

RECOMENDACIÓN UIT-R P.833-2

ATENUACIÓN DEBIDA A LA VEGETACIÓN

(Cuestión UIT-R 202/3)

(1992-1994-1999)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la atenuación debida a la vegetación puede ser importante en diversas aplicaciones prácticas,

recomienda

1 que se utilice el contenido del Anexo 1 para evaluar la atenuación debida a la vegetación en frecuencias comprendidas entre 30 MHz y 60 GHz.

ANEXO 1

1 Introducción

En ciertos casos, la atenuación debida a la vegetación puede ser importante, tanto para los sistemas terrenales como para los sistemas Tierra-espacio. Pero la gran diversidad de condiciones y tipos de follaje dificultan la elaboración de un procedimiento de predicción general. Además, existe una falta de datos experimentales convenientemente verificados.

Los modelos que se describen a continuación se aplican a gamas de frecuencias específicas y a diferentes tipos de geometría de los trayectos.

2 Trayecto terrenal con un terminal en zona boscosa

Para un trayecto radioeléctrico terrenal, uno de cuyos terminales está situado en un bosque o en una zona similar de vegetación extensa, la pérdida adicional debida a la vegetación puede describirse en base a dos parámetros:

- el índice de atenuación específica (dB/m) debida fundamentalmente a la dispersión de energía fuera del trayecto radioeléctrico, que se mediría en un trayecto muy corto;
- la atenuación adicional total máxima debida a la vegetación en un trayecto radioeléctrico (dB) limitada por el efecto de otros mecanismos, entre ellos, la propagación de ondas de superficie por encima del medio vegetal y la dispersión dentro del mismo.

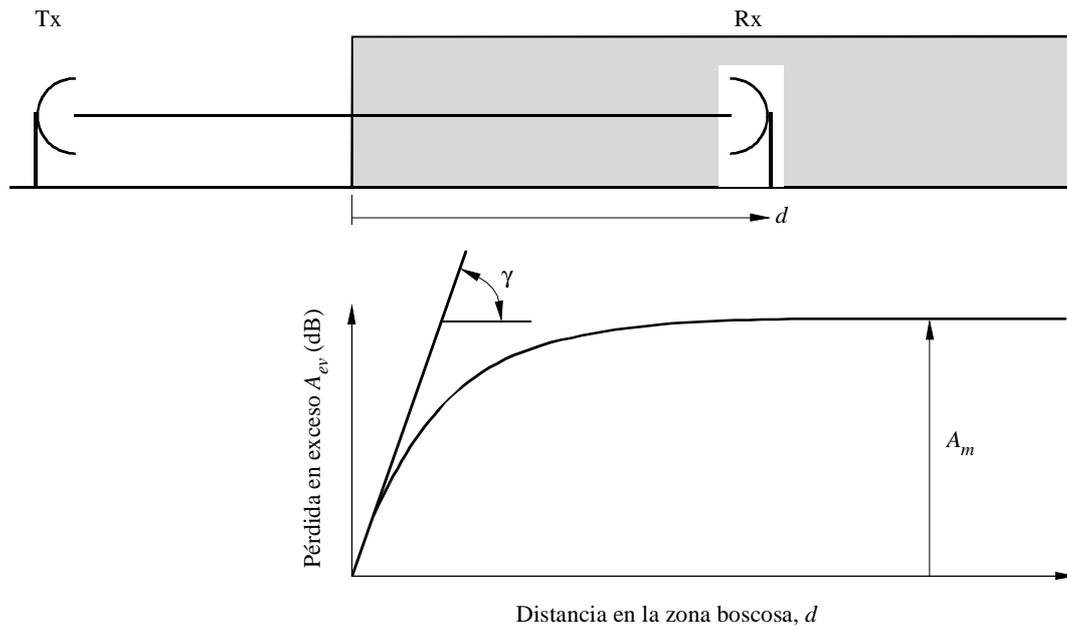
En la Fig. 1, el transmisor está fuera de la zona boscosa y el receptor está a una cierta distancia, d , dentro de la misma. La atenuación excesiva, A_{ev} , debida a la presencia de la vegetación viene dada por:

$$A_{ev} = A_m [1 - \exp (- d \gamma / A_m)] \quad (1)$$

siendo:

- d : longitud del trayecto dentro de la zona boscosa (m)
- γ : atenuación específica para trayectos en vegetación muy cortos (dB/m)
- A_m : atenuación máxima cuando un terminal está dentro de una zona de vegetación de un tipo y profundidad específicos (dB).

FIGURA 1
Trayecto radioeléctrico representativo en zona boscosa



0833-01

Es importante observar que en la definición de exceso de atenuación, A_{ev} , se incluye el exceso debido a todos los demás mecanismos, y no sólo la pérdida en espacio abierto. Por consiguiente, si la geometría del trayecto radioeléctrico de la Fig. 1 fuese de tal forma que el despejamiento total de Fresnel del terreno no existiera, A_{ev} sería el exceso de atenuación producido tanto en espacio abierto como por la pérdida por difracción. De igual forma, si la frecuencia fuera suficientemente alta como para que la absorción gaseosa resultara significativa, A_{ev} sería también el exceso producido por la absorción gaseosa.

Debe observarse asimismo que A_m es equivalente a la pérdida por ecos parásitos observada frecuentemente en el caso de terminales obstruidos por alguna forma de cobertura de tierra o eco parásito.

El valor de la atenuación específica debida a la vegetación, γ dB/m, depende de la especie y la densidad de dicha vegetación. En la Fig. 2 se proporcionan valores aproximados en función de la frecuencia.

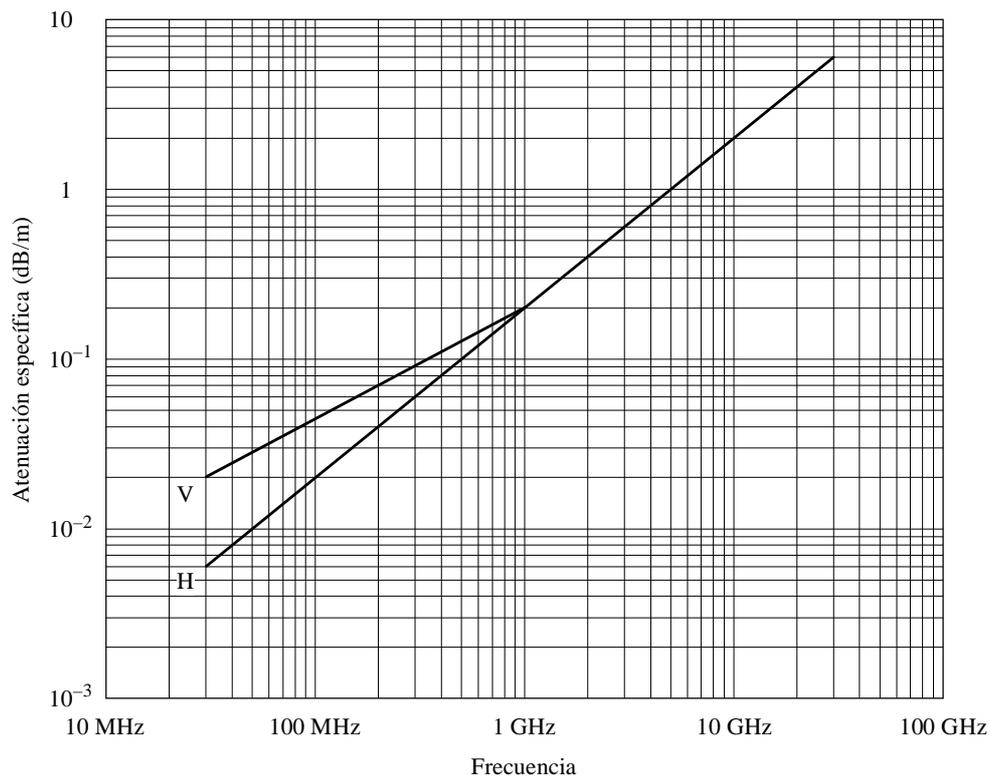
El valor de la atenuación máxima, A_m dB, limitada por la dispersión de la onda de superficie, depende de la especie y la densidad de la vegetación, así como del diagrama de radiación de la antena del terminal que se encuentra dentro de la vegetación y de la distancia en vertical entre la antena y el punto más alto de la vegetación.

En la Fig. 2 se muestran valores típicos de atenuación específica obtenidos a partir de diferentes mediciones en la gama de frecuencias que va de 30 MHz a 30 GHz aproximadamente en zona boscosa. Por debajo de 1 GHz las señales polarizadas verticalmente tienen tendencia a experimentar una atenuación superior a la que experimentan las polarizadas horizontalmente, aunque esto se debe a la dispersión causada por los troncos de los árboles.

Se hace hincapié en que la atenuación debida a la vegetación varía ampliamente debido a la naturaleza irregular del medio y a la gran variedad de especies, densidades y condiciones de humedad que se da en la práctica. Los valores que se muestran en la Fig. 2 deben considerarse únicamente como ejemplos.

A frecuencias del orden de 1 GHz, la atenuación específica en zonas de árboles con hojas es normalmente un 20% superior (dB/m) que en las zonas de árboles sin hojas. También puede haber variaciones de la atenuación debido al movimiento del follaje, por ejemplo a causa del viento.

FIGURA 2
Atenuación específica en zona boscosa



V: Polarización vertical
H: Polarización horizontal

0833-02

Unas mediciones en la gama de frecuencias de 900-1 800 MHz realizadas en un parque con árboles tropicales en Río de Janeiro (Brasil) mostraron una dependencia de la frecuencia de A_m :

$$A_m = 0,18 f^{0,752} \quad (2)$$

donde f es la frecuencia (MHz).

La altura media de los árboles era de 15 m y la altura de la antena receptora era de 2,4 m.

3 Obstrucción por un solo obstáculo vegetal

3.1 A 3 GHz o por debajo de 3 GHz

La ecuación (1) no se aplica a trayectos radioeléctricos obstruidos por un solo obstáculo vegetal cuando ambos terminales están fuera del medio vegetal, como por ejemplo un trayecto que pase por la copa de un árbol aislado. En ondas métricas y decimétricas, cuando la atenuación específica tiene valores relativamente bajos, y en especial cuando la parte vegetal del trayecto radioeléctrico es relativamente corta, esta situación puede simularse de forma aproximada en términos de atenuación específica y de límite máximo de pérdida total en exceso.

$$A_{et} = d \gamma \quad (3)$$

donde:

d : longitud del trayecto a través de la copa del árbol (m)

γ : atenuación específica para trayectos en vegetación muy cortos (dB/m)

y $A_{et} \leq$ el exceso de atenuación más bajo para otros trayectos (dB).

La restricción del valor máximo para A_{et} es necesaria porque si la atenuación específica es suficientemente alta, existirá un trayecto con menor pérdida que rodee la zona de vegetación. Puede calcularse un valor aproximado de atenuación mínima para otros trayectos, como si la copa del árbol fuera una delgada pantalla de difracción de anchura finita utilizando el método del § 4.2 de la Recomendación UIT-R P.526.

Se hace hincapié en que la ecuación (3), con el límite máximo de A_{et} , es únicamente una aproximación. En general, tenderá a sobrestimar el exceso de pérdida debido a la vegetación. Por consiguiente, es la más útil para una evaluación aproximada de la pérdida adicional a la hora de planificar un determinado servicio. Si se utiliza para una señal no deseada, la fórmula puede dar lugar a una subestimación significativa de la interferencia resultante.

3.2 Por encima de 3 GHz

La atenuación en zonas de vegetación es importante para los sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha. Estos sistemas se basan normalmente en una red en estrella, con un centro (o estación de base) bien situado que da servicio a gran número de usuarios con antenas de tejado. En muchos casos, las señales se verán oscurecidas por la vegetación cercana a la antena del usuario. En aras de la simplicidad, la antena del centro se denominará transmisor y la antena del usuario, receptor.

En el modelo se tiene en cuenta únicamente la propagación a través de la vegetación. La atenuación experimentada será el valor mínimo del nivel determinado por el siguiente modelo y la señal difractada en torno a la vegetación, que puede calcularse según el método del § 4.2 de la Recomendación UIT-R P.526.

Se ha elaborado un modelo empírico de propagación a través de la vegetación para frecuencias por encima de 3 GHz en el que la atenuación debida a la vegetación está en función de la profundidad de dicha vegetación y tiene en cuenta la naturaleza de doble pendiente de la atenuación medida en función de las curvas de profundidad.

El modelo se deriva de una base de datos obtenidos de mediciones en la gama de frecuencias de 9,6-57,6 GHz, pero tiene también en cuenta la geometría del lugar, considerando la extensión de la iluminación del medio vegetal, definida por la anchura de dicha iluminación, W . La atenuación según la profundidad de la vegetación, d (m), viene dada por:

$$A = \frac{R_{\infty}}{f^a W^b} d + \frac{k}{W^c} \left(1 - \exp \left(- \frac{(R_0 - R_{\infty}) W^c}{k} d \right) \right) \quad (4)$$

siendo f la frecuencia de la señal (GHz), y a , b , c , k , R_0 y R_{∞} constantes que se proporcionan en el Cuadro 1.

CUADRO 1

Valores de las constantes de la ecuación (4)

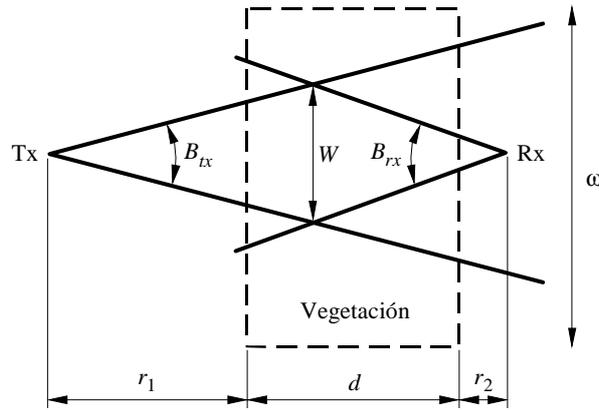
Parámetro constante	Con follaje	Sin follaje
a	0,7	0,64
b	0,81	0,43
c	0,37	0,97
k	68,8	114,7
R_0	16,7	6,59
R_{∞}	8,77	3,89

Para tener en cuenta la geometría del lugar, ha de considerarse la extensión de la iluminación del medio vegetal. Ésta puede estar caracterizada por la anchura de dicha iluminación, W , como se muestra en la Fig. 3. W es la dimensión horizontal máxima dentro de la vegetación común a la anchura de los haces de transmisión y de recepción. Dado que este modelo es un ajuste empírico a los datos de medición, sólo deberá aplicarse respetando los siguientes límites para W :

$$1 \text{ m} < W < 50 \text{ m}$$

La dimensión vertical no se ha simulado. Se supone que la vegetación cubre la dimensión vertical de la antena receptora.

FIGURA 3
Geometría de trayectos en vegetación



0833-03

B_{tx} y B_{rx} son las anchuras de los haces de 3 dB de la antena de transmisión y la antena de recepción respectivamente, ω es la anchura física de la vegetación, d es la profundidad de la vegetación y r_1 y r_2 son las distancias a las que se encuentran de la vegetación la antena transmisora y la antena receptora, respectivamente. Se supone que la antena receptora es la que se encuentra más cerca de la vegetación.

W es la máxima anchura efectiva de acoplamiento entre las antenas transmisora y receptora, que se extiende dentro del medio vegetal (es decir, que viene dada por la mayor profundidad de vegetación medida), definida por:

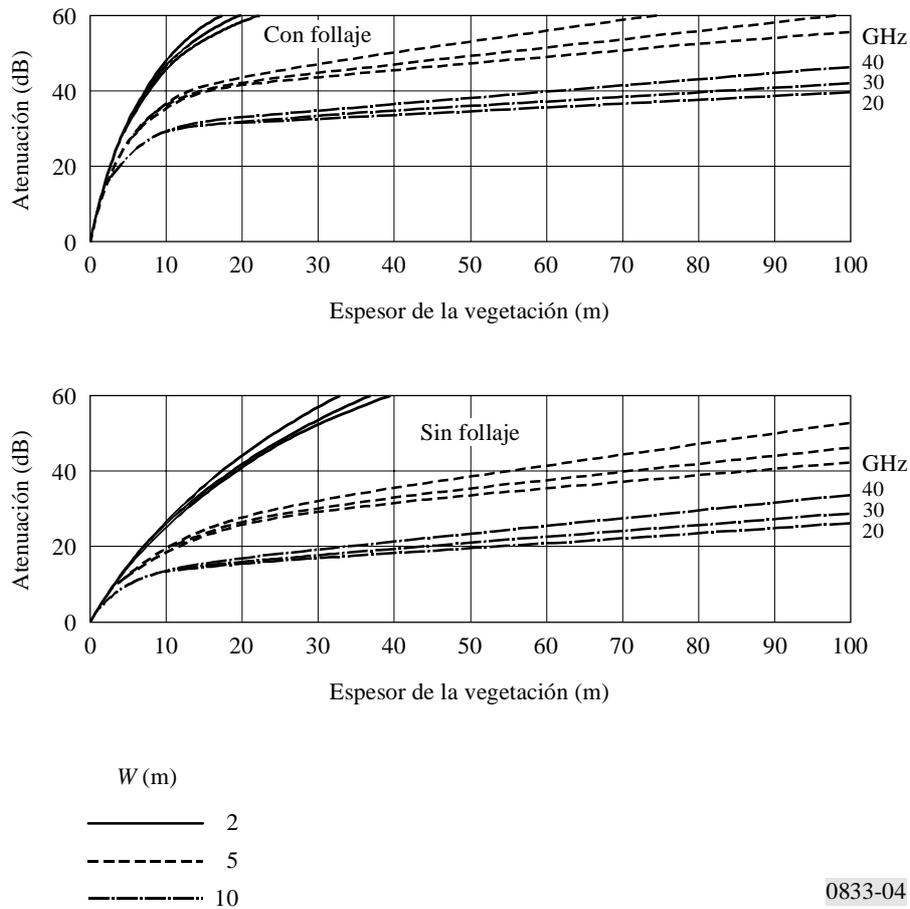
$$W = \min \left[\begin{array}{c} \frac{(r_1 + d + r_2) \operatorname{tg}(B_{tx}) \operatorname{tg}(B_{rx})}{\operatorname{tg}(B_{tx}) + \operatorname{tg}(B_{rx})} \\ (r_1 + d) \operatorname{tg}(B_{tx}) \\ (d + r_2) \operatorname{tg}(B_{rx}) \\ \omega \end{array} \right] \quad (5)$$

En la práctica, $r_1 \gg r_2$ y se prevé que la anchura del haz del receptor, B_{rx} , sea únicamente de algunos grados. En estas condiciones, las partes de la ecuación (5) que contienen r_2 normalmente no se requerirán.

En la Fig. 4 se muestra un ejemplo del modelo para tres casos de anchura de vegetación, W , y tres frecuencias, 20, 30 y 40 GHz, para vegetación con y sin follaje. Este modelo de atenuación debida a la vegetación en función de la profundidad de esta última puede incorporarse en modelos determinísticos (como las herramientas basadas en rayos que utilizan bases de datos de tres dimensiones del edificio local y de las ubicaciones de los árboles) para conseguir una predicción más realista de la extensión de la cobertura en un determinado emplazamiento de la antena transmisora.

FIGURA 4

Atenuación causada por la vegetación simulada a 20, 30 y 40 GHz para los parámetros que se muestran en el Cuadro 1



4 Despolarización

Las mediciones previas a 38 GHz sugieren que la despolarización a través de la vegetación puede muy bien ser importante, es decir, que la señal de polarización cruzada transmitida puede ser similar a la señal copolar a través de la vegetación. Sin embargo, para las profundidades mayores de la vegetación que se requieren para que esto ocurra, la atenuación sería tan grande que ambos componentes, el copolar y el de polarización cruzada, quedarían por debajo de la gama dinámica de la antena receptora.