

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R P.2108-1
(09/2021)

**Predicción de las pérdidas debidas
a la ocupación del suelo**

Serie P
Propagación de las ondas radioeléctricas



Unión
Internacional de
Telecomunicaciones

Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en 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, 2022

© UIT 2022

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.2108-1

Predicción de las pérdidas debidas a la ocupación del suelo

(2017-2021)

Cometido

En la presente Recomendación se describen métodos para calcular las pérdidas debidas a la ocupación del suelo en frecuencias comprendidas entre 30 MHz y 100 GHz.

Palabras clave

Aeronáutico, apantallamiento, atenuación, ocupación del suelo, terrenal, Tierra-espacio

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que para la evaluación de interferencia y planificación de sistemas podría ser necesario tener en cuenta la atenuación de las ondas radioeléctricas al pasar sobre o entre edificios;
- b) que cuando una estación terrenal pueda quedar apantallada por edificios, puede resultar difícil formular un cálculo detallado para el caso general y que las pérdidas debidas a la ocupación del suelo deben considerarse dependiente del caso concreto;
- c) que cuando las estaciones terrenas se encuentran en movimiento, la ocupación del suelo en el trayecto radioeléctrico será variable,

reconociendo

- a) que la Recomendación UIT-R P.1411 contiene datos y modelos para los sistemas radioeléctricos de corto alcance, principalmente dentro del entorno urbano entre 300 MHz y 100 GHz;
- b) que la Recomendación UIT-R P.2040 contiene fórmulas básicas para calcular la reflexión y la penetración en materiales de construcción, y una representación armonizada de las propiedades eléctricas de los materiales de construcción por encima de unos 100 MHz;
- c) que la Recomendación UIT-R P.452 describe un método de predicción para evaluar la interferencia entre estaciones situadas en la superficie de la Tierra a frecuencias desde unos 0,1 GHz a 50 GHz, teniendo en cuenta los mecanismos de interferencia por dispersión debida a los hidrometeoros y en cielo despejado;
- d) que la Recomendación UIT-R P.1812 describe un método de predicción de la propagación adaptado a los servicios terrenales punto a zona en la gama de frecuencias comprendida entre 30 MHz y 6 000 MHz;
- e) que la Recomendación UIT-R P.833 presenta varios modelos que permiten evaluar el efecto de la vegetación en las señales de ondas radioeléctricas entre 30 MHz y 60 GHz;
- f) que la Recomendación UIT-R P.2109 describe un modelo estadístico para calcular las pérdidas de penetración en edificios a frecuencias comprendidas entre unos 80 MHz y 100 GHz,

recomienda

que se utilice el material adjunto en el Anexo 1 para calcular las pérdidas debidas a la ocupación del suelo.

Anexo 1

Modelo de pérdidas debidas a la ocupación del suelo Descripción del método de cálculo

1 Introducción

En la presente Recomendación se describe un conjunto de modelos que pueden emplearse para calcular las pérdidas debidas a la ocupación del suelo en diversos entornos. Estos modelos pueden utilizarse como corrección última a los modelos de larga distancia o por encima de los tejados.

Se definen categorías para los entornos de ocupación del suelo y se describen métodos para calcular las pérdidas en el trayecto entre el tejado y el terminal con ocupación del suelo.

Se han de utilizar modelos estadísticos cuando no se conozca con exactitud el trayecto radioeléctrico, como la anchura de las calles, la altura de los edificios y la profundidad de la vegetación.

1.1 Definiciones de ocupación del suelo y de las pérdidas debidas a la ocupación del suelo

A continuación se define «ocupación del suelo» en el contexto de las Recomendaciones UIT-R de la serie P.

La ocupación del suelo se refiere a obstáculos, como edificios o vegetación, situados sobre la superficie de la Tierra, pero no por el terreno propiamente dicho. La ocupación del suelo alrededor del terminal transmisor/receptor puede afectar considerablemente a la propagación global. Normalmente el obstáculo más cerca del terminal es el que más afecta a la propagación, pero la distancia real depende de la naturaleza de la ocupación y de los parámetros radioeléctricos.

Los modelos de cálculo de pérdidas debidas a la ocupación del suelo que se describen en la presente Recomendación se basan en estadísticas. En cuanto a corrección final para el modelo de propagación a lo largo del trayecto, las «pérdidas debidas a la ocupación del suelo» se definen como la diferencia entre las pérdidas de transmisión y las pérdidas de transmisión básicas¹ con y sin la presencia de ocupación del suelo en el terminal en cualquiera de los dos extremos del trayecto, siendo constantes los demás parámetros del trayecto. Los modelos de propagación en trayectos cortos tienen en cuenta los efectos de la ocupación del suelo a lo largo de todo el trayecto.

2 Selección del modelo

El modelo adecuado se debe seleccionar en función de la frecuencia, el entorno alrededor del terminal y el tipo de trayecto. En el Cuadro 1 se resumen los modelos.

¹ Las «pérdidas de transmisión» y las «pérdidas de transmisión básicas» se definen en la Recomendación UIT-R P.341.

CUADRO 1

Resumen de modelos

Entorno del terminal	Ref.	Gama de frecuencias (GHz)	Descripción
Terminal por debajo de la altura representativa del obstáculo	§ 3.1	0,03 – 3	Se debe aplicar una corrección de pérdidas en el extremo a las pérdidas de transmisión básicas calculadas a/desde la altura representativa del obstáculo utilizada. Se aplica tanto al extremo transmisor como al receptor del trayecto.
Terminal terrenal dentro del obstáculo	§ 3.2	0,5 – 67	Modelo estadístico que puede aplicarse para modelizar la distribución de pérdidas debidas a la ocupación del suelo en entornos urbanos y suburbanos. Esta corrección puede aplicarse a ambos extremos del trayecto.
Un terminal dentro del obstáculo y el otro es un satélite, aeronave u otra plataforma por encima de la superficie de la Tierra.	§ 3.3	10 – 100	La distribución estadística de las pérdidas debidas a la ocupación del suelo no rebasada en el porcentaje de ubicaciones para ángulos de elevación entre 0 y 90 grados.

3 Modelos de pérdidas debidas a la ocupación del suelo

En las siguientes secciones se describen varios métodos de cálculo. En cada sección se describe el modelo y su aplicación adecuada, los parámetros requeridos y el método de cálculo.

3.1 Modelo de corrección altura-ganancia para el terminal

Este método permite obtener la mediana de las pérdidas debidas a los diferentes alrededores del terminal. Los mecanismos posibles incluyen la pérdida por obstrucción y la reflexión debida a obstáculos en la altura representativa, así como la dispersión y la reflexión debidas a la superficie y a obstáculos menores. Este método no es apto para identificar mecanismos individuales cuando se utiliza una aplicación informática con un perfil del terreno extraído de un modelo digital del terreno y con un entorno del terminal definido por una categoría de ocupación. El método aquí empleado distingue entre dos casos generales: para las categorías boscosa y urbana, se asume que el mecanismo dominante es la difracción por encima de los obstáculos; para el resto de categorías, se asume que domina la reflexión o la dispersión.

Se calculan las pérdidas adicionales, A_h , que pueden añadirse a las pérdidas de transmisión básicas del trayecto calculado por encima del obstáculo, por consiguiente las pérdidas de transmisión básicas deben calcularse a la altura o desde la altura representativa del obstáculo utilizada. Este modelo puede aplicarse tanto a los extremos transmisor y receptor del trayecto.

Gama de frecuencias: 0,03 a 3 GHz

3.1.1 Parámetros

Los parámetros se describen en el Cuadro 2.

CUADRO 2

Parámetros del modelo de corrección altura-ganancia del terminal

Parámetro	Símbolo	Valor por omisión
Frecuencia (GHz)	f	–
Altura de la antena(m)	h	–
Anchura de la calle(m)	w_s	27
Altura representativa del obstáculo(m)	R	Véase el Cuadro 3
Tipo de ocupación	–	–

El tipo de ocupación se utiliza para determinar el método de cálculo A_h como se indica en el Cuadro 3.

CUADRO 3

Información por omisión de la altura representativa del obstáculo, R (cuando no se dispone de información local)

Tipo de ocupación del suelo	R (m)	Método de cálculo A_h
Agua/mar	10	Ecuación (2b)
Espacio abierto/rural	10	Ecuación (2b)
Suburbano	10	Ecuación (2a)
Urbano/arboleda/ bosque	15	Ecuación (2a)
Urbano denso	20	Ecuación (2a)

3.1.2 Descripción del modelo

El método emplea una aproximación de las pérdidas por difracción para una sola arista afilada como función de parámetro adimensional, v , expresadas mediante:

$$J(v) = 6,9 + 20 \log \left(\sqrt{(v - 0,1)^2 + 1} + v - 0,1 \right) \quad (1)$$

Obsérvese que $J(-0,78) \approx 0$, lo que define el límite inferior para el que se debe utilizar esta aproximación. Para $v \leq -0,78$, $J(v)$ se debe poner a cero.

Cuando la antena del transmisor o del receptor esté ubicada por debajo de la altura R que representa la cobertura del terreno alrededor del transmisor o del receptor, las estimaciones de las pérdidas adicionales, A_h , se calculan como se indica a continuación. Cuando esté disponible, deben utilizarse las alturas representativas del obstáculo basadas en la información precisa sobre la altura del obstáculo, de lo contrario se debe utilizar el Cuadro 3. El método para modelizar las pérdidas es idéntico para el transmisor y para el receptor.

Si $h \geq R$ entonces $A_h = 0$.

Si $h < R$ entonces A_h puede tomar una de las siguientes dos formas, dependiendo del tipo ocupación del suelo (véase el Cuadro 3):

$$A_h = J(v) - 6,03 \quad \text{dB} \quad (2a)$$

o:

$$A_h = -K_{h2} \log(h/R) \quad \text{dB} \quad (2b)$$

$J(v)$ se calcula mediante la ecuación (1).

Los términos v y K_{h2} vienen dados por:

$$v = K_{nu} \sqrt{h_{dif} \theta_{clut}} \quad (2c)$$

$$h_{dif} = R - h \text{ m} \quad (2d)$$

$$\theta_{clut} = \tan^{-1} \left(\frac{h_{dif}}{w_s} \right) \text{ grados} \quad (2e)$$

$$K_{h2} = 21,8 + 6,2 \log(f) \quad (2f)$$

$$K_{nu} = 0,342 \sqrt{f} \quad (2g)$$

siendo:

f : frecuencia (GHz)

w_s : está relacionada con la anchura de la calle en (metros). Debe tener el valor 27, salvo que se disponga de información local específica.

La forma expresada en la ecuación (2a) representa las pérdidas por difracción de Fresnel cuando se pasa sobre un obstáculo, y se aplicaría a categorías de ocupación del suelo tales como edificios. En particular, los entornos urbanos corresponden a este tipo.

La ecuación (2b) representa la función ganancia de altura debida a la proximidad de la superficie en ubicaciones más abiertas. Las reflexiones especulares en la superficie son típicas de variaciones de la señal por debajo del primer valor máximo causado por la interferencia de dos rayos. En ausencia de reflexión especular, las variaciones por debajo de R se deben típicamente al oscurecimiento provocado por irregularidades y objetos menores.

3.2 Modelo estadístico de las pérdidas debidas a la ocupación del suelo para trayectos terrenales

En la presente sección se proporcionan las ecuaciones que describen la distribución estadística de las pérdidas debidas a la ocupación del suelo. El modelo puede aplicarse a las pérdidas por ocupación del suelo en zonas urbanas y suburbanas, siempre y cuando los terminales estén muy por debajo de la altura del obstáculo, como se indica en el Cuadro 1. Cabe destacar que las mediciones utilizadas para crear este modelo se basaron en terminales situados a 6 metros por encima del suelo como máximo.

Se calcula la pérdida adicional, L_{ctt} , y luego se añade a las pérdidas de transmisión o las pérdidas de transmisión básicas. Las pérdidas debidas a la ocupación del suelo varían en función del tipo de ocupación, la ubicación dentro del obstáculo y el movimiento dentro del mismo. Si las pérdidas de transmisión o las pérdidas de transmisión básicas se han calculado utilizando un modelo (por ejemplo, el de la Recomendación UIT-R P.1411) que inherentemente tiene en cuenta la ocupación del suelo a lo largo de todo el trayecto, no se debe aplicar el método siguiente.

Gama de frecuencias:	0,5 a 67 GHz
Longitud mínima del trayecto:	0,25 km (para la corrección que se aplica a un solo extremo del trayecto) 1,0 km (para la corrección que se aplica a los dos extremos del trayecto)
Porcentaje de ubicaciones:	$0 < p < 100$

3.2.1 Parámetros

Los parámetros se indican en el Cuadro 4.

CUADRO 4

Parámetros para el modelo estadístico de las pérdidas debidas a la ocupación del suelo en trayectos terrenales

Parámetro	Símbolo	Unidad
Frecuencia	f	GHz
Distancia	d	km
Porcentaje de ubicaciones	p	%

3.2.2 Descripción del modelo

Las pérdidas debidas a la ocupación del suelo no rebasadas durante el $p\%$ de las ubicaciones en el trayecto terrenal a terrenal, L_{ctt} , están limitadas por la ecuación (6) y vienen dadas por:

$$L_{ctt} = -5\log(10^{-0,2L_l} + 10^{-0,2L_s}) - \sigma_{cb}Q^{-1}(p/100) \text{ dB} \quad (3a)$$

$$\sigma_{cb} = \sqrt{(\sigma_l^2 10^{-0,2L_l} + \sigma_s^2 10^{-0,2L_s}) / (10^{-0,2L_l} + 10^{-0,2L_s})} \text{ dB} \quad (3b)$$

siendo $Q^{-1}(p/100)$ la función de distribución normal complementaria inversa, y

$$L_l = -2\log(10^{-5\log(f)-12,5} + 10^{-16,5}) \text{ dB} \quad (4a)$$

$$\sigma_l = 4 \text{ dB} \quad (4b)$$

$$L_s = 32,98 + 23,9\log(d) + 3\log(f) \text{ dB} \quad (5a)$$

$$\sigma_s = 6 \text{ dB} \quad (5b)$$

siendo d la longitud total del trayecto.

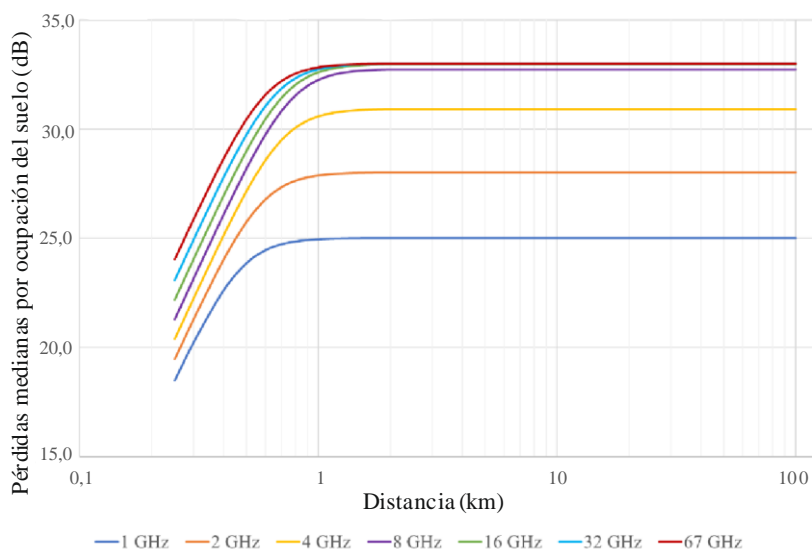
Las pérdidas debidas a la ocupación del suelo no deben superar un valor máximo, que viene dado por:

$$L_{ctt_{Max}} = L_{ctt_{2km}} \text{ dB} \quad (6)$$

siendo $L_{ctt_{2km}}$ las pérdidas debidas a la ocupación del suelo, donde $d = 2 \text{ km}$.

En la Figura 1 se muestran las pérdidas medianas por ocupación del suelo a diferentes frecuencias, calculadas mediante la ecuación (3).

FIGURA 1
Pérdidas medianas por ocupación del suelo para trayectos terrenales



P.2108-01

3.3 Modelo estadístico de pérdidas por la ocupación del suelo para trayectos Tierra-espacio y aeronáuticos

En la presente sección se proporcionan las ecuaciones para calcular la distribución estadística de las pérdidas por ocupación del suelo cuando uno de los extremos del trayecto de interferencia es un obstáculo artificial y el otro un satélite, aeronave u otra plataforma por encima la superficie de la Tierra.

Se calcula la pérdida adicional, L_{ces} , y luego se añade a la pérdida de transmisión básica calculada para el trayecto.

Este modelo es aplicable a entornos urbanos y suburbanos. El método utilizado para elaborar este modelo se describe en el Informe UIT-R P.2402-0.

Gama de frecuencias: 10 a 100 GHz

Gama de ángulos de elevación: 0 a 90 grados

Porcentaje de ubicaciones: $0 < p < 100$

3.3.1 Parámetros

En el Cuadro 5 se indican los parámetros.

CUADRO 5

Parámetros para el modelo estadístico de las pérdidas debidas a la ocupación del suelo en trayectos Tierra-espacio

Parámetro	Símbolo	Unidad
Frecuencia	f	GHz
Ángulo de elevación	θ	Grados
Porcentaje de ubicaciones	p	%

3.3.2 Descripción del modelo

Las pérdidas debidas a la ocupación del suelo no rebasadas en el $p\%$ de las ubicaciones L_{ces} para trayectos terrenales a aeronave o satélite vienen dadas por:

$$L_{ces} = \left\{ -K_1 \left[\ln \left(1 - \frac{p}{100} \right) \right] \cot \left[A_1 \left(1 - \frac{\theta}{90} \right) + \frac{\pi\theta}{180} \right] \right\}^{[0,5(90-\theta)/90]} - 1 - 0,6 Q^{-1}(p/100) \text{ dB} \quad (7)$$

con

$$K_1 = 93(f^{0,175}), \quad A_1 = 0,05$$

siendo $Q^{-1}(p/100)$ la función de distribución normal complementaria inversa, y el ángulo de elevación, θ , es el ángulo de la plataforma en aeronave o satélite respecto del terminal.

En la Figura 2 se muestra la distribución acumulativa de las pérdidas por ocupación del suelo no rebasadas durante el porcentaje de ubicaciones a distintos ángulos de elevación a 30 GHz.

FIGURA 2

Distribución acumulativa de las pérdidas por ocupación del suelo no rebasadas para 30 GHz

