

## RECOMENDACIÓN UIT-R P.833-3

**Atenuación debida a la vegetación**

(Cuestión UIT-R 202/3)

(1992-1994-1999-2001)

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:

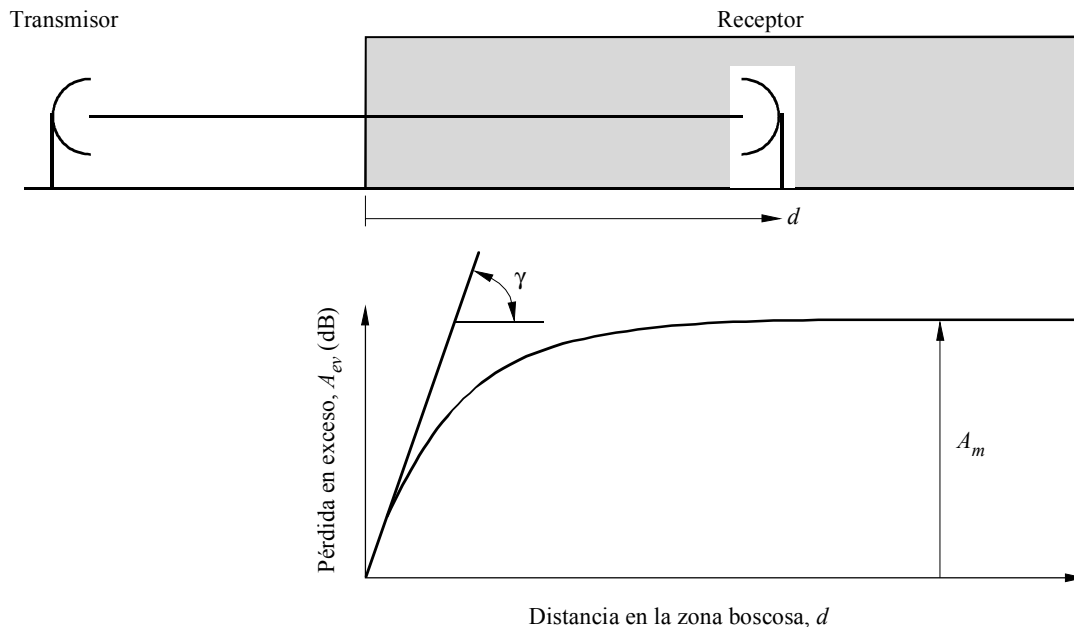
$d$ : longitud del trayecto dentro de la zona boscosa (m)

$\gamma$ : 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.

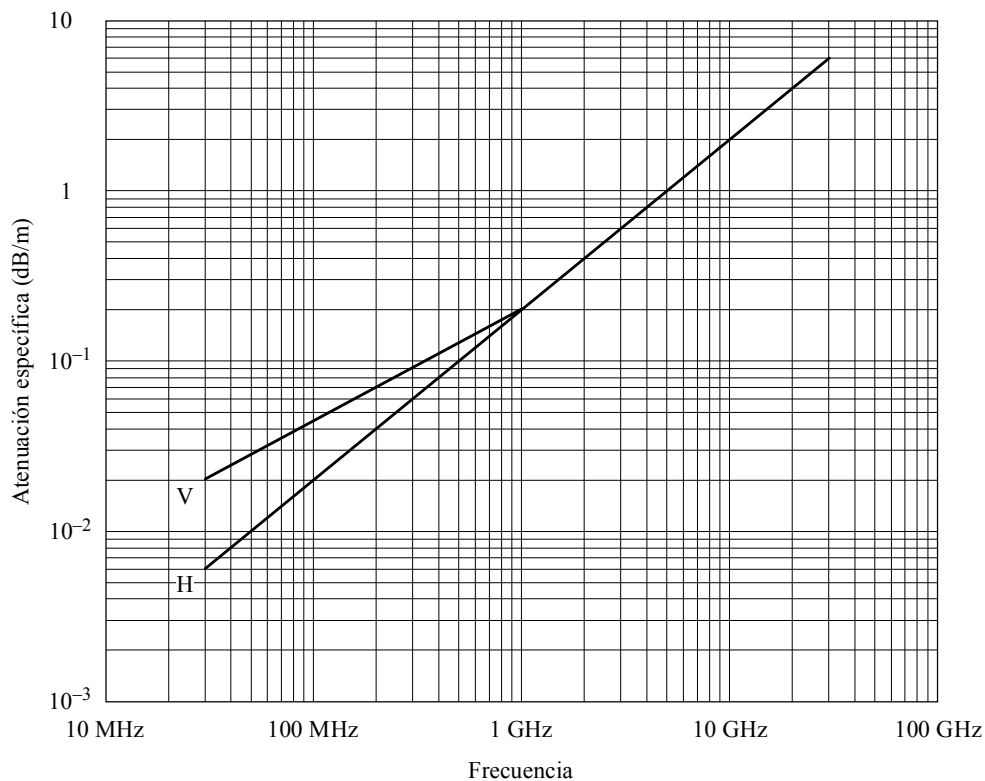
Debe observarse asimismo que  $A_m$  es equivalente a la pérdida por ecos parásitos observada frecuentemente en el caso de terminales obstruidos por alguna forma de cobertura de tierra o eco parásito.

El valor de la atenuación específica debida a la vegetación,  $\gamma$  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.

FIGURA 2  
Atenuación específica en zona boscosa



V: Polarización vertical  
H: Polarización horizontal

0833-02

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.

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  $A_m$ :

$$A_m = 0,18 f^{0,752} \tag{2}$$

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)

$\gamma$ : 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 5 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.

Se ha elaborado un modelo empírico de propagación a través de la vegetación para frecuencias por encima de 5 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 permite determinar la pérdida en exceso que experimenta la señal al pasar a través de la vegetación. En la práctica, una vez que la señal atraviesa la vegetación recibe contribuciones debidas a la propagación tanto de la vegetación como de la difracción que se produce a su alrededor. La señal difractada se puede calcular con el método que figura en la Recomendación UIT-R P.526, § 4.2. La forma dominante de esos dos mecanismos de propagación limitará así la pérdida total debida a la vegetación.

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 el área de iluminación mínima,  $A_{min}$ . La atenuación según la profundidad de la vegetación,  $d$  (m) (además de las pérdidas en espacio libre) viene dada por:

$$A_{scat} = R_{\infty}d + k \left( 1 - \exp \left\{ \frac{-(R_0 - R_{\infty})}{k} d \right\} \right) \quad (4)$$

donde, la pendiente inicial es:

$$R_0 = af \quad (5)$$

y la pendiente final es:

$$R_{\infty} = \frac{b}{f^c} \quad (6)$$

siendo  $f$  la frecuencia (GHz) y la variación de atenuación, en la cual la componente de dispersión del campo recibido alcanza la misma magnitud que la componente coherente atenuada,

$$k = k_0 - 10 \log_{10} \left( A_0 \left( 1 - \exp \left\{ \frac{-A_{min}}{A_0} \right\} \right) \left( 1 - \exp \left\{ -R_f f \right\} \right) \right) \quad (7)$$

y los parámetros  $a, b, c, k_0, R_f$  y  $A_0$  figuran en el Cuadro 1.

CUADRO 1

Parámetro	Con follaje	Sin follaje
$a$	0,2	0,16
$b$	1,27	2,59
$c$	0,63	0,85
$k_0$	6,57	12,6
$R_f$	0,0002	2,1
$A_0$	10	10

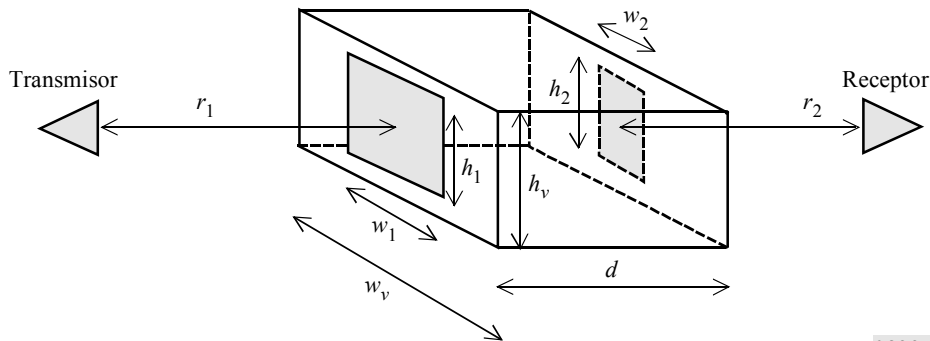
El área de iluminación mínima,  $A_{min}$ , se define como el producto de la mínima anchura de vegetación iluminada,  $\min(w_1, w_2, w_v)$  y la mínima altura,  $\min(h_1, h_2, h_v)$  que corresponde a la más pequeña de las dos zonas iluminadas de la antena en las partes anterior y posterior de la vegetación. Estas alturas y anchuras se determinan por las anchuras de haz a 3 dB en elevación y acimut de las antenas de transmisión y la anchura física,  $w_v$ , y la altura de la vegetación,  $h_v$ , como se

observa en la Fig. 3, donde se supone que la vegetación tiene forma rectangular. Si la antena de transmisión tiene una anchura de haz en elevación,  $\varphi_T$ , y una anchura de haz en acimut,  $\theta_T$ , y en la antena receptora estos valores son  $\varphi_R$  y  $\theta_R$ , respectivamente, el área mínima de iluminación se determina como sigue:

$$A_{min} = \min(h_1, h_2, h_v) \times \min(w_1, w_2, w_v)$$

$$A_{min} = \min\left(2r_1 \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi_T}{2}\right), 2r_2 \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi_R}{2}\right), h_v\right) \times \min\left(2r_1 \operatorname{tg}\left(\frac{\theta_T}{2}\right), 2r_2 \operatorname{tg}\left(\frac{\theta_R}{2}\right), w_v\right) \quad (8)$$

FIGURA 3  
Geometría para calcular el área mínima de vegetación iluminada,  $A_{min}$   
(véase la ecuación (8))



0833-03

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 (8) que contienen  $r_1$  normalmente no se requerirán.

Las pérdidas por difracción en dos aristas aisladas,  $A_{difw}$ , debido a la difracción que se produce alrededor de la zona de vegetación y  $A_{difh}$  debido a la difracción que ocurre en la cima de la vegetación se calcula de acuerdo con lo dispuesto en la Recomendación UIT-R P.526, §4. Las pérdidas debidas a la vegetación,  $A$ , se consideran como el valor mínimo de  $A_{difw}$ ,  $A_{difh}$  y  $A_{scat}$ .

La Fig. 4 contiene un ejemplo del modelo para dos casos de área de iluminación mínima ( $0,5$  y  $2 \text{ m}^2$ ) y tres frecuencias ( $5$ ,  $10$  y  $40 \text{ GHz}$ ) para vegetación con follaje y sin follaje.

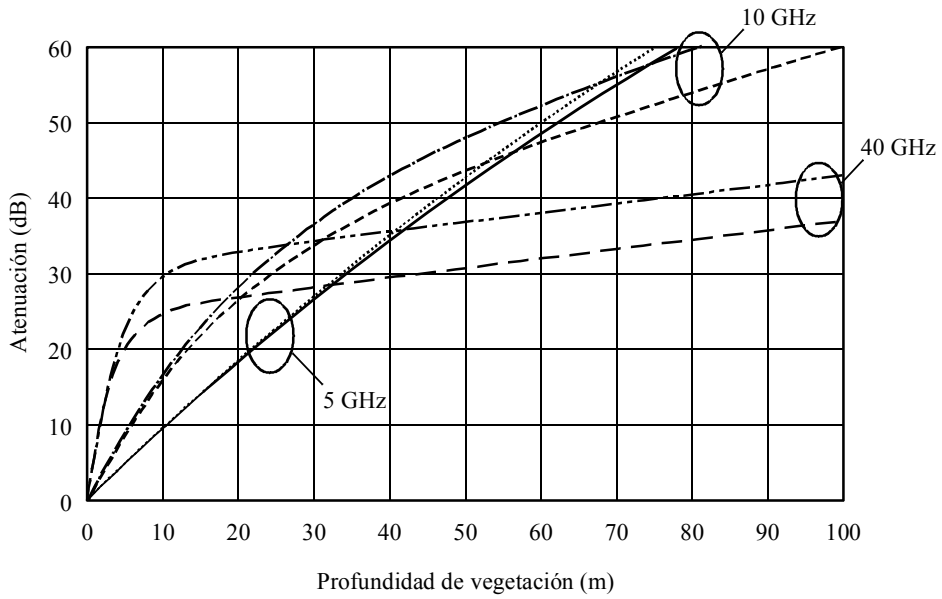
Este modelo para calcular la atenuación debida a la vegetación en función de su profundidad se puede incorporar a modelos determinísticos (como herramientas basadas en rayos que emplean bases de datos 3D sobre la ubicación de las edificaciones y la vegetación) a fin de obtener una predicción más realista de la extensión de la cobertura para una ubicación determinada del transmisor.

#### 4 Despolarización

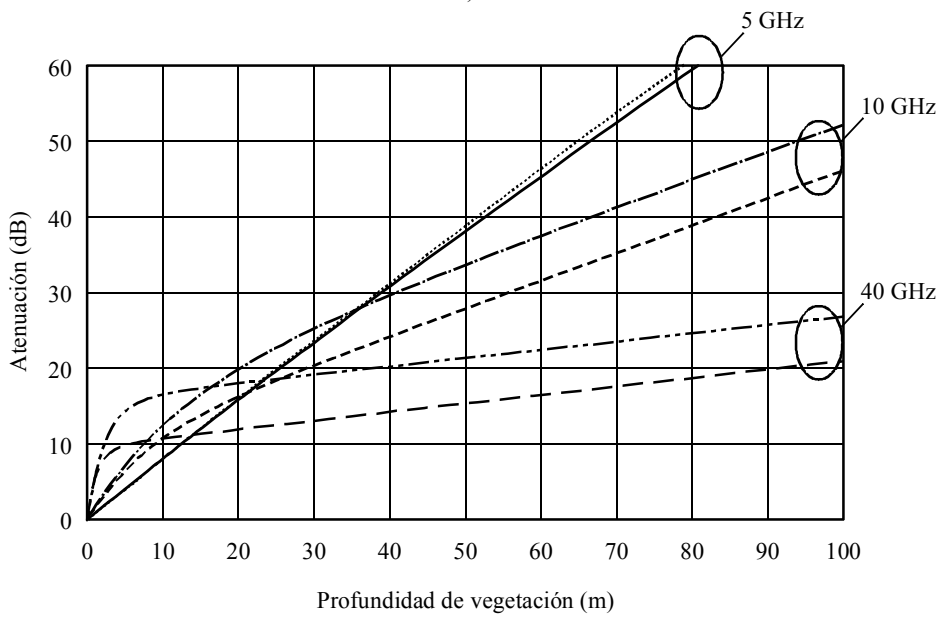
Las mediciones previas a  $38 \text{ GHz}$  sugieren que la despolarización a través de la vegetación puede muy bien ser importante, es decir, que la señal de polarización cruzada transmitida puede ser similar a la señal copolar a través de la vegetación. Sin embargo, para las profundidades mayores de 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.

FIGURA 4

Atenuación para un área de iluminación de 0,5 m<sup>2</sup> y 2 m<sup>2</sup>, a) con follaje, b) sin follaje)\*



a)



b)

- |       |                            |       |                            |
|-------|----------------------------|-------|----------------------------|
| ..... | 5 GHz, 0,5 m <sup>2</sup>  | ----- | 10 GHz, 2 m <sup>2</sup>   |
| ————  | 5 GHz, 2 m <sup>2</sup>    | ----- | 40 GHz, 0,5 m <sup>2</sup> |
| ----- | 10 GHz, 0,5 m <sup>2</sup> | ----- | 40 GHz, 2 m <sup>2</sup>   |

\* Las curvas representan las pérdidas en exceso que experimenta la señal al pasar a través de la vegetación. En la práctica, una vez que la señal atraviesa la vegetación recibe contribuciones debidas a la propagación tanto a través de la vegetación como de la difracción que se produce en los alrededores. Así, el mecanismo de propagación dominante limitará las pérdidas totales debidas a la vegetación.