

RECOMENDACIÓN UIT-R P.341-4*

NOCIÓN DE PÉRDIDAS DE TRANSMISIÓN EN LOS ENLACES RADIOELÉCTRICOS**

(1959-1982-1986-1994-1995)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que en un enlace radioeléctrico entre un transmisor y un receptor, la relación entre la potencia suministrada por el transmisor y la potencia disponible a la entrada del receptor depende de varios factores, como las pérdidas en las antenas o en las líneas de alimentación, la pérdida debida a diversos mecanismos de propagación, las pérdidas debidas a una mala adaptación de las impedancias o de la polarización, etc.;
- b) que convendría normalizar la terminología y las notaciones empleadas para caracterizar las pérdidas de transmisión y sus componentes;
- c) que la Recomendación UIT-R P.525 proporciona condiciones de referencia, para la propagación en el espacio libre,

recomienda

que, para caracterizar un enlace radioeléctrico, en el que intervienen un transmisor, un receptor, sus antenas, los circuitos asociados y el medio de propagación, se utilicen los términos, las definiciones y las notaciones siguientes:

1 Pérdida total (de un enlace radioeléctrico)*** (símbolos: L_t o A_t)

Relación, habitualmente expresada en decibelios, entre la potencia suministrada por el transmisor de un enlace radioeléctrico y la potencia suministrada al receptor correspondiente, en las condiciones reales de instalación, propagación y explotación.

NOTA 1 – Conviene precisar en cada caso los puntos en que se determina la potencia suministrada por el transmisor y la potencia suministrada al receptor, por ejemplo:

- antes o después de los filtros o multiplexores de radiofrecuencia que pueden utilizarse en la transmisión o en la recepción;
- a la entrada o a la salida de las líneas de alimentación de las antenas de transmisión y de recepción.

2 Pérdida del sistema (símbolos: L_s o A_s)

La pérdida del sistema en un enlace radioeléctrico es la relación, expresada generalmente en decibelios, entre la potencia de radiofrecuencia entregada a los terminales de la antena transmisora y la potencia de la señal de radiofrecuencia resultante disponible en los terminales de la antena receptora.

NOTA 1 – La potencia disponible es la máxima potencia real que una fuente puede entregar a una carga, es decir, la potencia que se entregaría a la carga si hubiera adaptación conjugada de impedancias.

NOTA 2 – La pérdida del sistema puede expresarse del siguiente modo:

$$L_s = 10 \log (p_t/p_a) = P_t - P_a \quad \text{dB} \quad (1)$$

siendo:

p_t : potencia de radiofrecuencia entregada a los terminales de la antena transmisora

p_a : potencia de la señal de radiofrecuencia resultante disponible en los terminales de la antena receptora.

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención del Comité de Coordinación para el Vocabulario (CCV).

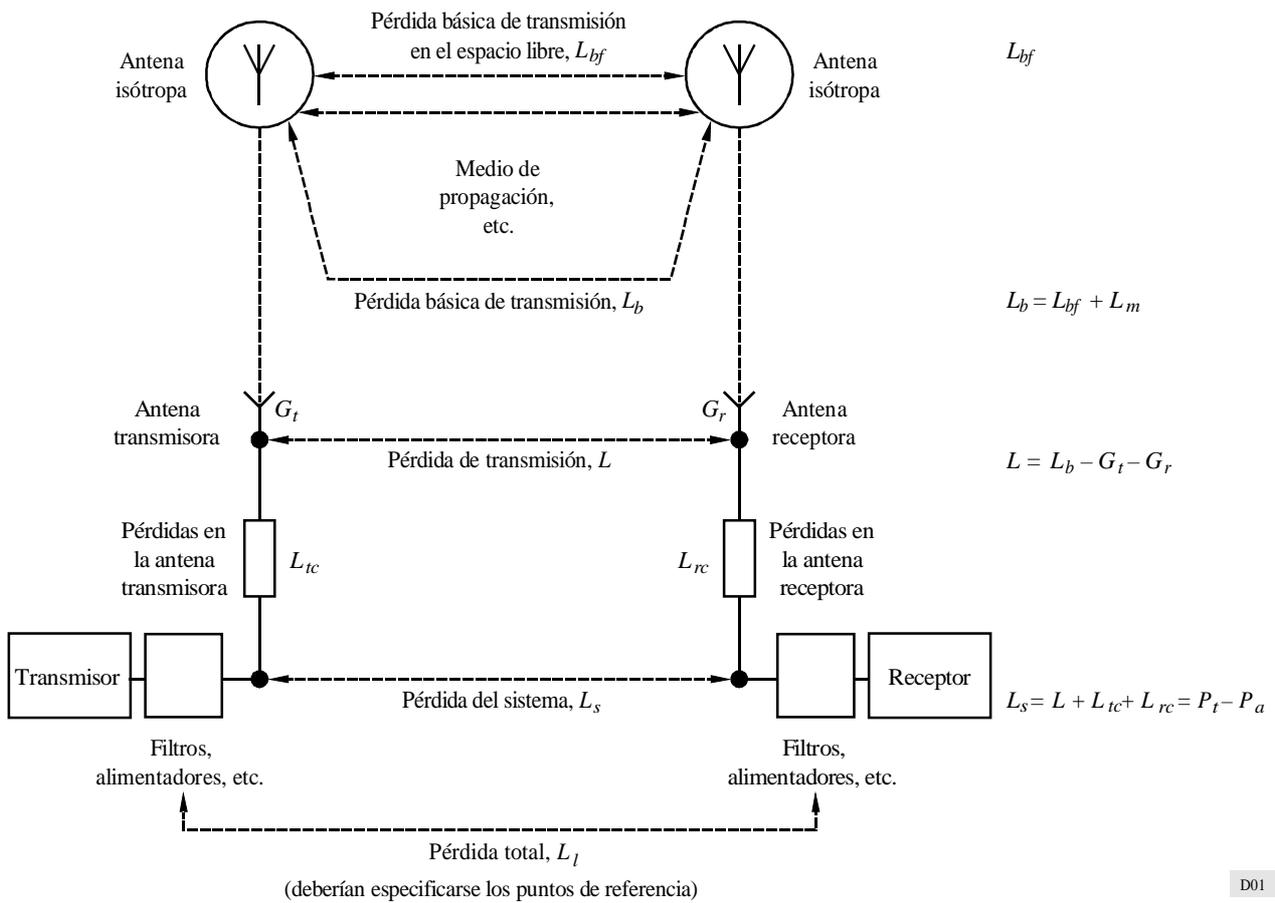
** En esta Recomendación se utilizan letras mayúsculas para indicar los valores (dB) de las magnitudes correspondientes designadas con letras minúsculas: por ejemplo, $P_t = 10 \log p_t$, donde P_t es la potencia de entrada en la antena transmisora (dB) con relación a 1 W, cuando p_t es la potencia de entrada (W).

*** En la Fig. 1 se presenta una descripción gráfica de ésta y de las siguientes definiciones.

NOTA 3 – La pérdida del sistema excluye las pérdidas en las líneas de alimentación, pero incluye todas las pérdidas en los circuitos de radiofrecuencia asociados con la antena, como son las pérdidas a tierra, pérdidas dieléctricas, pérdidas en las bobinas de carga de las antenas y pérdidas en las resistencias de terminación.

FIGURA 1

Representación gráfica de los términos utilizados en la noción de pérdida de transmisión



D01

3 Pérdida de transmisión (de un enlace radioeléctrico) (símbolos: L o A)

Relación, habitualmente expresada en decibelios, para un enlace radioeléctrico, entre la potencia radiada por la antena de transmisión y la potencia que estaría disponible a la salida de la antena de recepción si no hubiera ninguna pérdida en los circuitos de radiofrecuencia, suponiendo que se mantengan los diagramas de radiación de las antenas.

NOTA 1 – La pérdida de transmisión puede expresarse del siguiente modo:

$$L = L_s - L_{tc} - L_{rc} \quad \text{dB} \quad (2)$$

en donde L_{tc} y L_{rc} son las pérdidas, expresadas en decibelios, en los circuitos de las antenas transmisora y receptora, respectivamente, excluida la disipación asociada a la radiación de las antenas; es decir, la expresión que define a L_{tc} y L_{rc} es $10 \log (r'/r)$, en donde r' es la componente resistiva de la impedancia del circuito de antena y r la resistencia de radiación.

NOTA 2 – La pérdida de transmisión es igual a la pérdida del sistema menos la pérdida en los circuitos de radiofrecuencia asociados con las antenas.

4 Pérdida básica de transmisión (de un enlace radioeléctrico) (símbolos: L_b o A_i)

Pérdida de transmisión que se produciría si se sustituyeran las antenas por antenas isotrópicas con la misma polarización que las antenas reales, conservando el trayecto de propagación, pero despreciando los efectos de los obstáculos próximos a las antenas.

$$L_b = L + G_t + G_r \quad \text{dB} \quad (3)$$

donde G_t y G_r son las ganancias directivas (véase el Anexo 1) de las antenas de transmisión y de recepción, respectivamente, en la dirección de propagación.

NOTA 1 – La pérdida básica de transmisión es igual a la relación entre la potencia isotrópica radiada equivalente del conjunto transmisor y la potencia disponible procedente de una antena receptora isotrópica.

NOTA 2 – El efecto del terreno local próximo a la antena se incluye al calcular la ganancia de la antena, pero no en la pérdida básica de transmisión.

5 Pérdida básica de transmisión en el espacio libre (símbolos: L_{bf} o A_0)

Pérdida de transmisión que se produciría si se sustituyeran las antenas por antenas isotrópicas situadas en un medio dieléctrico perfectamente homogéneo, isotrópico e ilimitado, conservando la distancia entre las antenas (véase la Recomendación UIT-R P.525).

NOTA 1 – Si la distancia d entre las antenas es mucho más grande que la longitud de onda λ , la pérdida en el espacio libre, en decibelios, es igual a:

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

6 Pérdida de transmisión en el trayecto de un rayo (símbolos: L_t o A_t)

La pérdida de transmisión para el trayecto de propagación de un rayo determinado, es igual a la pérdida básica de transmisión menos las ganancias de las antenas transmisora y receptora en las direcciones del trayecto del rayo (véase el Anexo 1).

NOTA 1 – La pérdida de transmisión en el trayecto de un rayo puede expresarse así:

$$L_t = L_b - G_t - G_r \quad \text{dB} \quad (5)$$

en donde G_t y G_r son las ganancias directivas de las antenas transmisora y receptora (véase el Anexo 1) para una onda plana en las direcciones de propagación y con la polarización consideradas.

7 Pérdida relativa al espacio libre (símbolos: L_m o A_m)

Es la diferencia, expresada en decibelios, entre la pérdida básica de transmisión y la pérdida básica de transmisión en el espacio libre.

NOTA 1 – La pérdida relativa al espacio libre puede expresarse del siguiente modo:

$$L_m = L_b - L_{bf} \quad \text{dB} \quad (6)$$

NOTA 2 – L_m puede descomponerse en diferentes tipos de pérdidas tales como:

- pérdida de absorción (ionosférica, por gases atmosféricos o por precipitaciones);
- pérdida de difracción, como en el caso de las ondas de superficie;

- pérdida por dispersión o reflexión efectiva, como en el caso de la propagación ionosférica, incluidos los efectos de posibles enfoques o desenfoces debidos a la curvatura de una capa reflectante;
- pérdida por acoplamiento de polarización; puede deberse a desacoplamientos de polarización entre las antenas para una trayectoria de rayo específico considerada;
- pérdida por acoplamiento abertura-medio o degradación de la ganancia de antena, que puede ser debida a la presencia de apreciables fenómenos de dispersión en el trayecto;
- efecto de la interferencia ondulatoria entre el rayo directo y los rayos reflejados, en el suelo, en otros obstáculos o en las capas atmosféricas.

ANEXO 1

1 Directividad de antena

La directividad en una dirección dada se define como la relación entre la intensidad de radiación (potencia por unidad de ángulo sólido (estereorradián)), en esa dirección, y la intensidad media radiada por la antena en todas las direcciones.

Al convertir la pérdida de transmisión, o en casos concretos, la pérdida de transmisión en el trayecto de un rayo, en una pérdida básica de transmisión, deben tenerse en cuenta las directividades de la onda plana para las antenas transmisora y receptora, en la dirección y para la polarización en cuestión. En aquellos casos en que la calidad de funcionamiento de la antena está influida por el terreno local u otros obstáculos (que no afectan al trayecto) la directividad es el valor obtenido con la antena en su lugar de emplazamiento.

En el caso particular de propagación por onda de superficie con antenas situadas en el suelo o en sus proximidades, aunque la directividad de la antena receptora, G_r , está determinada por la definición anterior, la superficie de captación de la señal y en consecuencia la potencia disponible, disminuyen por debajo de su valor de espacio libre. En consecuencia debe reducirse el valor de G_r que ha de utilizarse (véase el Anexo 2).

2 Ganancia de antena

La ganancia de potencia de una antena se define como la relación, generalmente expresada en decibelios, entre la potencia necesaria a la entrada de una antena de referencia sin pérdidas y la potencia suministrada a la entrada de la antena considerada, para que ambas antenas produzcan, en una dirección dada, la misma intensidad de campo, o la misma densidad de flujo de potencia a la misma distancia. Salvo que se indique lo contrario, la ganancia se refiere a la dirección de máxima radiación de la antena. Eventualmente puede tomarse en consideración la ganancia para una polarización especificada.

3 Antena de referencia normalizada

En el estudio de la propagación sobre enlaces radioeléctricos en diferentes bandas de frecuencias, se aplica un cierto número de antenas de referencia. En los textos UIT-R se mencionan también varias antenas de ese tipo.

Según la antena de referencia elegida se distingue entre:

- *la ganancia isótropa o absoluta (G_i)* si la antena de referencia es una antena isótropa aislada en el espacio;
- *la ganancia con relación a un dipolo de media onda (G_d)* si la antena de referencia es un dipolo de media onda aislado en el espacio y cuyo plano ecuatorial contiene la dirección dada;
- *la ganancia con relación a una antena vertical corta (G_v)* si la antena de referencia es un conductor rectilíneo mucho más corto que un cuarto de longitud de onda y perpendicular a la superficie de un plano perfectamente conductor que contiene la dirección dada.

(La ganancia de potencia corresponde a la máxima directividad para antenas sin pérdidas.)

El Cuadro 1 indica la directividad, G_i , de algunas antenas de referencia típicas. Indica también los valores correspondientes de la fuerza cimomotriz en el caso de una potencia radiada de 1 kW.

CUADRO 1

Directividad de antenas de referencia típicas y relación entre ésta y la fuerza cimomotriz

Antena de referencia	g_t	$G_t^{(1)}$ (dB)	Fuerza cimomotriz correspondiente a una potencia radiada de 1 kW, (V)
Isótropa en el espacio libre	1	0	173
Dipolo de Hertz en el espacio libre	1,5	1,75	212
Dipolo de media onda en el espacio libre	1,65	2,15	222
Dipolo de Hertz, o un monopolo vertical corto, sobre un suelo perfectamente conductor ⁽²⁾	3	4,8	300
Monopolo de un cuarto de onda sobre un suelo perfectamente conductor	3,3	5,2	314

⁽¹⁾ $G_t = 10 \log g_t$

Los valores de $G_r(g_r)$ son iguales a los valores de $G_t(g_t)$ en el caso de antenas en el espacio libre. Véanse, en el Anexo 2, los valores de G_r correspondientes a las antenas sobre un suelo perfectamente conductor.

⁽²⁾ En el caso de un dipolo de Hertz, se supone que la antena está cerca de una tierra perfectamente conductora.

ANEXO 2

Influencia de las proximidades de la antena

Cuando las antenas se instalan sobre el suelo o en sus proximidades y se hace uso de la propagación por onda de superficie (es decir, $h < \lambda$, especialmente para frecuencias inferiores a 30 MHz) el valor de la resistencia de radiación de la antena correspondiente a espacio libre se modifica por la influencia del suelo. En consecuencia, la densidad de flujo de potencia en la antena receptora (resultante del vector suma de los rayos directo y reflejado) depende de la altura de la antena transmisora, y la superficie efectiva de captación de la antena receptora depende de la altura de ésta sobre el suelo.

La influencia del entorno en el funcionamiento de un par de antenas (que forman un circuito elemental) se ilustra considerando la pérdida de transmisión entre dos dipolos eléctricos verticales cortos y sin pérdidas situados a alturas h_t y h_r sobre una superficie plana perfectamente conductora. La separación entre los dipolos, d , es muy grande comparada con la longitud de onda λ .

1 La densidad de flujo de potencia s (W/m²) a una altura h_r viene dada por:

$$s = \frac{p'_t \cos^4 \psi}{4\pi d^2 (1 + \Delta_t)} \times 1,5 \left[2 \cos (k h_t \text{ sen } \psi) \right]^2 \tag{7}$$

donde:

p'_t : potencia radiada por la antena transmisora (W)

d, h_t, h_r, λ se expresan en metros

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\psi = \text{arc tg} \frac{|h_r - h_t|}{d}$$

y:

$$\Delta_t = \frac{3}{(2 k h_t)^2} \left[\frac{\text{sen } 2 k h_t}{2 k h_t} - \cos 2 k h_t \right] \tag{8}$$

con $\Delta_t = 1$ cuando $h_t = 0$.

En la ecuación (7) se supone que los valores h_t , h_r y λ son mucho menores que d .

Debe observarse lo siguiente:

- la distancia entre las antenas aumenta según $d \sec \psi$,
- el campo eléctrico debido al dipolo varía según $\cos \psi$,
- la resistencia de radiación en el espacio libre es multiplicada por $(1 + \Delta_t)$,
- debido a la adición vectorial de los rayos directo y reflejado, el valor de la densidad de flujo de potencia en el espacio libre se multiplica por:

$$\frac{\left[2 \cos (k h_t \operatorname{sen} \psi)\right]^2}{(1 + \Delta_t)}$$

Esto es equivalente a un cambio de la directividad debida a la presencia de la superficie reflectora. El factor de multiplicación es igual a 2 cuando $h_t = h_r = 0$.

2 El área de captación efectiva de la antena receptora viene dada por:

$$a_e = \frac{1,5 \lambda^2 \cos^2 \psi}{4\pi (1 + \Delta_r)} \quad (9)$$

Debe observarse lo siguiente:

- el área de captación en la dirección de la antena transmisora se multiplica por $\cos^2 \psi$ debido a los efectos direccionales;
- el cambio de la resistencia de radiación se basa en la ecuación (8), donde Δ_t y h_t se reemplazan por Δ_r y h_r ;
- el valor del área de captación en el espacio libre se multiplica por $1/(1 + \Delta_r)$ dada la presencia del plano de reflexión; en consecuencia, la presencia del plano de reflexión reduce la zona de captación por debajo de su valor en el espacio libre, en un factor que es igual a 2 cuando $h_t = h_r = 0$;
- como g_t tiene el valor $2 \times 1,5$ (por definición) cuando $h_t = h_r = 0$ es importante observar que éste no es el valor adecuado que ha de utilizarse para g_r ; el valor correcto de g_r es $1,5/2 = g_t/4$.

3 Como la potencia total captada por la antena receptora viene dada por $p_a' = sa_e$, las ecuaciones (7) y (9) pueden combinarse para obtener una expresión de la pérdida de transmisión entre dos dipolos verticales cortos, sin pérdidas, situados sobre una superficie plana perfectamente conductora.

$$L = L_{bf} - 6,0 - 10 \log \left[(1,5 \cos^2 \psi)^2 \frac{\cos^2 (k h_t \operatorname{sen} \psi)}{(1 + \Delta_r)(1 + \Delta_t)} \right] \quad \text{dB} \quad (10)$$

Existen dos casos límite:

a) *Antenas sobre la superficie*

$$h_t = h_r = 0; \quad \Delta_t = \Delta_r = 1; \quad \psi = 0$$

$$L = L_{bf} - 3,5 \quad \text{dB}$$

b) *Alturas de antenas muy grandes*

$$h_t = h_r \gg \lambda; \quad \Delta_t = \Delta_r \rightarrow 0; \quad \psi \rightarrow 0$$

$$L = L_{bf} - 3,5 - 6,0 \quad \text{dB}$$

NOTA 1 – Se debe señalar que las fórmulas que tienen en cuenta la presencia de un plano de reflexión infinito no pueden asimilarse a las fórmulas que se aplican en el espacio libre aun cuando las alturas de las antenas tiendan al infinito.