

RECOMENDACIÓN UIT-R P.525-2*

CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN EN EL ESPACIO LIBRE

(1978-1982-1994)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

a) que la propagación en el espacio libre es una referencia fundamental en ingeniería radioeléctrica,

recomienda

1. que se utilicen los métodos que figuran en el anexo 1 para el cálculo de la atenuación en el espacio libre.

ANEXO 1

1. Introducción

Como en otros textos se suele tomar como referencia la propagación en el espacio libre, en este anexo se presentan las fórmulas pertinentes.

2. Fórmulas fundamentales para enlaces de telecomunicación

La propagación en el espacio libre puede calcularse de dos formas diferentes, cada una de las cuales se adapta a un tipo particular de servicio.

2.1 Enlaces punto a zona

En el caso de un solo transmisor que dé servicio a varios receptores distribuidos al azar (radiodifusión, servicio móvil), se calcula el campo en un punto situado a una cierta distancia del transmisor mediante la relación siguiente:

$$e = \frac{\sqrt{30p}}{d} \quad (1)$$

donde:

e : intensidad de campo eficaz (V/m) (véase la nota 1)

p : potencia isotropa radiada equivalente (p.i.r.e.) del transmisor en la dirección del punto considerado (W) (véase la nota 2)

d : distancia del transmisor al punto considerado (m).

Se sustituye a menudo la ecuación (1) por la ecuación (2), en la que se emplean unidades prácticas:

$$e_{\text{mV/m}} = 173 \frac{\sqrt{p_{\text{kW}}}}{d_{\text{km}}} \quad (2)$$

Para las antenas que funcionan en condiciones de propagación en el espacio libre, la fuerza electromotriz puede obtenerse multiplicando e por d en la ecuación (1), y su dimensión corresponde a la de una tensión.

* La Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2000 de conformidad con la Resolución UIT-R 44.

Nota 1 – Si la onda es de polarización elíptica y no rectilínea, y se designan por e_x y e_y los componentes del campo eléctrico que siguen dos ejes ortogonales, el primer miembro de la ecuación (1) debe sustituirse por $\sqrt{e_x^2 + e_y^2}$. Sólo puede deducirse e_x y e_y si se conoce la relación de elipticidad. En el caso de una polarización circular se debería sustituir e por $e\sqrt{2}$.

Nota 2 – En el caso de antenas situadas en la superficie del suelo, que funcionan a frecuencias relativamente bajas con polarización vertical, sólo se considera en general la radiación en el semiespacio superior. Debe tenerse en cuenta este hecho para determinar la p.i.r.e. (véase la Recomendación UIT-R PN.368).

2.2 Enlaces punto a punto

Cuando se trata de un enlace punto a punto, es preferible calcular la atenuación en el espacio libre entre antenas isótropas, denominada también pérdida básica de transmisión en el espacio libre (símbolos: L_{bf} o A_0) de la manera siguiente:

$$L_{bf} = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad \text{dB} \quad (3)$$

donde:

L_{bf} : pérdida básica de transmisión en el espacio libre (dB)

d : distancia

λ : longitud de onda

d y λ se expresan en las mismas unidades.

La ecuación (3) puede también escribirse en función de la frecuencia en vez de la longitud de onda:

$$L_{bf} = 32,4 + 20 \log f + 20 \log d \quad \text{dB} \quad (4)$$

donde:

f : frecuencia (MHz)

d : distancia (km).

2.3 Relaciones entre las características de una onda plana

Existen, además, relaciones entre las características de una onda plana (o de una onda asimilable a la onda plana) en un punto:

$$s = \frac{e^2}{120\pi} = \frac{4\pi p_r}{\lambda^2} \quad (5)$$

donde:

s : densidad del flujo de potencia (W/m^2)

e : intensidad de campo eficaz (V/m)

p_r : potencia disponible en una antena isótropa situada en este punto (W)

λ : longitud de onda (m).

3. Pérdida básica de transmisión en el espacio libre en los sistemas de radar (símbolos: L_{br} o A_{0r})

Los sistemas de radar constituyen un caso especial en cuanto que su señal sufre una pérdida al propagarse, tanto desde el transmisor hasta el blanco como desde éste hasta el receptor. En el caso de los radares dotados de una antena común para la transmisión y la recepción, la pérdida básica de transmisión en el espacio libre, L_{br} , puede expresarse como sigue:

$$L_{br} = 103,4 + 20 \log f + 40 \log d - 10 \log \sigma \quad \text{dB} \quad (6)$$

donde:

σ : sección transversal del blanco del radar (m^2)

d : distancia del radar al blanco (km)

f : frecuencia del sistema (MHz).

La sección transversal del blanco del radar para un objeto es la relación entre la potencia total dispersada isotrópicamente equivalente y la densidad de potencia incidente.

4. Fórmulas de conversión

Sobre la base de la propagación en el espacio libre, se pueden utilizar las fórmulas de conversión siguientes:

Intensidad de campo para una onda dada transmitida isotrópicamente:

$$E = P_t - 20 \log d + 74,8 \quad (7)$$

Potencia recibida isotrópicamente para una intensidad de campo dada:

$$P_r = E - 20 \log f - 167,2 \quad (8)$$

Pérdida de transmisión básica en el espacio libre para una potencia e intensidad de campo dadas transmitidas isotrópicamente:

$$L_{bf} = P_t - E + 20 \log f + 167,2 \quad (9)$$

Densidad de flujo de potencia para una intensidad de campo dada:

$$S = E - 145,8 \quad (10)$$

donde:

P_t : potencia transmitida isotrópicamente (dB(W))

P_r : potencia recibida isotrópicamente (dB(W))

E : intensidad de campo eléctrico (dB(μ V/m))

f : frecuencia (GHz)

d : longitud del trayecto radioeléctrico (km)

L_{bf} : pérdida básica de transmisión en el espacio libre (dB)

S : densidad del flujo de potencia (dB(W/m²)).

Téngase presente que se pueden utilizar las ecuaciones (7) y (9) para derivar la ecuación (4).
