

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R P.1816-4
(08/2019)

Predicción de los perfiles de tiempo y de espacio para los servicios móviles terrestres de banda ancha que utilizan las bandas de ondas decimétricas y centimétricas

Serie P
Propagación de las ondas radioeléctricas



Prólogo

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

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

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en 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.1816-4

Predicción de los perfiles de tiempo y de espacio para los servicios móviles terrestres de banda ancha que utilizan las bandas de ondas decimétricas y centimétricas

(Cuestión UIT-R 211/3)

(2007-2012-2013-2015-2019)

Cometido

Esta Recomendación tiene como fin proporcionar directrices para la predicción de los perfiles de tiempo y de espacio en el caso de servicios móviles terrestres de banda ancha que utilizan frecuencias comprendidas entre 0,7 GHz y 9 GHz, para distancias de 0,5 km a 3 km en entornos sin visibilidad directa (NLoS) y de 0,05 km a 3 km en entornos con visibilidad directa (LoS) y tanto en zonas urbanas como suburbanas.

Palabras clave

Características de la propagación multitrayectos, dispersión de retardo, número de trayectos, amplitud. diferencia de longitudes de trayecto (retardo), ángulo de llegada

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que es necesario facilitar directrices a los ingenieros que planifican los servicios móviles terrestres de banda ancha en las bandas de ondas decimétricas y centimétricas;
- b) que los perfiles de tiempo y de espacio pueden ser importantes para evaluar la influencia de la propagación multitrayecto;
- c) que se pueden modelar más convenientemente los perfiles de tiempo y de espacio si se consideran las condiciones de propagación, tales como la altura del edificio, la altura de la antena, la distancia entre la estación de base y la estación móvil y la anchura de banda del receptor,

observando

- a) que se recomienda la utilización de los métodos de la Recomendación UIT-R P.1546 para la predicción de punto a zona de la intensidad de campo en los servicios de radiodifusión, móvil terrestre, marítimo y en ciertos servicios fijos, en la gama de frecuencias de 30 MHz a 3 000 MHz y para distancias de 1 km a 1 000 km;
- b) que se recomienda la utilización de los métodos de la Recomendación UIT-R P.1411 para evaluar las características de propagación de servicios en exteriores de corto alcance (hasta 1 km) entre 300 MHz y 100 GHz;
- c) que se recomienda la utilización de los métodos descritos en la Recomendación UIT-R P.1411 con objeto de estimar la forma media del perfil de retardo en el caso con visibilidad directa, en un entorno urbano de construcciones altas para macrocélulas y picocélulas;
- d) que se recomienda la utilización de los métodos descritos en la Recomendación UIT-R P.1407 para especificar la terminología de multitrayecto y para calcular la dispersión de retardo y la dispersión angular de llegada, utilizando el perfil de retardo y el perfil angular de llegada, respectivamente;

e) que se recomienda utilizar los métodos de la Recomendación UIT-R M.1225 para evaluar la calidad de funcionamiento de los sistemas IMT-2000 sujetos a la propagación multitrayecto,

recomienda

1 que se utilice el contenido del Anexo 1 a fin de calcular los perfiles de envolvente y de potencia de retardo a largo plazo para los servicios móviles de banda ancha en zonas urbanas y suburbanas, que utilizan las bandas de ondas decimétricas y centimétricas;

2 que se utilice el contenido del Anexo 2 a fin de determinar el perfil angular de potencia de llegada a largo plazo en la estación de base para los servicios móviles de banda ancha en zonas urbanas y suburbanas, que utilizan las bandas de ondas decimétricas y centimétricas;

3 que se utilice el contenido del Anexo 3 a fin de determinar el perfil angular de potencia de llegada a largo plazo en la estación móvil para los servicios móviles de banda ancha en zonas urbanas y suburbanas, que utilizan las bandas de ondas decimétricas y centimétricas.

NOTA – Los estudios de compartición que llevó a cabo el UIT-R en relación con distintos puntos del orden del día de la CMR-19 se basaron en el texto de esta recomendación que estaba en vigor en el momento de dichas actividades o en el momento en que se llevó a cabo la actividad.

Anexo 1

1 Introducción

Como se indica a continuación, en la Recomendación UIT-R P.1407 se hace énfasis en la importancia del perfil de retardo.

Las características de la propagación multitrayecto son un factor importante para controlar la calidad de las comunicaciones móviles digitales. Físicamente, las características de esta propagación incluyen el número de trayectos, las amplitudes, la diferencia de longitudes de trayecto (retardo) y el ángulo de llegada. Esto puede caracterizarse por la función transferencia del trayecto de propagación (características amplitud-frecuencia) y la anchura de banda de correlación.

Como se ha indicado, el perfil de retardo es un parámetro fundamental para evaluar las características de la propagación multitrayecto. Una vez se tenga el modelo del perfil, pueden deducirse del mismo los parámetros del trayecto múltiple tales como la dispersión de retardo y la anchura de banda de correlación.

Los parámetros de propagación relacionados con el entorno del trayecto afectan la forma del perfil. Un perfil es el resultado de varias ondas con diferentes amplitudes y distintos tiempos de retardo. Se sabe que las ondas cuyo retardo es mayor tienen menores amplitudes debido al largo trayecto que han recorrido. Se puede aproximar el perfil medio de retardo (perfil de retardo a largo plazo) mediante funciones exponenciales o potenciales como se ha demostrado en trabajos anteriores.

Tanto la cantidad como el periodo de las ondas que llegan en un perfil de retardo son función de la anchura de banda en recepción, debido a que la resolución temporal está limitada por la anchura de banda en frecuencia del receptor. Para calcular el perfil de retardo debe tenerse en cuenta la limitación de anchura de banda en frecuencia, que está estrechamente relacionada con la metodología que se emplea para dividir la potencia recibida en varias ondas.

A fin de tener en cuenta la anchura de banda en frecuencia o la resolución del trayecto, se define el perfil de retardo compuesto por varios trayectos como el perfil de retardo del trayecto.

En la Recomendación UIT-R P.1407, se definen varios perfiles de retardo y sus métodos de procesamiento, como muestra la Fig. 1.

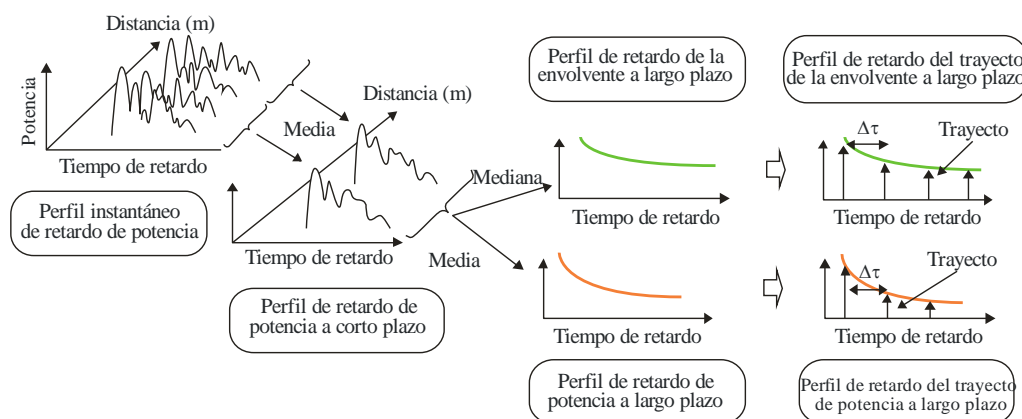
El perfil instantáneo de retardo de potencia es la densidad de potencia de la respuesta al impulso en un instante y un punto determinados. Los perfiles de retardo de potencia a corto plazo se obtienen promediando en el espacio los perfiles instantáneos de retardo de potencia a lo largo de varias decenas de longitudes de onda, con objeto de suprimir la variación del desvanecimiento rápido; los perfiles de retardo de potencia a largo plazo se obtienen tras promediar en el espacio los perfiles de retardo de potencia a corto plazo a la misma distancia desde la estación de base, aproximadamente, con el fin de suprimir también las variaciones causadas por el apantallamiento.

Con respecto al perfil de retardo a largo plazo es posible definir dos perfiles diferentes. El primero, el perfil envolvente del retardo, se basa en el valor mediano de cada perfil de retardo; indica la forma del perfil en la zona que se está considerando, como se muestra en la Fig. 1. El segundo, es el perfil de retardo del trayecto que se basa en el valor de la potencia media de cada perfil de retardo.

Además, en lo que respecta a los perfiles de retardo de envolvente y de potencia a largo plazo, también se definen los perfiles de retardo del trayecto consistentes en trayectos discretos, para obtener la variación en el número de trayectos con resolución del trayecto que depende de la anchura de banda de la frecuencia.

FIGURA 1

Perfiles del retardo



P.1816-01

2 Parámetros

τ : tiempo de retardo en exceso (μs)

i : tiempo de retardo en exceso normalizado a una resolución temporal $1/B$, que corresponde a una anchura de banda B (μs) e $i = 0, 1, 2, \dots$

(donde $i = 0$ indica el primer trayecto de llegada sin tiempo de retardo en exceso, e $i = k$ indica el tiempo de retardo en exceso medio de k/B (μs))

$\langle H \rangle$: altura media del edificio (m), (5-50 m: altura sobre el nivel del suelo de la estación móvil)

h_b : altura de la antena de la estación de base (m), (5-150 m: altura sobre el nivel del suelo de la estación móvil)

d : distancia desde la estación de base (km), (0,5-3 km para un entorno NLoS; 0,05-3 km para un entorno LoS)

W : anchura de la calle (5-50 m), (m)

- B : velocidad de segmentos (0,5-50 Mcps) (la anchura de banda ocupada puede obtenerse a partir de la velocidad de segmentos B y del filtro en banda base aplicado)
- f : frecuencia de portadora (GHz), (0,7-9 GHz)
- $\langle R \rangle$: coeficiente de reflexión de potencia media de los muros laterales del edificio, (<1)
- γ_{dB} : valor constante (-16 dB--12 dB), (dB)
- γ : $10^{\gamma_{dB}/10}$
- ΔL : diferencia de nivel entre la potencia de cresta del trayecto y la potencia de corte (dB).

3 Perfil del retardo a largo plazo para un entorno NLoS en zonas urbanas y suburbanas

3.1 Perfil envolvente del retardo del trayecto normalizado mediante la primera potencia de trayecto de llegada

El perfil envolvente del retardo del trayecto $PDP_{NLoS,env}(i, d)$ dividido por la resolución en el tiempo $1/B$ normalizado mediante la primera potencia de trayecto de llegada a una distancia d , viene dado por:

$$PDP_{NLoS,env}(i, d) = 10^{PDP_{dB}(i, d)/10} \quad (1)$$

siendo:

$$PDP_{dB}(i, d) = a(i) \cdot PDP_{high}(i, d) \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

$$PDP_{dB}(i, d) = - \left\{ 19,1 + 9,68 \log(h_b / \langle H \rangle) \right\} B^{\{-0,36 + 0,12 \log(h_b / \langle H \rangle)\}} d^{\{-0,38 + 0,21 \log(B)\}} \log(1+i) \quad \text{dB} \quad (2-1)$$

$$a(i) = \left(0,4 + (1 - 0,4) \exp \left[-0,2 \left(\frac{\langle H \rangle}{h_b} \right)^4 \right] \right) + \left(\frac{\langle H \rangle}{h_b} \left(1 - \exp \left[-0,4 \left(\frac{\langle H \rangle}{h_b} \right)^2 \right] \right) \right) (i/B) \quad (2-2)$$

El perfil envolvente de retardo $PDP_{NLoS,env}(\tau, d)$ con tiempo de retardo en exceso continuo normalizado mediante la primera potencia de trayecto de llegada a una distancia d viene dado por:

$$PDP_{NLoS,env}(\tau, d) = PDP_{NLoS,env}(B\tau, d) \quad (3)$$

Para la ecuación (3), se utiliza la relación ($\tau = i/B \Rightarrow i = B\tau$).

3.2 Perfil del retardo de potencia normalizado mediante la primera potencia del trayecto de llegada

El perfil de retardo del trayecto de potencia $PDP_{NLoS,pow}(i, d)$ dividido por la resolución en el tiempo $1/B$ normalizado mediante la primera potencia de trayecto a una distancia d viene dado por:

$$PDP_{NLoS,pow}(i, d) = c(i) \cdot 10^{PDP_{dB}(i, d)/10} \quad (4)$$

donde:

$$c(i) = \begin{cases} 1 & (i = 0) \\ \min(0,63, \{0,59e^{-0,0172B} + (0,0172 + 0,0004B) < H >\}) e^{-\{(0,077-0,00096B)-(0,0014-0,000018B)<H>\}} & (i \geq 1) \end{cases} \quad (5)$$

En este caso, $\min(x, y)$ escoge el mínimo valor entre x e y .

El perfil del retardo de potencia $PDP_{NLoS,pow}(\tau, d)$ con tiempo de retardo en exceso continuo normalizado mediante la primera potencia del trayecto de llegada a una distancia d viene dado por:

$$PDP_{NLoS,pow}(\tau, d) = PDP_{NLoS,pow}(B\tau, d) \quad (6)$$

3.3 Ejemplos

3.3.1 Perfil envolvente del retardo normalizado mediante la primera potencia del trayecto de llegada

Cuando la altura de antena de la estación de base h_b , la distancia desde la estación de base d y la altura media del edificio $\langle H \rangle$ son 50 m, 1,5 km y 20 m, respectivamente, el perfil envolvente del retardo del trayecto $PDP_{NLoS,env}(i, d)$ se muestra en la Fig. 2, en la que el parámetro es la velocidad de segmentos B .

Cuando la altura media del edificio $\langle H \rangle$, la distancia desde la estación de base d y la velocidad de segmentos B son 20 m, 1,5 km y 10 Mcps, respectivamente, el perfil envolvente del retardo $PDP_{NLoS,env}(\tau, d)$ se muestra en la Fig. 3, en la que el parámetro es la altura de antena de la estación de base h_b .

FIGURA 2
 Perfil envolvente del retardo de trayecto $PDP_{NLoS,env}(i, d)$
 para entornos NLoS

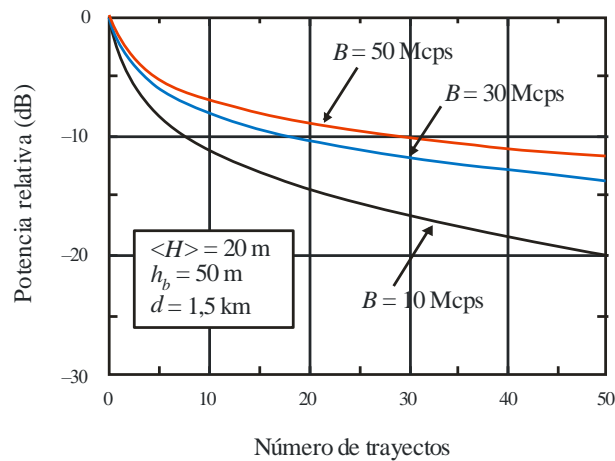
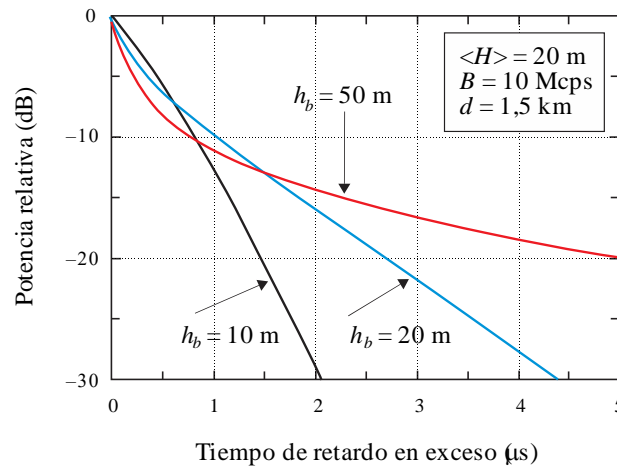


FIGURA 3
 Perfil envolvente del retardo $PDP_{NLoS,env}(\tau, d)$ para entornos NLoS



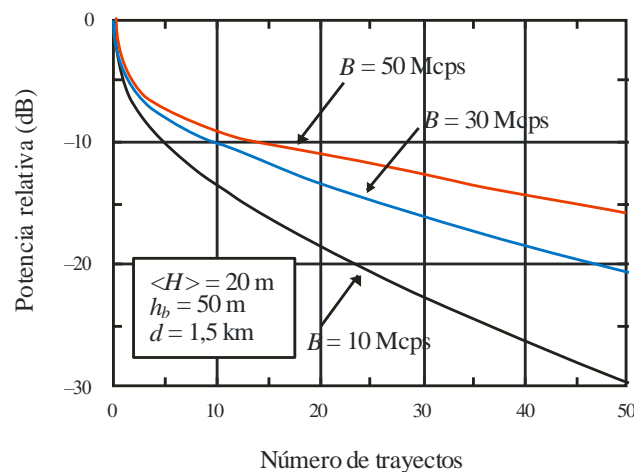
P.1816-08

3.3.2 Perfil del retardo de potencia normalizado mediante la primera potencia del trayecto de llegada

Cuando la altura de antena de la estación de base h_b , la distancia desde dicha estación d y la altura media del edificio $\langle H \rangle$ son 50 m, 1,5 km y 20 m, respectivamente, el perfil del retardo del trayecto de potencia $PDP_{NLoS,pow}(i, d)$ corresponde al mostrado en la Fig. 4, donde el parámetro es la velocidad de segmentos B .

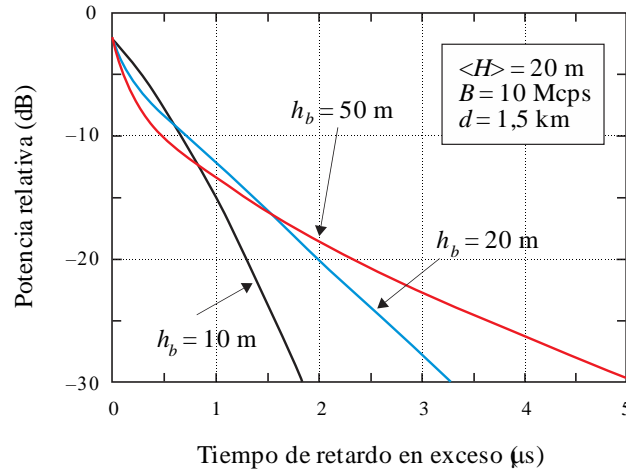
Cuando la altura media del edificio $\langle H \rangle$, la distancia desde dicha estación d y la velocidad de segmentos B son 20 m, 1,5 km y 10 Mcps, respectivamente, el perfil de retardo de potencia $PDP_{NLoS,pow}(\tau, d)$ corresponde al mostrado en la Fig. 5, donde el parámetro es la altura de antena de la estación de base h_b .

FIGURA 4
 Perfil del retardo del trayecto de potencia $PDP_{NLoS,pow}(i, d)$
 para entornos NLoS



P.1816-04

FIGURA 5
 Perfil del retardo de potencia $PDP_{NLoS, pow}(\tau, d)$ para entornos NLoS



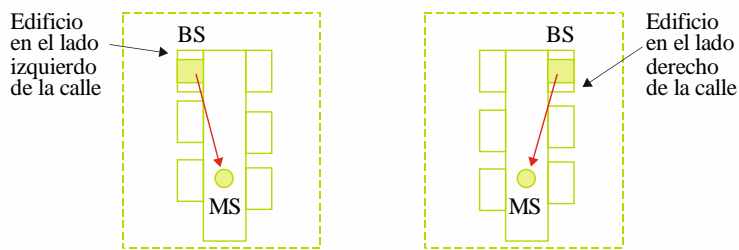
P.1816-05

4 Perfil del retardo a largo plazo para un entorno con visibilidad directa LoS en zonas urbanas y suburbanas

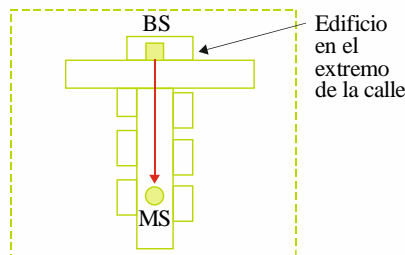
4.1 Entornos LoS considerados

La Fig. 6 muestra los entornos LoS considerados. En la Fig. 6(a), la estación de base (BS) está situada en la parte superior del edificio y la estación móvil (MS) en medio de la calle. La estación de base puede observar directamente la estación móvil. En la Fig. 6(b), la estación de base está situada aproximadamente en el centro del tejado de un edificio ubicado frente al final de la calle y la estación móvil se encuentra en medio de la calle.

FIGURA 6
 Entornos LoS considerados



a) Estación de base en el lado izquierdo o derecho de la calle



b) Estación de base en el extremo de la calle

P.1816-06

4.2 Perfil envolvente del retardo normalizado mediante la primera potencia del trayecto de llegada

El perfil envolvente del retardo $PDP_{LoS,env}(\tau, d)$ normalizado mediante la primera potencia del trayecto de llegada a una distancia d viene dado como sigue:

- a) La estación de base está en el lado izquierdo o derecho de la calle

$$PDP_{LoS,env}(\tau, d) = \langle R \rangle \left(\frac{\sqrt{1+8(1000d)(300\tau)/W^2}-1}{2} \right) + \gamma \cdot PDP_{NLoS,env}(\tau, d) \quad (7-1)$$

- b) La estación de base está en el extremo de la calle

$$\begin{aligned} PDP_{LoS,env}(\tau, d) &= \langle R \rangle \sqrt{2(1000d)(300\tau)/W^2} \cdot \left(2 - e^{-5 \cdot 2(1000d)(300\tau)/W^2} \right) + \gamma \cdot PDP_{NLoS,env}(\tau, d) \\ &\approx \langle R \rangle \left(\frac{\sqrt{1+8(1000d)(300\tau)/W^2}-1}{2} \right) + \gamma \cdot PDP_{NLoS,env}(\tau, d). \end{aligned} \quad (7-2)$$

En este caso, $PDP_{NLoS,pow}(\tau, d)$ es el perfil envolvente del retardo para entornos NLoS indicado en la ecuación (3) normalizado mediante la primera potencia del trayecto de llegada a una distancia d , γ es un valor constante de -12 dB a -16 dB de acuerdo con la estructura de la ciudad y $\langle R \rangle$ es el coeficiente de reflexión de potencia medio de los muros laterales del edificio, que toma un valor constante de 0,1 a 0,5.

Se recomienda que γ y $\langle R \rangle$ tomen valores de -15 dB y 0,3 (-5 dB), respectivamente, para zonas urbanas en las que la altura media del edificio $\langle H \rangle$ es superior a 20 m.

4.3 Perfil de retardo de potencia normalizado mediante la primera potencia del trayecto de llegada

El perfil de retardo de potencia $PDP_{LoS,env}(\tau, d)$ normalizado por mediante la primera potencia del trayecto a una distancia d viene dado por la siguiente ecuación:

- a) La estación de base está en el lado izquierdo o derecho de la calle

$$PDP_{LoS,pow}(\tau, d) = \langle R \rangle \left(\frac{\sqrt{1+8(1000d)(300\tau)/W^2}-1}{2} \right) + \gamma \cdot PDP_{NLoS,pow}(\tau, d) \quad (8-1)$$

- b) La estación de base está en el extremo de la calle

$$\begin{aligned} PDP_{LoS,pow}(\tau, d) &= \langle R \rangle \sqrt{2(1000d)(300\tau)/W^2} \cdot \left(2 - e^{-5 \cdot 2(1000d)(300\tau)/W^2} \right) + \gamma \cdot PDP_{NLoS,pow}(\tau, d) \\ &\approx \langle R \rangle \left(\frac{\sqrt{1+8(1000d)(300\tau)/W^2}-1}{2} \right) + \gamma \cdot PDP_{NLoS,pow}(\tau, d) \end{aligned} \quad (8-2)$$

En este caso, $PDP_{NLoS,pow}(\tau, d)$ es el perfil de retardo de potencia para entornos NLoS indicado en la ecuación (6) normalizado mediante la primera potencia del trayecto de llegada a una distancia d , γ es un valor constante de -12 dB a -16 dB de acuerdo con la estructura de la ciudad y $\langle R \rangle$ es el coeficiente de reflexión de potencia medio de los muros laterales del edificio.

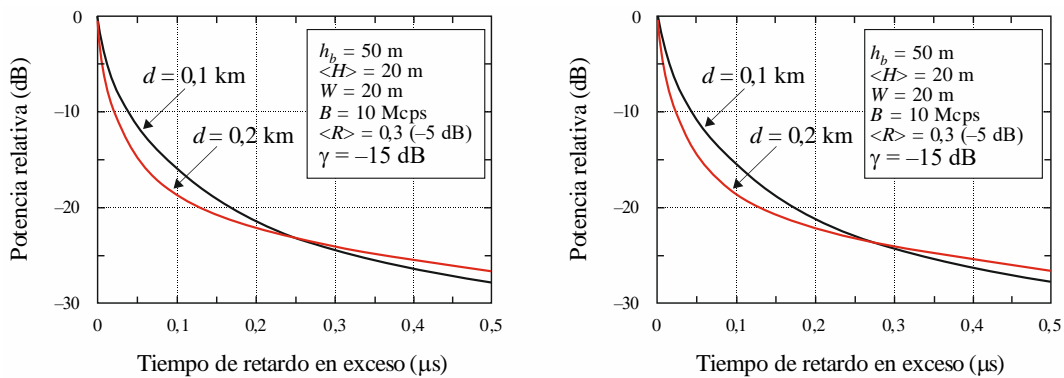
Se recomienda que γ y $\langle R \rangle$ tomen los valores de -15 dB y 0,3 (-5 dB), respectivamente en zonas urbanas en las que la altura media del edificio es superior a 20 m.

4.4 Ejemplos

4.4.1 Perfil de envolvente del retardo normalizado mediante la primera potencia del trayecto de llegada

Cuando la altura de antena de la estación de base h_b , la altura media del edificio $\langle H \rangle$, la velocidad de segmentos B , γ y $\langle R \rangle$ son 50 m, 20 m, 10 Mcps, -15 dB y $0,3$ (-5 dB), respectivamente, el perfil de retardo de la envolvente $PDP_{LoS,env}(\tau, d)$ es el representado en la Fig. 7, donde el parámetro es la distancia desde la estación de base d .

FIGURA 7
 Perfil de envolvente del retardo $PDP_{LoS,env}(\tau, d)$ para entornos LoS



a) Estación de base en el lado izquierdo o derecho de la calle

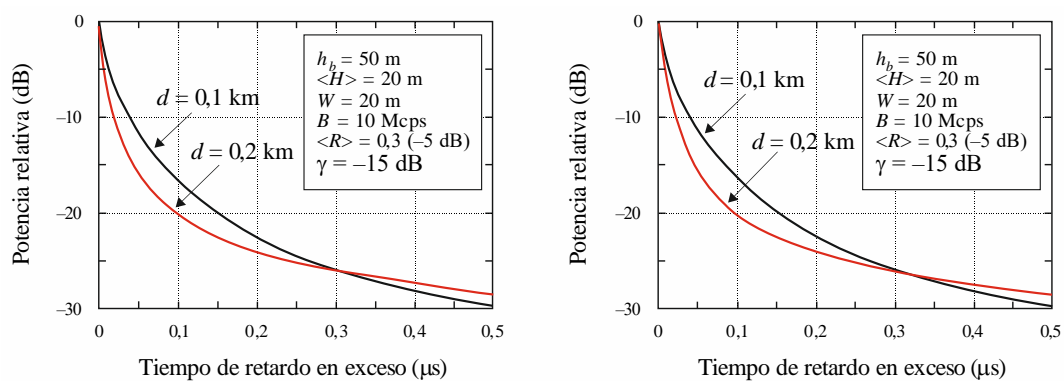
b) Estación de base en el extremo de la calle

P.1816-0 7

4.4.2 Perfil del retardo de potencia normalizado mediante la primera potencia del trayecto de llegada

Cuando la altura de antena de la estación de base h_b , la altura media del edificio $\langle H \rangle$, la velocidad de segmentos B , γ y $\langle R \rangle$ son 50 m, 20 m, 10 Mcps, -15 dB y $0,3$ (-5 dB), respectivamente, el perfil de retardo de potencia $PDP_{LoS,pow}(\tau, d)$ es el representado en la Fig. 8, donde el parámetro es la distancia desde la estación de base d .

FIGURA 8
 Perfil del retardo de potencia $PDP_{LoS,pow}(\tau, d)$ para entornos LoS



a) Estación de base en el lado izquierdo o derecho de la calle

b) Estación de base en el extremo de la calle

P.1816-0 8

Anexo 2

1 Introducción

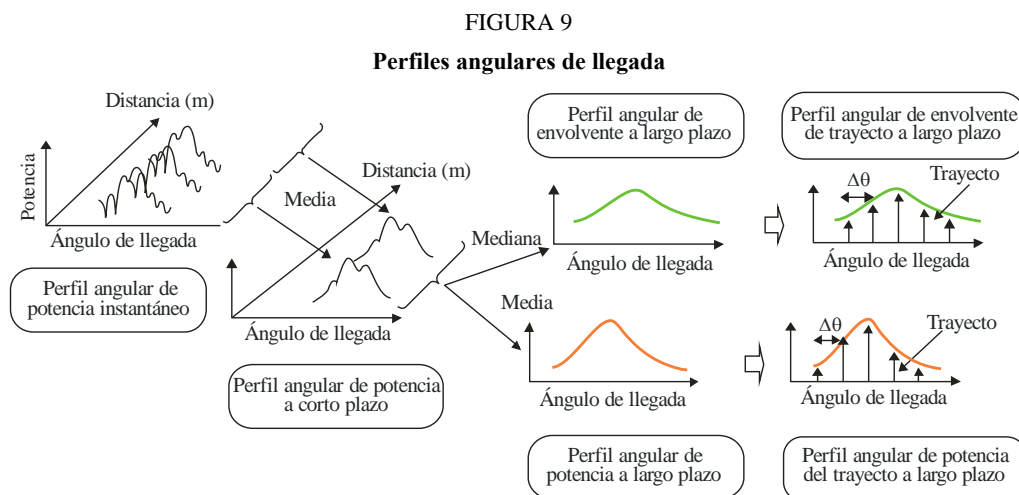
En la Recomendación UIT-R P.1407 se señala la importancia del perfil angular de llegada, como se indica a continuación.

Las características de propagación por trayectos múltiples son un factor importante para controlar la calidad de las comunicaciones móviles digitales. Físicamente, las características de propagación por trayectos múltiples incluyen el número de trayectos, las amplitudes, la diferencia de longitudes de trayecto (retardo), y el ángulo de llegada. Esto puede caracterizarse por la función transferencia del trayecto de propagación (características amplitud-frecuencia) y la anchura de banda de correlación.

Como ya se dijo, el perfil angular de llegada es un parámetro fundamental para la evaluación de las características multitrayecto. Una vez establecido un modelo para dicho perfil, es posible calcular a partir de él los parámetros multitrayecto, tales como la dispersión angular de llegada y la distancia de correlación espacial.

Los parámetros de propagación relacionados con el entorno del trayecto influyen sobre la forma del perfil. Un perfil es el resultado de varias ondas con diferentes amplitudes y distintos ángulos de llegada. Se sabe que las ondas cuyos ángulos de llegada son grandes tienen bajas amplitudes, pues han recorrido trayectos largos. En el pasado se ha aproximado el perfil angular de llegada promediado (perfil angular de llegada a largo plazo) en la estación de base utilizando funciones Gaussianas o Laplacianas (ambos lados exponenciales).

En la Recomendación UIT-R P.1407, se definen varios perfiles angulares de llegada y sus métodos de procesamiento. En dicha Recomendación el perfil angular de llegada en la estación de base se define como muestra la Fig. 9. El perfil angular de potencia de llegada instantáneo es la densidad de potencia de la respuesta al impulso respecto al ángulo de llegada en un instante y en un punto. El perfil angular de potencia de llegada a corto plazo se obtiene promediando espacialmente los perfiles angulares de potencia de llegada instantáneos a lo largo de varias decenas de longitudes de onda para suprimir las variaciones debidas al desvanecimiento rápido; el perfil angular de potencia de llegada a largo plazo se obtiene promediando espacialmente los perfiles angulares de potencia de llegada a corto plazo a una distancia aproximadamente igual a la de la BS para suprimir la variación causada por el apantallamiento.



2 Parámetros

- h_b : altura de antena de la estación de base (20-150 m: altura sobre el nivel del suelo de la estación móvil), (m)
- $\langle H \rangle$: altura media del edificio (5-50 m: altura sobre el nivel del suelo de la estación móvil), (m)
- d : distancia desde la estación de base (0,5-3 km para un entorno NLoS, 0,05-3 km para un entorno LoS), (km)
- W : anchura de la calle (5-50 m), (m)
- B : velocidad de segmentos (0,5-50 Mcps), (Mcps)
(la anchura de banda ocupada puede determinarse a partir de la velocidad de segmentos B y el filtro en banda base aplicado)
- f : frecuencia portadora (0,7-9 GHz), (GHz)
- $\langle R \rangle$: coeficiente de reflexión de potencia medio de los muros laterales del edificio (< 1)
- γ_{dB} : valor constante (-16 dB--12 dB), (dB)
- γ : $10^{\gamma_{dB}/10}$
- ΔL : diferencia de nivel entre la potencia de cresta del trayecto y la potencia de corte, (dB)

3 Perfil angular de incidencia acimutal a largo plazo en la estación de base para un entorno NLoS en zonas urbanas y suburbanas

3.1 Perfil angular de incidencia acimutal en la estación de base normalizado mediante la máxima potencia del trayecto

El perfil angular de potencia de incidencia acimutal en la estación de base $AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d)$ normalizado mediante la máxima potencia en el trayecto a una distancia d viene dado por:

$$AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d) = \left(1 + \frac{|\Delta\theta|}{a(d)}\right)^{-\beta(d)} \quad (9)$$

donde:

$$a(d) = -0,2d + 2,1 \left\{ \left(\frac{\langle H \rangle}{h_b} \right)^{0,23} \right\} \quad (10)$$

$$\beta(d) = (-0,015\langle H \rangle + 0,63)d - 0,16 + 0,76 \log(h_b)$$

El máximo ángulo de incidencia acimutal en la estación de base a_M (grados), se representa como sigue:

$$a_M = -\zeta \cdot d + \eta \quad (11)$$

donde ζ y η son constantes y se representan en función de la altura de antena de la estación de base, h_b , de la altura media del edificio, $\langle H \rangle$, y del nivel umbral ΔL (dB) como sigue:

$$\zeta = \begin{cases} (-7,67 + 0,98\Delta L) \cdot \exp\left(\frac{\langle H \rangle}{h_b} \cdot (2,66 - 0,18\Delta L)\right) & (\Delta L \leq 15) \\ 7 & (\Delta L > 15) \end{cases} \quad (12)$$

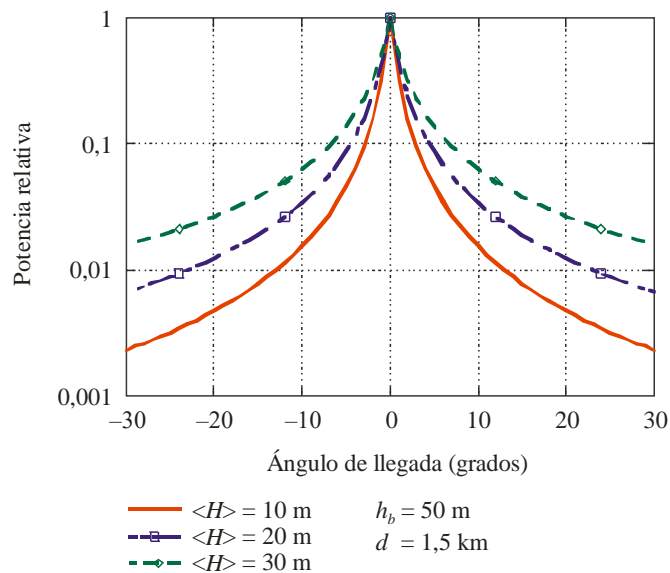
$$\eta = (-35,8 + 41,1 \log(\Delta L)) \cdot \exp\left(\frac{\langle H \rangle}{h_b} \cdot (1,76 - 0,034\Delta L)\right)$$

Como resultado de trabajos empíricos, la ecuación (9) se aplica para frecuencias portadoras comprendidas entre 0,7 GHz y 9 GHz.

3.2 Ejemplo

Cuando la altura de antena de la estación de base, h_b , y la distancia desde dicha estación, d , son 50 m y 1,5 km respectivamente, el perfil angular de potencia de incidencia acimutal en la estación de base, $AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d)$ para un entorno NLoS es el indicado en la Fig. 10, donde el parámetro es la altura media del edificio $\langle H \rangle$.

FIGURA 10
Perfil angular de incidencia acimutal en la estación de base para entornos NLoS



P.1816-10

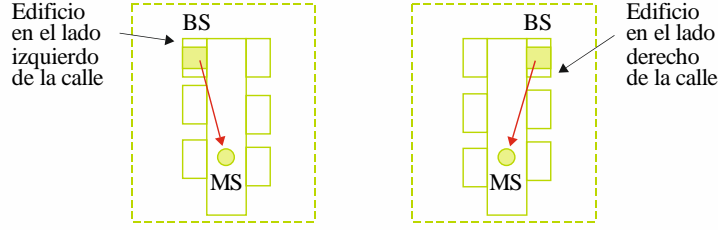
4 Perfil angular de incidencia acimutal a largo plazo en la estación de base para un entorno LoS en zonas urbanas y suburbanas

4.1 Entornos LoS considerados

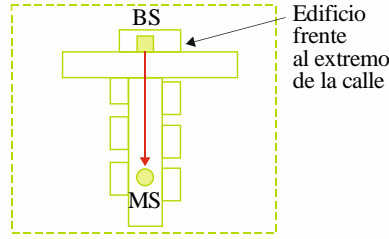
La Fig. 11 muestra los entornos con visibilidad directa LoS considerados. En la Fig. 11(a), la estación de base (BS) está situada en la cima de un edificio ubicado en el lado izquierdo o derecho de la calle y la estación móvil (MS) se encuentra en medio de la calle; la estación de base tiene una visibilidad directa con la estación móvil. En la Fig. 11(b), la estación de base está situada aproximadamente en el centro del tejado de un edificio que se encuentra en el extremo de la calle y la estación móvil está en medio de la calle.

FIGURA 11

Entornos LoS considerados



a) Estación de base en el lado izquierdo o derecho de la calle



b) Estación de base frente al extremo de la calle

P.1816-11

4.2 Perfil angular de llegada en la estación de base normalizado mediante la máxima potencia del trayecto

El perfil angular de potencia de incidencia acimutal en la estación de base, $AOD_{LoS,pow}(\Delta\theta, d)$ normalizado mediante la máxima potencia del trayecto a una distancia d viene dado por:

a) Estación de base en el lado izquierdo o derecho de la calle

i) la estación de base está en el lado derecho de la calle como muestra la Fig. 11(a)

$$AOD_{LoS,pow}(\Delta\theta, d) = \begin{cases} \gamma \cdot AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d) & (\Delta\theta \geq 0) \\ \langle R \rangle^{1000d|\Delta\theta|\pi/180W} + \gamma \cdot AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d) & (\Delta\theta < 0); \end{cases} \quad (13-1)$$

ii) la estación de base está en el lado izquierdo de la calle como muestra la Fig. 11(a)

$$AOD_{LoS,pow}(\Delta\theta, d) = \begin{cases} \langle R \rangle^{1000d|\Delta\theta|\pi/180W} + \gamma \cdot AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d) & (\Delta\theta \geq 0) \\ \gamma \cdot AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d) & (\Delta\theta < 0); \end{cases} \quad (13-2)$$

b) Estación de base frente al extremo de la calle

$$AOD_{LoS,pow}(\Delta\theta, d) = \langle R \rangle^{1000d|\Delta\theta|\pi/(180W)} + \gamma \cdot AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d). \quad (13-3)$$

En este caso, $AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d)$ es el perfil angular de incidencia acimutal en la estación de base para entorno NLoS indicado en la ecuación (9) normalizado mediante la máxima potencia del trayecto a una distancia d , γ es un valor constante de -12 dB a -16 dB de acuerdo con la estructura de la ciudad y $\langle R \rangle$ es el coeficiente de reflexión de potencia medio de los muros laterales del edificio y toma un valor constante comprendido entre 0,1 y 0,5. Obsérvese que las ecuaciones (13-1) y (13-2) son perfectamente simétricas con respecto al ángulo de llegada en la estación e base.

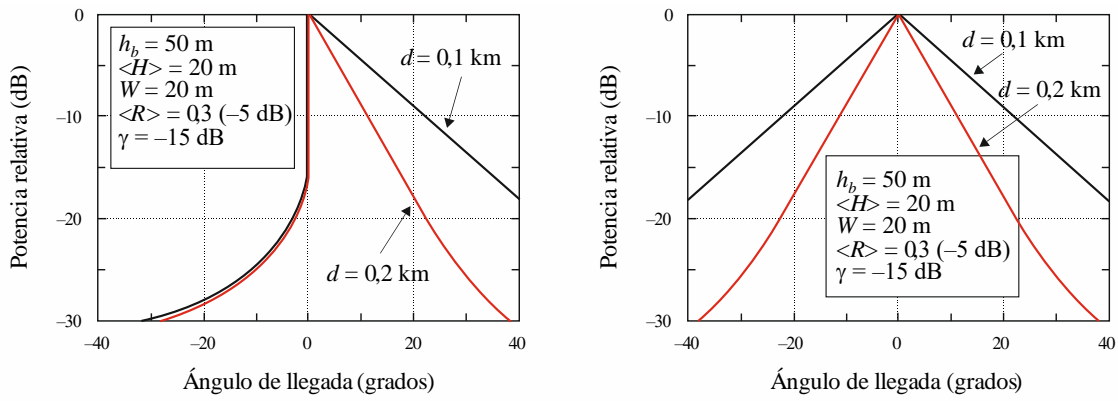
Se recomienda que γ y $\langle R \rangle$ tomen los valores de -15 dB y $0,3$ (-5 dB), respectivamente, en zonas urbanas cuando la altura media del edificio $\langle H \rangle$ sea superior a 20 m.

4.3 Ejemplos

Cuando la altura de antena de la estación de base h_b , la altura media del edificio $\langle H \rangle$ y la anchura de la calle W son 50 m, 30 m y 20 m, respectivamente, y $\langle R \rangle$ y γ son $0,3$ (-5 dB) y -15 dB, respectivamente, los perfiles angulares de potencia de incidencia acimutal en la estación de base, $AOD_{LoS,pow}(\Delta\theta, d)$ en el caso de la Fig. 11 para entornos LoS muestran en la Fig. 12, donde el parámetro es la distancia desde la estación de base d .

FIGURA 12

Perfil angular de incidencia acimutal en la estación de base $AOD_{LoS,pow}(\Delta\theta, d)$ para entornos LoS



a) Estación de base en el lado izquierdo o derecho de la calle

b) Estación de base frente al extremo de la calle

P.1816-12

5 Perfil angular de llegada a largo plazo en la BS para un entorno NLoS en zonas urbanas y suburbanas

5.1 Parámetros

d : distancia desde la BS ($0,2$ - 3 km para un entorno NLoS), (km).

Los demás parámetros son los mismo que en el § 2.

5.2 Perfil angular de llegada en la estación de base normalizado mediante la máxima potencia del trayecto

El perfil de potencia del ángulo de incidencia de elevación en la BS, $AOD_{NLoS,pow}^v(\Delta\theta_v, d)$ normalizado mediante la máxima potencia del trayecto a la distancia d se obtiene como sigue:

$$AOD_{NLoS,pow}^v(\Delta\theta_v, d) = \text{Exp}[-|\Delta\theta_v| / \sigma_v(d)] \quad (14)$$

donde:

$$\sigma_v(d) = \frac{(h_b - \langle H \rangle) \cdot k_x}{(h_b - \langle H \rangle)^2 + (1000d)^2} \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) \quad (h_b \gg \langle H \rangle) \quad (15-1)$$

$$k_x = \begin{cases} 320 \cdot \left(\frac{h_b}{\langle H \rangle} \right)^{-1.14} & (\Delta\theta_V < 0) \\ 59 \cdot \left(\frac{h_b}{\langle H \rangle} \right)^{-0.56} \cdot \left\{ 1 + 5.5 \cdot \text{Exp} \left[- \left(\left(\frac{h_b}{\langle H \rangle} \right) - 1 \right)^{1.4} \right] \right\} & (\Delta\theta_V \geq 0) \end{cases} \quad (15-2)$$

Por otra parte, la directividad vertical de la antena $G^V(\Delta\theta_V)$ de la BS debe tenerse en consideración si han de calcularse con precisión los datos del ángulo de incidencia de elevación.

El perfil de potencia del ángulo de incidencia de elevación, habida cuenta de la directividad vertical $G^V(\Delta\theta_V)$ de la antena de la BS, $AOD_{NLoS,pow}^{V,ant}(\Delta\theta_V, d)$, puede obtenerse como sigue:

$$AOD_{NLoS,pow}^{V,ant}(\Delta\theta_V, d) = \int_{-\pi}^{\pi} G^V(\Theta) \cdot AOD_{NLoS,pow}^V(\Delta\theta_V - \Theta, d) d\Theta \quad (16)$$

$AOD_{NLoS,pow}^{V,ant}(\Delta\theta_V, d)$ también se obtiene por aproximación mediante una función de Laplace como sigue.

$$AOD_{NLoS,pow}^{V,ant}(\Delta\theta_V, d) = \text{Exp}[-|\Delta\theta_V| / \sigma_V^{ant}(d)] \quad (17)$$

donde:

$$\sigma_V^{ant}(d) = \sqrt{\sigma_V^2(d) + \sigma_{vant}^2 / 2} \quad (18)$$

Aquí σ_{vant} es la desviación típica de la directividad vertical de la antena $G^V(\Delta\theta_V)$.

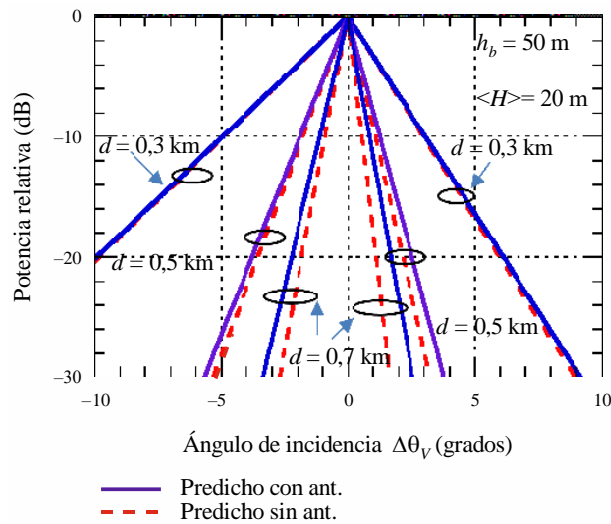
5.3 Ejemplo

Siendo la altura de antena de la BS, h_b , 50 m, la altura media de los edificios, $\langle H \rangle$, es 20 m y σ_{vant} de la antena es 0,5 grados, el perfil de potencia del ángulo de incidencia de elevación en la BS para entornos NLoS, $AOD_{NLoS,pow}^V(\Delta\theta_V, d)$ y $AOD_{NLoS,pow}^{V,ant}(\Delta\theta_V, d)$, se muestran en la Fig. 13, donde el parámetro es la distancia desde la estación de base d .

FIGURA 13

Ejemplo de predicción de perfiles del ángulo de incidencia de elevación $AOD_{NLoS,pow}^V(\Delta\theta_V, d)$ y

$AOD_{NLoS,pow}^V(\Delta\theta_V, d)$ para entornos NLoS



P.1816-13

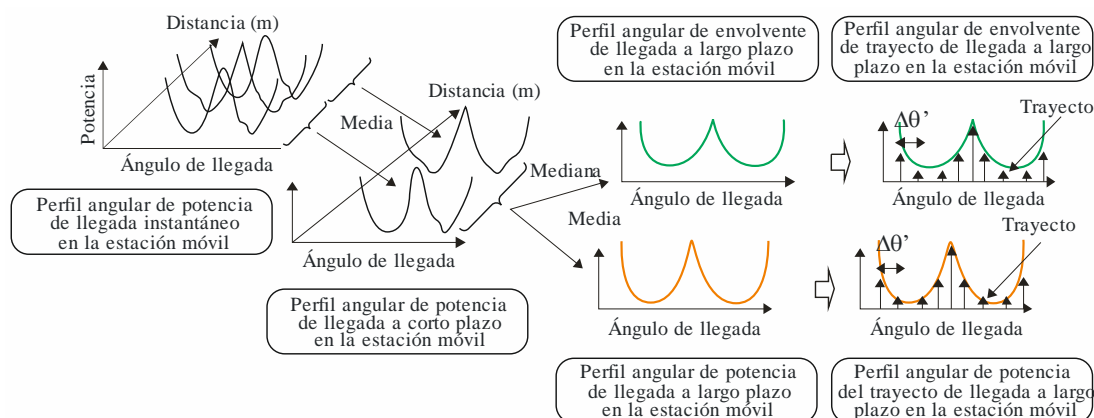
Anexo 3

1 Introducción

En la Recomendación UIT-R P.1407 el perfil angular de llegada en la estación móvil se define como muestra la Fig. 14. El perfil angular de potencia de llegada instantáneo es la densidad de potencia de la respuesta al impulso respecto al ángulo de llegada en un instante y en un punto. El perfil angular de potencia de llegada a corto plazo se obtiene promediando espacialmente los perfiles angulares de potencia de llegada instantáneos a lo largo de varias decenas de longitudes de onda para suprimir las variaciones debidas al desvanecimiento rápido; el perfil angular de potencia de llegada a largo plazo se obtiene promediando espacialmente los perfiles angulares de potencia de llegada a corto plazo a una distancia aproximadamente igual a la de la estación de base (BS) para suprimir la variación causada por el apantallamiento.

FIGURA 14

Perfiles angulares de llegada en la estación móvil



P.1816- 14

2 Parámetros

- h_b : altura de antena de la estación de base (5-150 m: altura sobre el nivel del suelo de la estación móvil), (m)
- $\langle H \rangle$: altura media del edificio (5-50 m: altura sobre el nivel del suelo de la estación móvil), (m)
- d : distancia desde la estación de base (0,5-3 km), (km)
- W : anchura de la calle (5-50 m), (m)
- B : velocidad de segmentos (0,5-50 Mcps), (Mcps)
(la anchura de banda ocupada puede determinarse a partir de la velocidad de segmentos B y el filtro en banda base aplicado)
- f : frecuencia portadora (0,7-9 GHz), (GHz)
- Θ : ángulo de la carretera (0-90 grados: ángulo agudo entre la dirección de la estación móvil y la dirección de la carretera), (grados)
- h_s : altura media de los edificios a lo largo de la carretera (4-30 m), (m)
- ϕ' : ángulo de llegada (-180-180 grados: ángulo de llegada cuando se fija el ángulo de la carretera a un valor de 0 grados), (grados)
- $\langle R \rangle$: coeficiente de reflexión de potencia medio de los muros laterales del edificio (<1)
- γ_{dB} : valor constante (-16 dB-12 dB), (dB)
- γ : $10^{\gamma_{dB}/10}$.

3 Perfil angular de llegada a largo plazo en la estación móvil para entornos NLoS en zonas urbanas y suburbanas

3.1 Perfil angular de llegada en la estación móvil

El perfil angular de potencia de llegada en la estación móvil, $AOA_{NLoS,pow}(\varphi')$ viene dado por:

$$AOA_{NLoS,pow}(\varphi') = \frac{1}{\sqrt{\cos\left(\varphi' \cdot \frac{\pi}{180}\right)^2 + \eta^2 \cdot \sin\left(\varphi' \cdot \frac{\pi}{180}\right)^2}}, \quad (19)$$

donde:

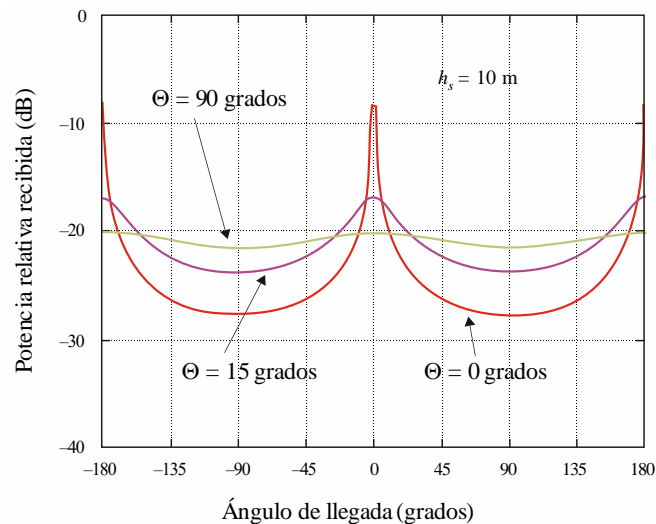
$$\eta = \text{Min}\left(1, \left[2,6/h_s^{0,5} \cdot \{1 - \exp(-0,03 \cdot \Theta)\} + 0,05\right]^{1,5}\right) \quad (20)$$

3.2 Ejemplo

Cuando la altura media de los edificios a lo largo de la carretera, h_s , es 10 m, el perfil angular de potencia de llegada en la estación móvil, $AOA_{NLoS,pow}(\varphi')$ se representa en la Fig. 15, donde el parámetro es el ángulo de la carretera Θ .

FIGURA 15

Perfil del ángulo de llegada en la estación móvil para entornos NLoS



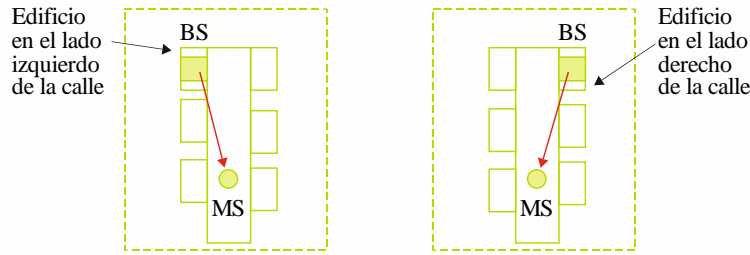
4 Perfil angular de llegada a largo plazo en la estación móvil para un entorno LoS en zonas urbanas y suburbanas

4.1 Entornos LoS considerados

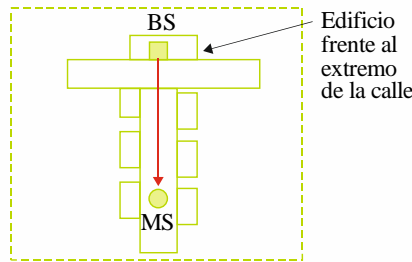
La Fig. 16 muestra los entornos LoS considerados. En la Fig. 16 (a), la estación de base (BS) está situada en la cima de un edificio ubicado en el lado izquierdo o derecho de la calle y la estación móvil (MS) se encuentra en medio de la calle; la estación de base tiene una visibilidad directa con la estación móvil. En la Fig. 16 (b), la estación de base está situada aproximadamente en el centro del tejado de un edificio que se encuentra en el extremo de la calle y la estación móvil está en medio de la calle.

FIGURA 16

Entornos LoS considerados



a) Estación de base en el lado izquierdo o derecho de la calle



b) Estación de base frente al extremo de la calle

P.1816-16

4.2 Perfil angular de llegada en la estación móvil

El perfil angular de potencia de llegada en la estación móvil $AOA_{LoS,pow}(\varphi', d)$ viene dado por:

a) Estación de base en el lado izquierdo o derecho de la calle

i) la estación de base está en el lado derecho de la calle como muestra la Fig. 16(a)

$$AOA_{LoS,pow}(\varphi', d) = \begin{cases} \langle R \rangle^{1000d|\varphi'|\pi/(180W)} + \gamma \cdot AOA_{NLoS,pow}(\varphi') & (\varphi' \geq 0) \\ \langle R \rangle^{(1000d|\varphi'|\pi/(180W))^{-1}} + \gamma \cdot AOA_{NLoS,pow}(\varphi') & (\varphi' < 0) \end{cases} \quad (21-1)$$

ii) la estación de base está en el lado izquierdo de la calle como muestra la Fig. 16(a)

$$AOA_{LoS,pow}(\varphi', d) = \begin{cases} \langle R \rangle^{(1000d|\varphi'|\pi/(180W))^{-1}} + \gamma \cdot AOA_{NLoS,pow}(\varphi') & (\varphi' \geq 0) \\ \langle R \rangle^{1000d|\varphi'|\pi/(180W)} + \gamma \cdot AOA_{NLoS,pow}(\varphi') & (\varphi' < 0) \end{cases} \quad (21-2)$$

b) Estación de base frente al extremo de la calle

$$AOA_{LoS,pow}(\varphi', d) = \langle R \rangle^{1000d|\varphi'|\pi/(180W)} + \gamma \cdot AOA_{NLoS,pow}(\varphi') \quad (21-3)$$

En este caso, $AOA_{NLoS,pow}(\varphi', d)$ es el perfil angular de llegada en la estación móvil para entornos NLoS indicados en la ecuación (19), γ es un valor constante de -12 dB a -16 dB de acuerdo con la estructura de la ciudad y $\langle R \rangle$ es el coeficiente de reflexión de potencia medio de los muros laterales del edificio y toma un valor constante comprendido entre 0,1 y 0,5. Obsérvese que las ecuaciones (21-1) y (21-2) son perfectamente simétricas con respecto al ángulo de llegada en la estación móvil.

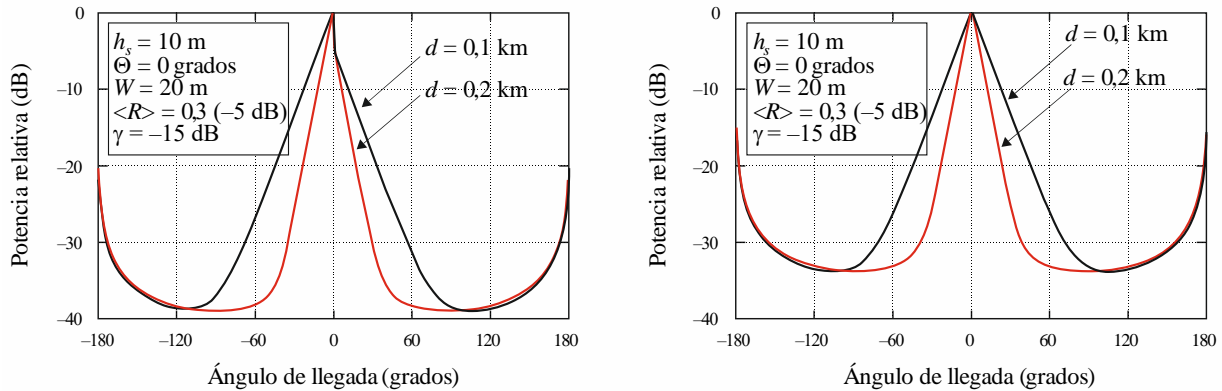
Se recomienda que γ y $\langle R \rangle$ tomen los valores de -15 dB y 0,3 (-5 dB), respectivamente, en zonas urbanas cuando la altura media del edificio $\langle H \rangle$ sea superior a 20 m.

4.3 Ejemplos

Cuando la altura media de los edificios a lo largo de la calle, h_s , el ángulo de la calle Θ y la anchura de la calle W son 10 m, 0 grados y 20 m, respectivamente, y $\langle R \rangle$ y γ son 0,3 (-5 dB) y -15 dB, respectivamente, los perfiles angulares de potencia de llegada en la estación móvil, $AOA_{LoS, pow}(\varphi', d)$ en el caso de la Fig. 16 para entornos LoS se muestran en la Fig. 17, donde el parámetro es la distancia desde la estación de base d .

FIGURA 17

Perfil angular de llegada en la estación móvil para entornos LoS



a) Estación de base en el lado izquierdo o derecho de la calle

b) Estación de base frente al extremo de la calle

P.1816-17