

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R P.2109-1
(08/2019)

**Predicción de las pérdidas debidas
a la penetración en edificios**

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, 2020

© UIT 2020

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.2109-1

Predicción de las pérdidas debidas a la penetración en edificios

(2017-2019)

Cometido

En esta Recomendación se describe un método para calcular las pérdidas debidas a la penetración en edificios a frecuencias comprendidas entre 80 MHz y 100 MHz para probabilidades de $0,0 < P < 1,0$. El método no depende del emplazamiento y está destinado principalmente para su utilización en estudios de compartición y compatibilidad.

Palabras clave

Edificio, interferencia, interior, penetración, propagación

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que para la planificación de sistemas y la evaluación de interferencia podría ser necesario tener en cuenta la atenuación de las ondas radioeléctricas que se produce al atravesar edificios;
- b) que es preciso dar directrices a los ingenieros para estimar la cobertura o predecir la interferencia por sistemas en el exterior a sistemas en el interior y viceversa,

reconociendo

- a) que la Recomendación UIT-R P.2040 ofrece directrices sobre los efectos de los materiales de construcción y las estructuras en las ondas radioeléctricas;
- b) que el Informe UIT-R P.2346 contiene datos empíricos recabados sobre las pérdidas debidas a la penetración en edificios,

recomienda

que se utilice el modelo del Anexo 1 para calcular las pérdidas debidas a la penetración en edificios.

NOTA – Los estudios de compartición realizados por el UIT-R en relación con distintos puntos del orden del día de la CMR-19 se basaron en el texto de la presente Recomendación que estaba en vigor en el momento de esas actividades o en el momento de realizar la actividad.

Anexo 1

1 Introducción

En este Anexo se describe un modelo para calcular las pérdidas debidas a la penetración en edificios (*building entry loss*, BEL), como se define en la Recomendación UIT-R P.2040. El resultado del modelo es una función de distribución acumulativa de la probabilidad de que no se rebase un determinado valor de pérdidas.

El modelo no pretende separar las pérdidas que sufre la señal al penetrar un muro exterior de la atenuación producida al atravesar todo el edificio. Se ha adoptado este planteamiento porque se considera improbable que, en el contexto de los estudios del UIT-R, se disponga con suficiente detalle de información específica del edificio.

Las pérdidas al penetrar edificios son muy variables, tanto dentro de un mismo edificio como entre edificios diferentes. Técnicas como el trazado de rayos han demostrado ser útiles para hacer predicciones específicas en un determinado emplazamiento cuando se complementan con datos detallados sobre la arquitectura, pero dichos modelos no suelen resultar adecuados para aplicaciones genéricas como los estudios de compartición del espectro.

Un modelo estadístico que trate de describir las características de penetración de un conjunto general de edificios daría lugar a una distribución estadística tan amplia que resultaría inservible. Por el contrario, un modelo que trate de caracterizar diferentes tipos de edificios exigiría muchísimos más datos de los existentes y sería inadecuado para estudios de compartición genéricos.

NOTA – Los tipos de edificio a los que se refiere esta Recomendación deben examinarse con cuidado.

El modelo aquí descrito se basa en datos medidos recopilados en el Informe UIT-R P.2346 en la gama 80 MHz a 73 GHz. El modelo puede utilizarse en el contexto de un método Monte Carlo, pero cabe señalar que el modelo sólo ha sido validado respecto de datos empíricos en el rango de probabilidad de 0,01 a 0,99.

2 Parámetros

El modelo emplea los siguientes parámetros:

- frecuencia (~0,08-100 GHz);
- probabilidad de que no se rebase un nivel de pérdidas determinado;
- clase de edificio («tradicional» o «con eficiencia térmica»);
- ángulo de elevación del trayecto en la fachada del edificio (grados respecto de la horizontal).

No se tiene en cuenta explícitamente el acimut del trayecto hacia el terminal exterior con respecto a la superficie del edificio. Aunque la teoría y los datos medidos muestran que las señales que inciden perpendicularmente sobre la superficie de un edificio sufrirán menor atenuación que las que inciten a ángulos oblicuos, el resultado estadístico del modelo representa todas las orientaciones del edificio respecto del terminal exterior.

En el modelo básico se parte del supuesto de que la antena interior es omnidireccional y que las pérdidas debidas a la penetración en el edificio tienen en cuenta toda la energía que llega al emplazamiento del terminal. En algunos casos, el terminal interno puede utilizar una antena direccional que actuará como filtro espacial, aumentando la aparente pérdida de entrada en el edificio dado que la energía que llega de algunas direcciones es rechazada. Las mediciones realizadas en dos grandes edificios de la República de Corea a 32 GHz mostraron que la pérdida de entrada en el edificio, medida con antenas de ancho de haz de 10 grados, era 5,3 dB mayor que en el caso omnidireccional. En el Informe UIT-R P.2346 figuran más detalles al respecto.

De conformidad con la definición dada en la Recomendación UIT-R P.2040, la atenuación debida a la entrada en edificios se define sin tener en cuenta la ocupación del suelo en los alrededores. Si el edificio estuviese rodeado de un obstáculo local, tendrán que determinarse las pérdidas adicionales para la altura del terminal y la posición por encima del suelo utilizando la Recomendación UIT-R P.2108.

El modelo parte del supuesto implícito de que los terminales tienen idéntica probabilidad de encontrarse en cualquier lugar dentro del edificio.

2.1 Clasificación de tipos de edificios

Los resultados experimentales, como los recabados en el Informe UIT-R P.2346, muestran que los edificios pueden clasificarse en dos categorías distintas en función de las pérdidas por penetración: cuando los edificios se han construido utilizando métodos modernos de aislamiento térmico (vidrio metalizado, paneles de aluminio laminado) las pérdidas son considerablemente mayores que en edificios «tradicionales» sin este tipo de materiales. Por consiguiente, el modelo ofrece predicciones para estos dos casos.

Esta clasificación, «eficiencia térmica» y «tradicional», se refiere meramente a la eficiencia térmica de los materiales de construcción. No debe presumirse nada sobre el año o tipo de construcción (una o varias alturas), patrimonio o método de construcción.

Al calcular las pérdidas debidas a la penetración en edificios, es importante tener en cuenta la eficiencia térmica de todo el edificio (la eficiencia térmica general). Una estructura principal con alta eficacia térmica pero con ventanas mal aisladas (por ejemplo, un solo vidrio de cristal simple delgado) puede hacer que el edificio sea térmicamente ineficiente y viceversa.

La transmitancia térmica, conocida como valor U, ofrece una descripción cuantificable de la eficiencia térmica. Valores U pequeños representan una alta eficiencia térmica. Normalmente, las ventanas de vidrio metalizado, paredes huecas aisladas, hormigón armado grueso y revestimiento de láminas de metal son un buen indicio¹ de que el edificio tiene eficiencia térmica.

3 Modelo

Las pérdidas por penetración en edificios varían según el tipo de edificio, ubicación dentro del edificio y movimiento en el edificio. La distribución de las pérdidas por penetración en el edificio viene dada por dos distribuciones log-normales. Las pérdidas por penetración en el edificio no rebasadas para la probabilidad, P , vienen dadas por:

$$L_{BEL}^{omni}(P) = 10\log(10^{0,1A(P)} + 10^{0,1B(P)} + 10^{0,1C}) \text{ dB} \quad (1)$$

siendo:

$$A(P) = F^{-1}(P)\sigma_1 + \mu_1 \quad (2)$$

$$B(P) = F^{-1}(P)\sigma_2 + \mu_2 \quad (3)$$

$$C = -3,0 \quad (4)$$

$$\mu_1 = L_h + L_e \quad (5)$$

¹ Por ejemplo, valores $U < 0,3$ y $< 0,9$ son representativos de estructura principal con eficiencia térmica y vidrio metalizado, respectivamente.

$$\mu_2 = w + x \log(f) \quad (6)$$

$$\sigma_1 = u + v \log(f) \quad (7)$$

$$\sigma_2 = y + z \log(f) \quad (8)$$

donde:

L_h es la pérdida mediana para trayectos horizontales, a saber:

$$L_h = r + s \log(f) + t (\log(f))^2 \quad (9)$$

L_e es la corrección para el ángulo de elevación del trayecto en la fachada del edificio:

$$L_e = 0,212 |\theta| \quad (10)$$

y:

f = frecuencia (GHz)

θ = ángulo de elevación del trayecto en la fachada del edificio (grados)

P = probabilidad de que no se rebasen las pérdidas ($0,0 < P < 1,0$)

$F^{-1}(P)$ = distribución acumulativa normal inversa como función de probabilidad.

y los coeficientes se indican en el Cuadro 1:

CUADRO 1

Coefficientes del modelo

Tipo de edificio	r	s	t	u	v	w	x	y	z
Relacionado con:	μ_1			σ_1		μ_2		σ_2	
Tradicional	12,64	3,72	0,96	9,6	2,0	9,1	-3,0	4,5	-2,0
Eficiencia térmica	28,19	-3,00	8,48	13,5	3,8	27,8	-2,9	9,4	-2,1

A título ilustrativo, la Fig. 1 representa la pérdida por penetración en edificios obtenida mediante el modelo para los dos tipos de edificios. En los estudios de compartición se debe considerar siempre la distribución total. En la Fig. 2 se puntea la función de distribución cumulativa para la pérdida por penetración en edificios predicha con una incidencia horizontal.

FIGURA 1

Pérdidas medias por penetración en edificios con una incidencia horizontal

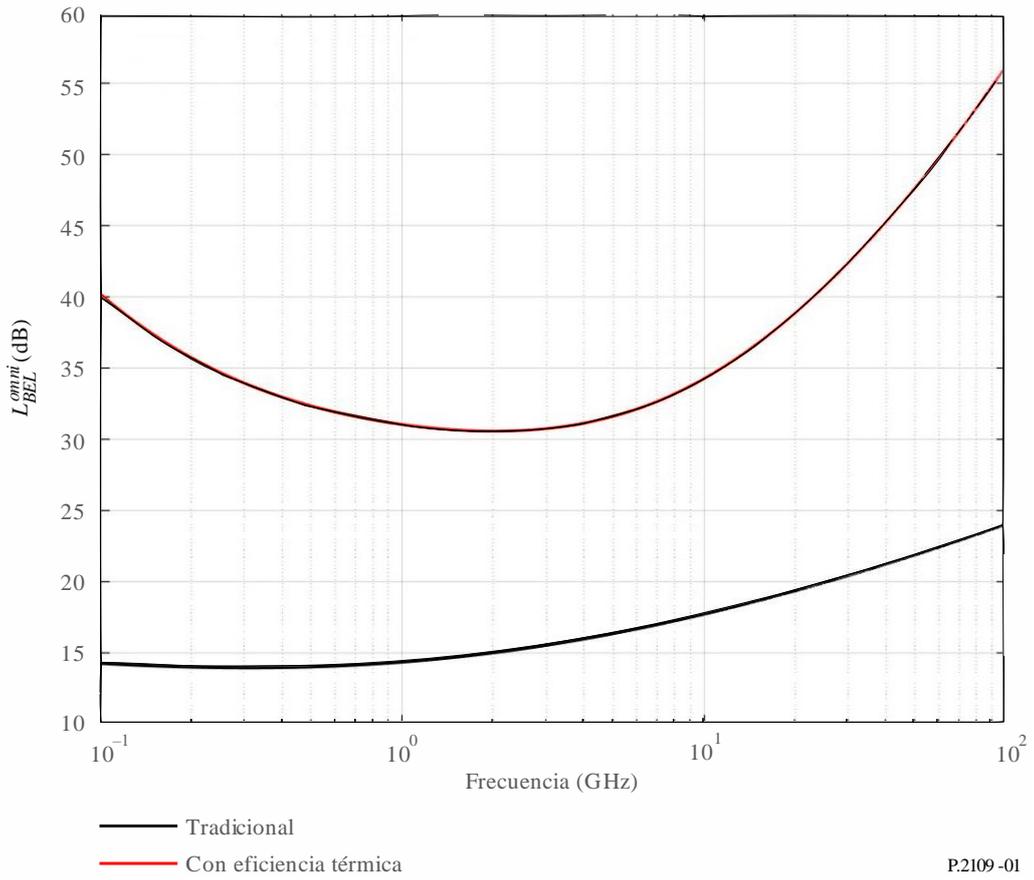
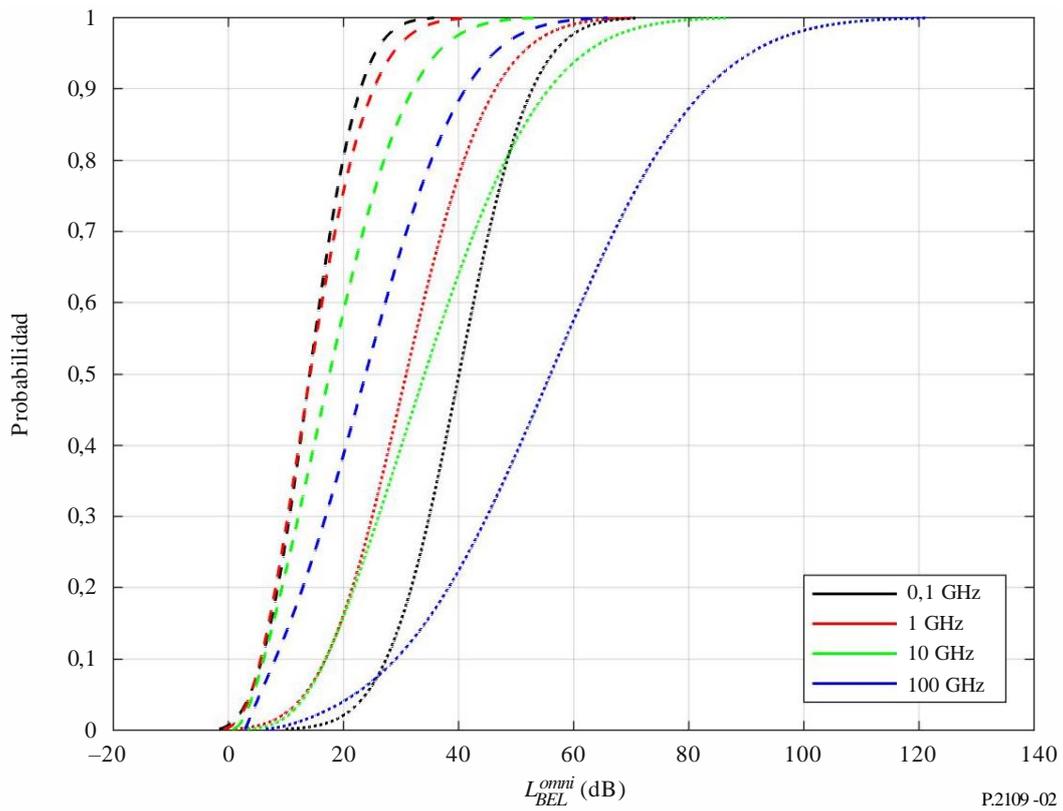


FIGURA 2

Pérdida por penetración en edificios predicha con incidencia horizontal
(línea discontinua: tradicional,
línea de punto: con eficiencia térmica)



P.2109-02