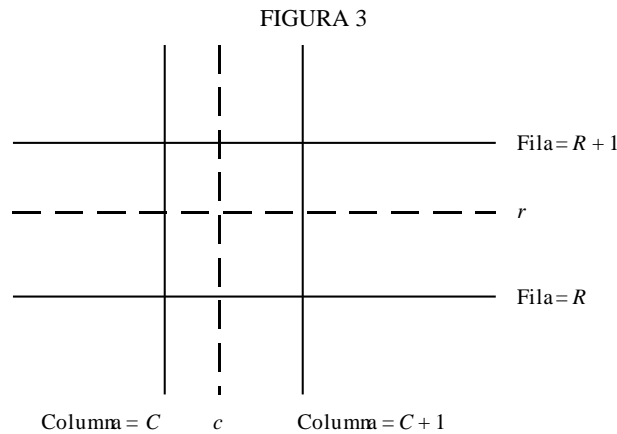
$$t = \frac{Lat - Lat_0}{Lat_1 - Lat_0}$$

$$s = \frac{Lon - Lon_A + t(Lon_A - Lon_C)}{Lon_B - Lon_A + t(Lon_A - Lon_C + Lon_D - Lon_B)}$$

y calcular:

$$\begin{aligned} X(Lat, Lon) &= (1 - s) (1 - t) X(Lat_0, Lon_A) \\ &+ (1 - s) t X(Lat_1, Lon_C) \\ &+ s (1 - t) X(Lat_0, Lon_B) \\ &+ t s X(Lat_1, Lon_D) \end{aligned}$$

1b Interpolación bilineal en una cuadrícula cuadrada



P.1144-03

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.

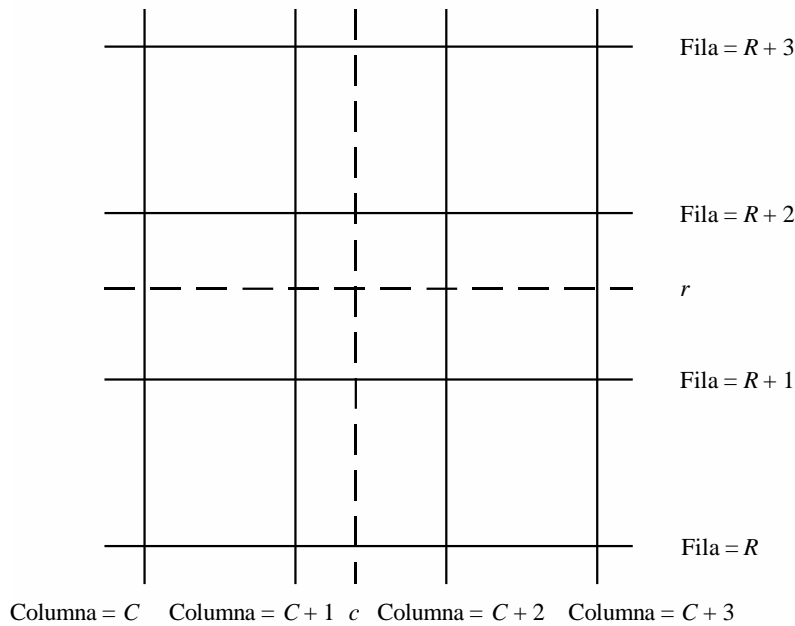
Problema: Determinar $I(r, c)$, donde r es un número de fila fraccional comprendido entre R y $R + 1$ y c es un número de columna fraccional comprendido entre C y $C + 1$, utilizando interpolación bilineal.

Solución: Calcular:

$$\begin{aligned} I(r, c) &= I(R, C) [(R + 1 - r)(C + 1 - c)] \\ &+ I(R + 1, C) [(r - R)(C + 1 - c)] \\ &+ I(R, C + 1) [(R + 1 - r)(c - C)] \\ &+ I(R + 1, C + 1) [(r - R)(c - C)] \end{aligned}$$

2 Interpolación bicúbica

FIGURA 4



P.1144-04

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 $R, R + 1, \text{etc.};$ y $C, C + 1, \text{etc.}$ 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:

$$RI(X,c) = \sum_{j=C}^{C+3} I(X, j) K(c - j)$$

donde:

$$K(\delta) = \begin{cases} (a + 2)|\delta|^3 - (a + 3)|\delta|^2 + 1 & \text{para } 0 \leq |\delta| \leq 1 \\ a|\delta|^3 - 5a|\delta|^2 + 8a|\delta| - 4a & \text{para } 1 \leq |\delta| \leq 2 \\ 0 & \text{para } 2 \leq |\delta| \end{cases}$$

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 $2n-1$ o menos en un intervalo de integración. El valor de n 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:

$$\begin{aligned} \int_a^b f(x) dx &= \int_{-1}^1 \left(\frac{b-a}{2}\right) f\left(\frac{a+b}{2} + \frac{b-a}{2}t\right) dt \\ &\approx \sum_{i=1}^n W'_i f(X'_i) \end{aligned}$$

donde:

$$\begin{aligned} W'_i &= \left(\frac{b-a}{2}\right) W_i \\ X'_i &= \frac{a+b}{2} + \frac{b-a}{2} X_i \end{aligned}$$

3.2 Integral doble

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

$$\begin{aligned} \int_a^b \int_c^d f(x,y) dx dy &= \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \left(\frac{b-a}{2}\right) \left(\frac{d-c}{2}\right) f\left(\frac{a+b}{2} + \frac{b-a}{2}s, \frac{c+d}{2} + \frac{d-c}{2}t\right) ds dt \\ &\approx \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W'_i Y'_j f(X'_i, Z'_j) \end{aligned}$$

donde:

$$\begin{aligned} W'_i &= \left(\frac{b-a}{2}\right) W_i \\ X'_i &= \frac{a+b}{2} + \frac{b-a}{2} X_i \end{aligned}$$

$$Y_j' = \left(\frac{d-c}{2}\right) W_j$$

$$Z_j' = \frac{c+d}{2} + \frac{d-c}{2} X_j$$

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

Este algoritmo calcula los puntos (nodos), X_i , y factores de ponderación, W_i , para $i = 1, 2, \dots, n$, donde n es el número de puntos de cuadratura Gaussiana (nodos). La variable eps es la precisión del Sistema de coma flotante de la computadora utilizada¹. En computadoras que soportan la aritmética de coma flotante del IEEE, eps es aproximadamente $2,2204e-16$ en caso de doble precisión. La función $floor(x)$ redondea el valor de x al entero más próximo igual menor que x .

Paso 1: Calcular $m = floor\left(\frac{n+1}{2}\right)$

Repetir los Pasos 2 a 13 para $i = 1$ a m

Paso 2: Calcular $X_i = \cos\left(\frac{4i-1}{4n+2}\pi\right)$

Paso 3: Calcular $Pm1 = 1$ y $P = X_i$

Repetir Pasos 4 y 5 para $j = 2$ a n

Paso 4: Calcular $Pm2 = Pm1$ y $Pm1 = P$

Paso 5: Calcular $P = \left(2 - \frac{1}{j}\right) X_i Pm1 - \left(1 - \frac{1}{j}\right) Pm2$

Paso 6: Calcular $P' = \frac{n \cdot (X_i \cdot P - Pm1)}{X_i^2 - 1}$

Paso 7: Calcular $\Delta = \frac{P}{P'}$

Paso 8: Calcular $X_i = X_i - \Delta$

Paso 9: If $|\Delta| > eps$, entonces ir al Paso 3, si no es así ir al Paso 10

Paso 10: Calcular $Xlast = X_i + \Delta$

Paso 11: Calcular $Pm1' = \frac{(n-1) \cdot Xlast \cdot Pm1 - Pm2}{(Xlast^2 - 1)}$

Paso 12: Calcular $Pm1 = Pm1 - \Delta \cdot Pm1'$

Paso 13: Calcular $W_i = \frac{2(1-X_i^2)}{(n \cdot Pm1)^2}$

Repeat Paso 14 for $i = m + 1$ to n

Paso 14: Calcular $X_i = -X_{floor\left(\frac{n}{2}\right)+m+1-i}$ and $W_i = W_{floor\left(\frac{n}{2}\right)+m+1-i}$

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 X_i , puntos de cuadratura gaussiana, y W_i y factores de ponderación de la cuadratura gaussiana.