

4

BALANCE DE POTENCIAS DE UN RADIOENLACE

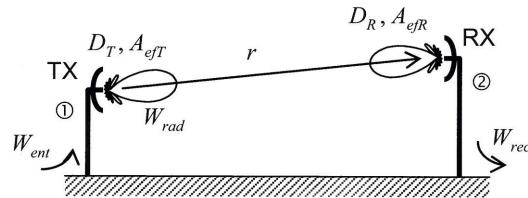
Ecuación de transmisión

Balance de potencias:

$$\frac{W_{rec}}{W_{ent}} = \frac{D_T A_{efR}}{4\pi r^2} \frac{1}{L}$$

$$\frac{1}{L} = \eta_t \eta_r C_a C_p C_m$$

C_m : coeficiente del medio (fenómenos de propagación)



①TX, ②RX:

$$\frac{W_{rec,2}}{W_{ent,1}} = \frac{D_1 A_{ef2}}{4\pi r^2} \frac{1}{L}$$

②TX, ①RX:

$$\frac{W_{rec,1}}{W_{ent,2}} = \frac{D_2 A_{ef1}}{4\pi r^2} \frac{1}{L}$$

Para cualquier antena aislada:

$$\frac{D}{A_{ef}} = \frac{4\pi}{\lambda^2}$$

Ecuación de transmisión

➤ Formas de la ecuación de transmisión: Ecuación de Friis

$$\frac{W_{rec}}{W_{ent}} = \frac{D_T A_{efR}}{4\pi r^2} \frac{1}{L} = \frac{A_{efT} A_{efR}}{\lambda^2 r^2} \frac{1}{L} = \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2 \frac{1}{L}$$

$$\frac{W_{rec}}{W_{ent}} = \frac{G_T G_R}{\left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2} C_a C_p C_m$$

Ejemplo:

$$f = 10 \text{ GHz}$$

$$r = 20 \text{ km}$$

$$G_T = G_R = 35 \text{ dB}$$

$$\frac{W_{rec}}{W_{ent}} = -68,5 \text{ dB}$$

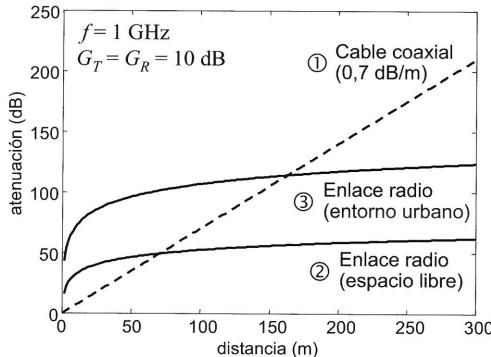
Pérdidas básicas de propagación (en espacio libre):

$$L_b(\text{dB}) = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right) = 92,4 + 20 \log_{10} f(\text{GHz}) + 20 \log_{10} d(\text{km})$$

$$W_{rec}(\text{dBm}) = W_{ent}(\text{dBm}) + D_T(\text{dB}) + D_R(\text{dB}) - L_b(\text{dB}) - L(\text{dB})$$

Ecuación de transmisión

➤ Comparativa entre propagación por cable y radio:



- Inicialmente, la expansión geométrica de las ondas produce más atenuación que en el caso de la pérdida exponencial.
- Sin embargo, la curva exponencial pronto supera al comportamiento geométrico.

$$\textcircled{1} \quad W_{rec} \propto \exp(-ar)$$

$$\textcircled{2} \quad W_{rec} \propto 1/r^2$$

$$\textcircled{3} \quad W_{rec} \propto 1/r^{3,5}$$

En el caso de la fibra óptica, la atenuación es incluso mucho menor (0,2 dB/km), si bien hay que tener en cuenta también las pérdidas que se producen en los equipos transmisores y receptores (modulación electroóptica y fotorrecepción).

Ecuación Radar

➤ RADAR (Radio Detection and Ranging):

Las funciones principales de los radares son la detección e identificación de blancos. Se pueden clasificar en:

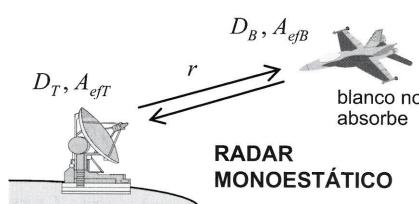
- PRIMARIOS: detección (distancia, velocidad, etc.)
- SECUNDARIOS: identificación (se necesita la colaboración del blanco)
- MONOESTÁTICOS: transmisor y receptor en el mismo lugar
- BIESTÁTICOS: transmisor y receptor en lugares diferentes.

Balance de potencias:

$$\frac{W_{rec}}{W_{ent}} = \frac{D_T A_{eff} D_B A_{efB}}{(4\pi r^2)^2} \frac{1}{L}$$

D_B : directividad del blanco

A_{efB} : área efectiva del blanco

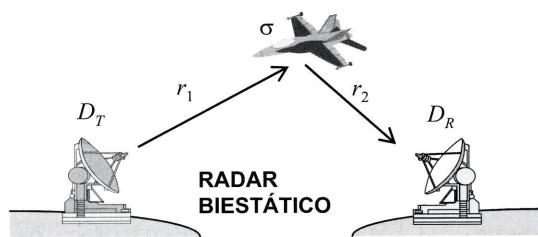


Ecuación Radar

Sección recta-radar de un blanco:

$$\sigma = D_B A_{efB} \quad [\text{m}^2] \quad \rightarrow \quad \frac{W_{rec}}{W_{ent}} = \frac{D_T A_{efT} \sigma}{(4\pi r^2)^2} \frac{1}{L} \propto \frac{1}{r^4} \quad (\text{espacio libre})$$

Balance de potencias:



- Radar monoestático:

$$\frac{W_{rec}}{W_{ent}} = \frac{\lambda^2 D_T^2 \sigma}{(4\pi)^3 r^4} \frac{1}{L}$$

- Radar biestático:

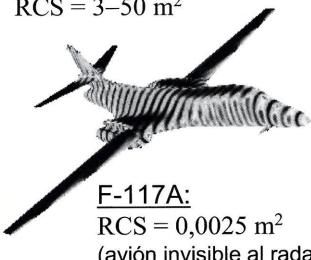
$$\frac{W_{rec}}{W_{ent}} = \frac{\lambda^2 D_T D_R \sigma}{(4\pi)^3 (r_1 r_2)^2} \frac{1}{L}$$

Sección recta-radar

➤ Sección recta-radar (RCS) de un blanco:

Caracteriza la reflectividad de un blanco frente a las ondas electromagnéticas. Suele especificarse en forma de diagrama de radiación, ya que depende de la dirección de incidencia. También depende de la frecuencia, existiendo tres zonas de funcionamiento.

Valores típicos de aviones:
RCS = 3–50 m²



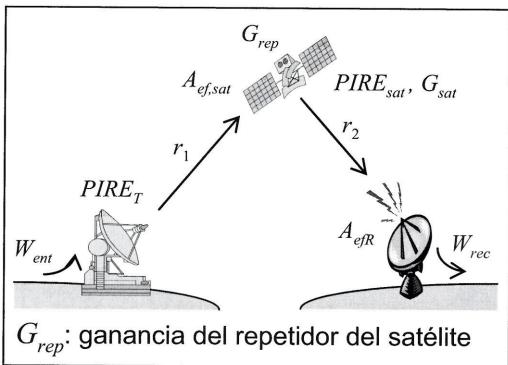
Possibles zonas de trabajo:

- Región de Rayleigh: el blanco es bastante más pequeño que la longitud de onda del radar (RCS menor que el tamaño físico del blanco).
- Región de resonancia: el blanco es de dimensión similar a la longitud de onda (la RCS varía bastante, pero tiende a ser mayor que el tamaño físico).
- Región óptica: el blanco es mucho mayor que la longitud de onda de funcionamiento (RCS similar al tamaño físico del objeto).

Radioenlace por satélite

➤ Balance de potencias en espacio libre:

Se utiliza exactamente la misma expresión de la ecuación de transmisión, pero en este caso existe un repetidor activo (satélite) en medio del trayecto, similar al caso de la ecuación radar.



- Enlace ascendente:

$$W_{rec,sat} = \frac{PIRE_T A_{ef,sat}}{4\pi r_1^2}$$

- Enlace descendente:

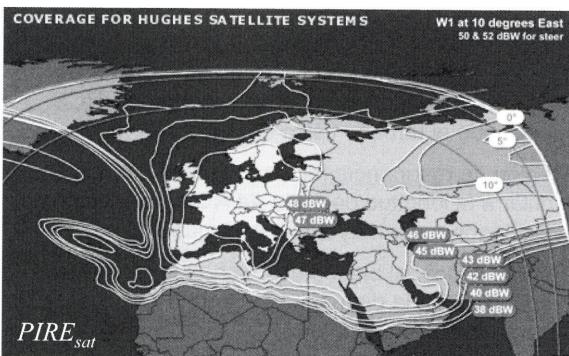
$$W_{rec} = \frac{PIRE_{sat} A_{efR}}{4\pi r_2^2}$$

$$PIRE_{sat} = W_{rec,sat} G_{rep} G_{sat}$$

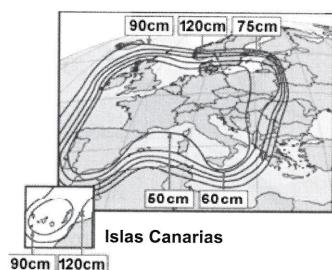
Radioenlace por satélite

➤ Ejemplo de cálculo para un satélite geoestacionario:

$$\left. \begin{array}{l} f = 11 \text{ GHz}, \quad PIRE_{sat} = 50 \text{ dBW} \\ G_R = 39 \text{ dB} (D_\phi = 90 \text{ cm}) \\ r_2 = 35785 \text{ km} \end{array} \right\} W_{rec} = -85,34 \text{ dBm}$$



- Diámetros de parabólica: D_ϕ



Radioenlace por satélite

➤ Apuntamiento de la antena hacia el satélite:

Se necesitan calcular los ángulos de acimut (AZ) y de elevación (EL) a partir de las coordenadas de la estación terrena (latitud y longitud) y de la longitud del satélite geoestacionario sobre el ecuador.

$$\left\{ \begin{array}{l} AZ = 180^\circ + \arctg \frac{\operatorname{tg} \theta}{\operatorname{sen} \alpha} \quad (\text{estaciones terrenas al norte del ecuador}) \\ AZ = 360^\circ - \arctg \frac{\operatorname{tg} \theta}{\operatorname{sen} \alpha} \quad (\text{estaciones terrenas al sur del ecuador}) \\ EL = 90^\circ - T - R \\ R = \arccos(\cos \theta \cos \alpha) \\ T = \arctg \frac{\operatorname{sen} R}{6,6166} - \cos R \end{array} \right.$$

α : latitud de la estación terrena
+ norte del ecuador
- sur del ecuador
 θ : longitud relativa
(satélite menos estación terrena)
+ oeste de Greenwich
- este de Greenwich