

Ruido e interferencias

- Ruido:
 - Ruido en un receptor:
 - » Cuadripolo:
 - Atenuador
 - » Dipolo
 - » Cuadripolos en cascada
 - » Sistema dipolo+cuadripolo
 - Ruido de antena
- Interferencias:
 - Definición, tipos, caracterización.
- Sistemas limitados en potencia vs sistemas limitados en interferencia.

Definición de ruido radioeléctrico

Definición: Perturbación eléctrica que limita la capacidad del sistema.

Tipos de ruido:

Externo natural:

- radiación procedente de descargas del rayo (ruido atmosférico debido al rayo);
- emisiones procedentes de hidrometeoros y de gases atmosféricos;
- la superficie u otros obstáculos situados dentro del haz de antena;
- la radiación procedente de fuentes radioeléctricas celestes.

Externo artificial: radiación no intencionada procedente de maquinaria eléctrica, equipos eléctricos y electrónicos, líneas de transmisión de energía o sistemas de encendido de motores de combustión interna. Disminuyen conforme aumenta la frecuencia.

Interno: debidos a circuitos pasivos de conexión de la antena al receptor y al propio receptor.

Ruido térmico

La máxima transferencia de potencia (potencia de ruido disponible) responde a la siguiente expresión

$$n = k \cdot t \cdot b$$

n: potencia de ruido [W]

k : constante de Boltzmann $1,381 \cdot 10^{-23}$ [J/K]

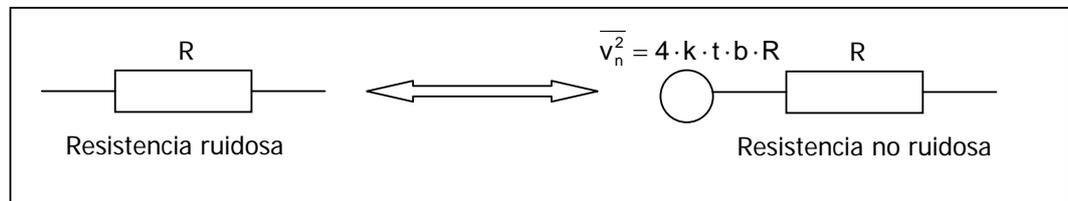
t : temperatura absoluta [K]

b : ancho de banda [Hz]

>>El valor cuadrático medio del ruido térmico asociado a una **resistencia** R es:

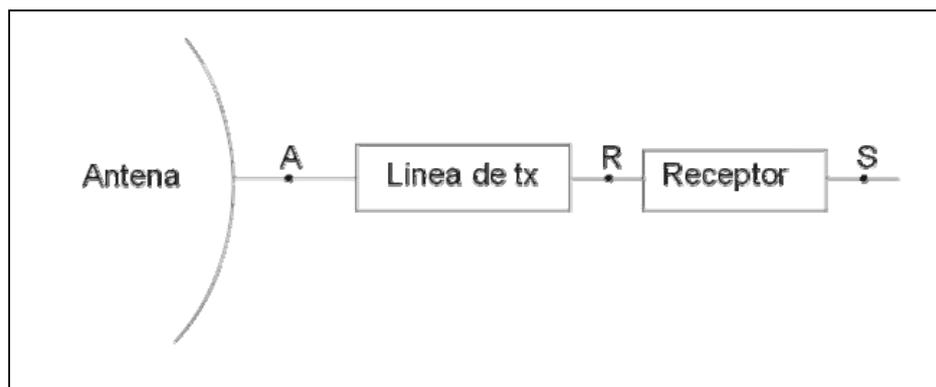
$$\overline{v_n^2} = 4 \cdot k \cdot t \cdot b \cdot R$$

R : resistencia (ohmios, Ω)



Ruido térmico: cuadripolo

- Un sistema receptor se compone de antena, línea de transmisión y receptor. Todos ellos son ruidosos. El no existir línea de transmisión es equivalente a que la atenuación de ésta fuese 1.
- El ruido se calcula a la salida del receptor pero se representa a la salida de la antena para compararlo con la potencia recibida



Ruido térmico: cuadripolo

Un cuadripolo es un dispositivo que tiene una entrada y una salida.

El ruido a la salida se compone del ruido existente a la entrada multiplicado por la **ganancia** del cuadripolo más el ruido interno que el propio dispositivo genera.

$$n_s = g \cdot n_e + n_i$$

El ruido generado por el propio dispositivo se puede caracterizar por dos parámetros:

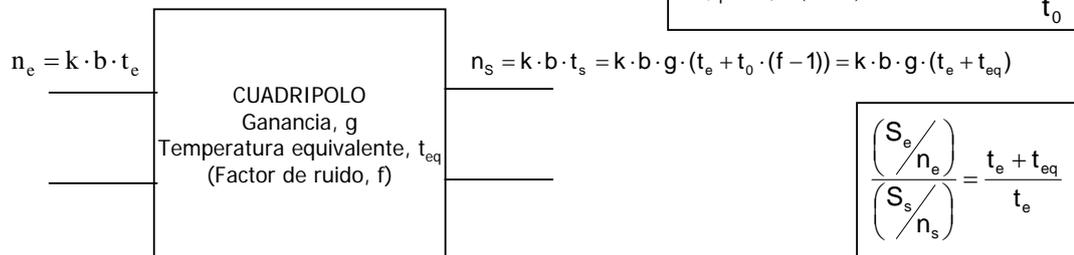
Temperatura equivalente de ruido (t_{eq})

$$n_i = k \cdot b \cdot g \cdot t_{eq}$$

Factor de ruido (f) [Figura de ruido: $F(\text{dB}) = 10 \log(f)$]

$$n_i = k \cdot b \cdot g \cdot t_0 \cdot (f - 1)$$

$$t_{eq} = t_0 \cdot (f - 1) \Rightarrow f = 1 + \frac{t_{eq}}{t_0}$$

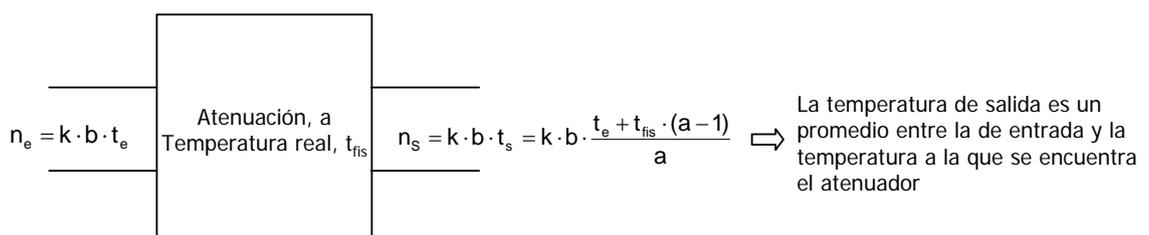


Ruido térmico: cuadripolo atenuador

El cuadripolo atenuador es un cuadripolo que se caracteriza porque tiene menos señal a la salida que a la entrada. Lo caracterizan, como cuadripolo que es, una ganancia y, o bien, el factor de ruido o bien la temperatura equivalente de ruido.

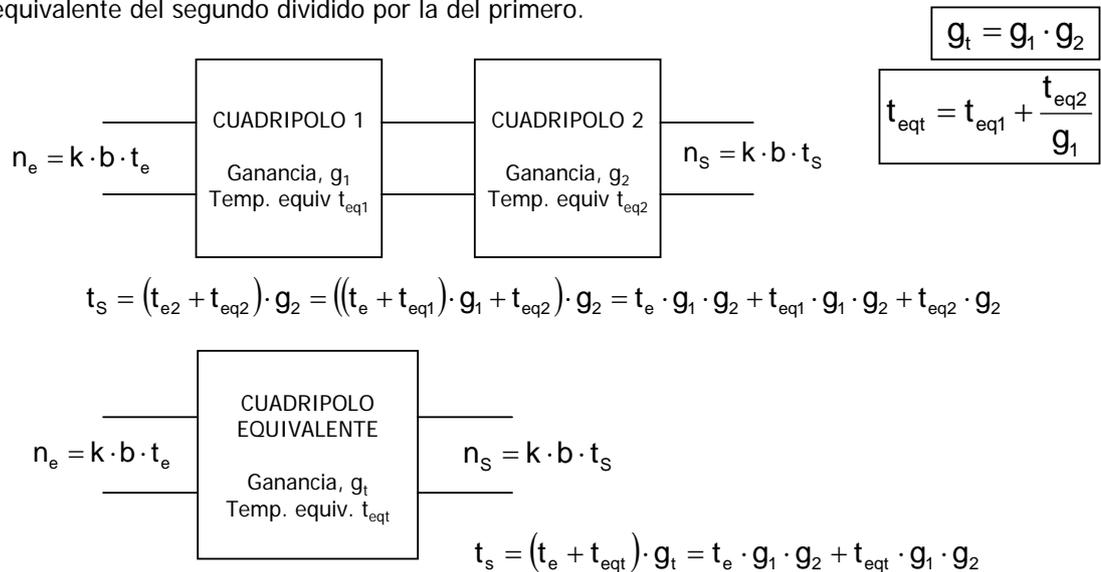
La ganancia se determina a partir del valor de atenuación del cuadripolo, mientras que la temperatura equivalente de ruido y el factor de ruido se calculan a partir de la temperatura real a la que se encuentra el atenuador (t_{fis} [K]) y a partir del valor de atenuación (a):

$$\begin{aligned} t_{eq} &= t_{fis} \cdot (a - 1) \\ f &= 1 + \frac{t_{fis}}{t_0} \cdot (a - 1) \\ g &= 1/a \end{aligned}$$



Ruido térmico: dos cuadripolos en cascada

Dos cuadripolos en cascada son equivalentes a un cuadripolo de ganancia total el producto de ganancias y temperatura equivalente la temperatura equivalente del primero más la temperatura equivalente del segundo dividido por la del primero.



Ruido de un dipolo

A efectos de ruido, un **dipolo** es un dispositivo que sólo tiene salida.

El ruido generado por el dipolo se puede caracterizar por dos parámetros:

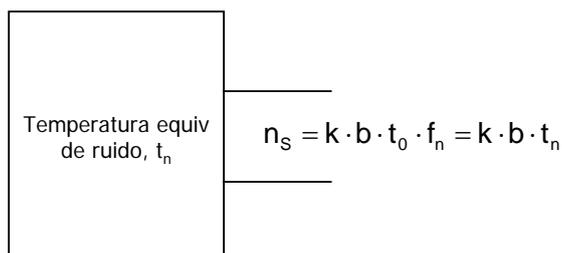
Temperatura equivalente de ruido (t_n)

$$n_s = k \cdot b \cdot t_n$$

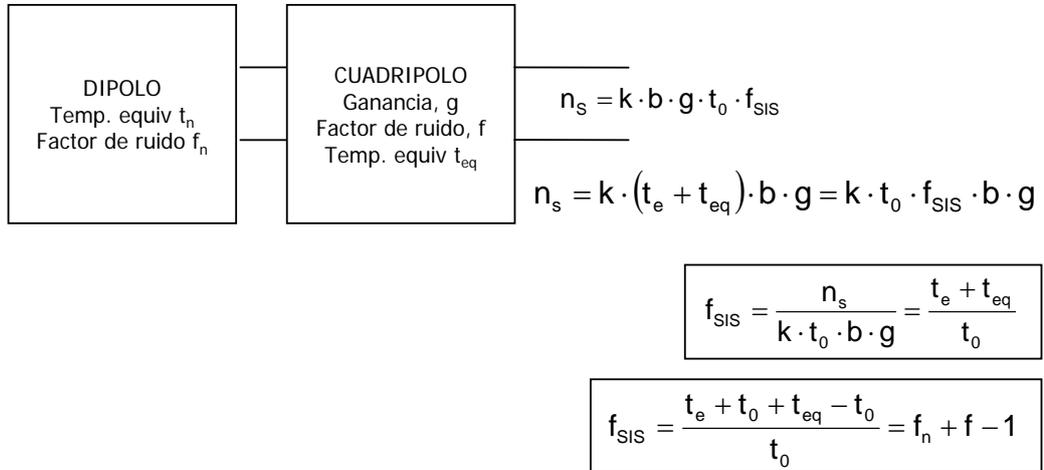
Factor de ruido (f_n)

$$n_s = k \cdot b \cdot t_0 \cdot f_n$$

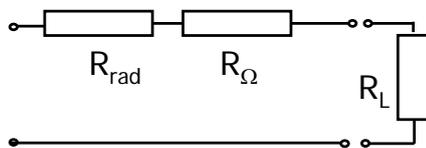
$$t_n = t_0 \cdot f_n \Rightarrow f_n = \frac{t_n}{t_0}$$



Factor de ruido de sistema (dipolo+cuadripolo)

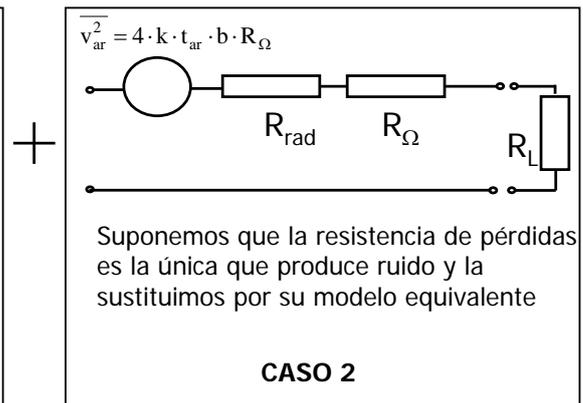
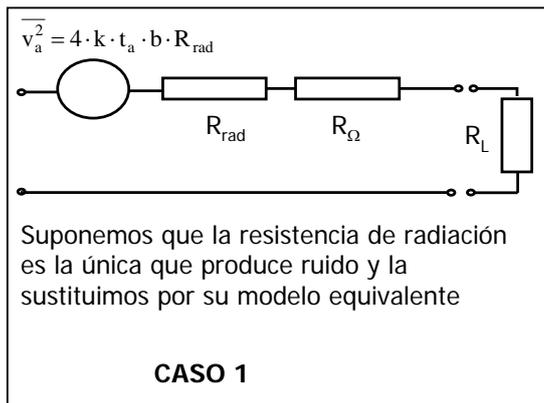


Ruido de antena



Antena a una temperatura real t_{ar} con una resistencia de radiación R_{rad} y resistencia de pérdidas R_{Ω}

Teorema de superposición (suponiendo que las resistencias que forman la antena son independientes entre sí)



Ruido de antena

CASO 1

$$n_a = \frac{\overline{v_a^2}}{(R_{\text{rad}} + R_{\Omega} + R_L)^2} \cdot R_L \Big|_{R_L=R_{\text{rad}}+R_{\Omega}} = k \cdot t_a \cdot b \cdot \frac{R_{\text{rad}}}{R_{\text{rad}} + R_{\Omega}} \left[1 - |\Gamma_r|^2 \right]_{R_L=R_{\text{rad}}+R_{\Omega}}$$

$$= k \cdot t_a \cdot b \cdot \frac{R_{\text{rad}}}{R_{\text{rad}} + R_{\Omega}}$$

CASO 2

$$n_{\text{ar}} = \frac{\overline{v_{\text{ar}}^2}}{(R_{\text{rad}} + R_{\Omega} + R_L)^2} \cdot R_L \Big|_{R_L=R_{\text{rad}}+R_{\Omega}} = k \cdot t_A \cdot b \cdot \frac{R_{\Omega}}{R_{\text{rad}} + R_{\Omega}} \left[1 - |\Gamma_r|^2 \right]_{R_L=R_{\text{rad}}+R_{\Omega}}$$

$$= k \cdot t_A \cdot b \cdot \frac{R_{\Omega}}{R_{\text{rad}} + R_{\Omega}}$$

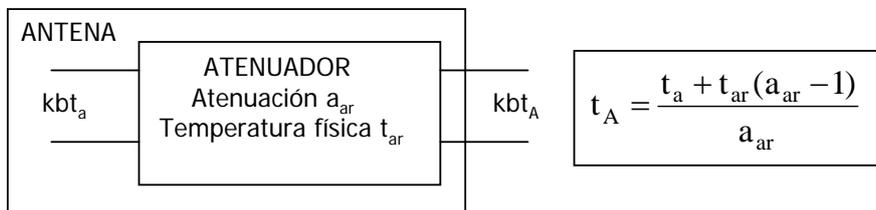
Ruido de antena

$$n_A = n_a + n_{\text{ar}} = k \cdot b \cdot t_a \cdot \frac{R_{\text{rad}}}{R_{\text{rad}} + R_{\Omega}} + k \cdot b \cdot t_{\text{ar}} \cdot \left(1 - \frac{R_{\text{rad}}}{R_{\text{rad}} + R_{\Omega}} \right)$$

$$= \frac{k \cdot b \cdot t_a + k \cdot b \cdot t_{\text{ar}} \cdot (a_{\text{ar}} - 1)}{a_{\text{ar}}}$$

$$a_{\text{ar}} = \frac{R_{\text{rad}} + R_{\Omega}}{R_{\text{rad}}}$$

Una antena, a efectos de ruido, es un dipolo con temperatura equivalente t_A .

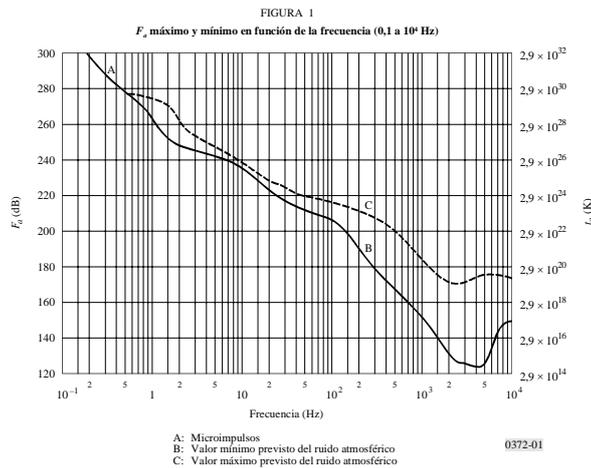


Ruido de antena

La temperatura t_a responde a la siguiente expresión dependiente de la frecuencia, de la dirección de apuntamiento y de las características directivas de la antena:

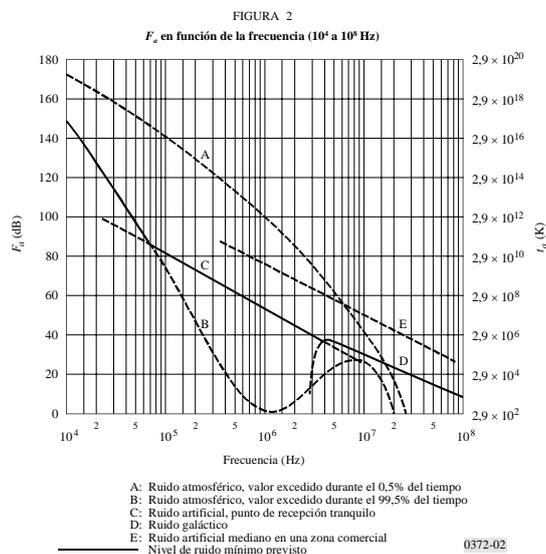
$$t_a = \frac{1}{4\pi} \iint t_B(\theta, \phi) \cdot d_r(\theta, \phi) \cdot d\Omega$$

$$f_a = \frac{t_a}{t_0} \Rightarrow F_a = 10 \log(f_a)$$



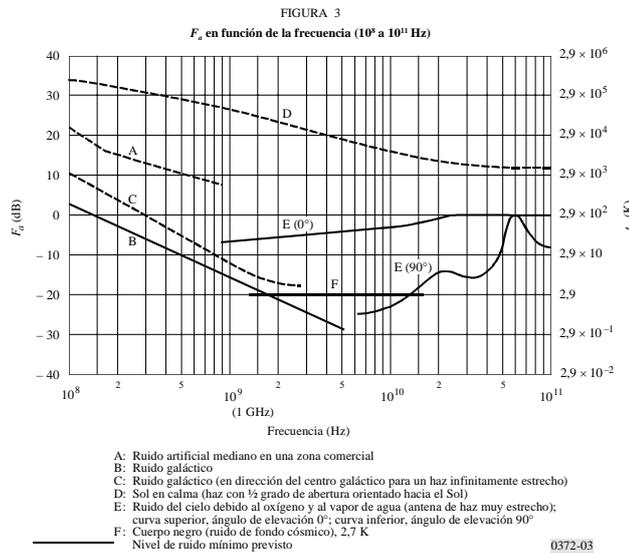
La fig.1 comprende la gama de frecuencias de 0.1 Hz a 10 kHz. La curva de trazo continuo corresponde a los valores medianos mínimos esperados de F_a basados en mediciones (teniendo en cuenta la superficie total de la Tierra, para todas las estaciones y horas del día) y la curva discontinua a los máximos valores esperados. Es de notar que en esta gama de frecuencias las variaciones estacionales, diarias o geográficas son muy pequeñas.

Ruido de antena



La fig. 2 comprende la gama de frecuencias de 10 kHz a 100 MHz para diversas categorías de ruido. Las curvas de trazo continuo muestran el ruido mínimo esperado. Para el ruido atmosférico, se adoptan como valores mínimos de las medianas horarias previstos los excedidos durante el 99,5% de las horas y como valores máximos los excedidos durante el 0,5% de las horas. Para las curvas del ruido atmosférico, se han tenido en cuenta las horas del día, las estaciones y la superficie total de la Tierra.

Ruido de antena



La Fig. 3 comprende la gama de frecuencias de 100 MHz a 100 GHz. Aquí también el ruido mínimo se representa por curvas de trazo continuo, mientras que algunos otros ruidos de interés se indican por curvas discontinuas.

Obsérvese cómo los valores de ruido bajan desde valores elevadísimos a valores próx. a 290K conforme la frecuencia aumenta.

Ruido del sistema receptor completo



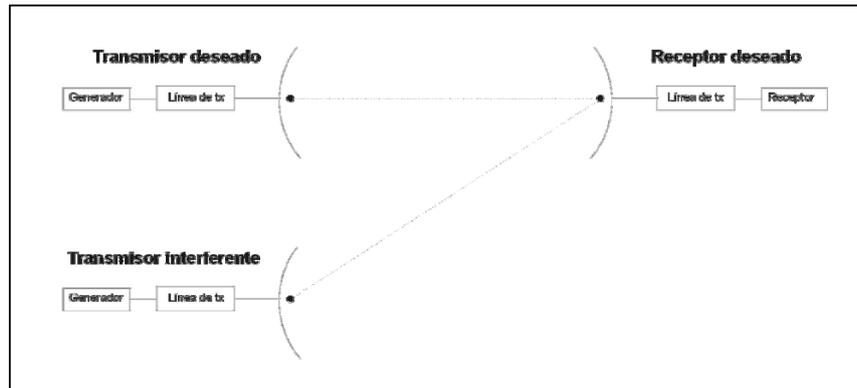
$$n_s = k \cdot t_0 \cdot b \cdot f_{\text{sis}} \frac{g_{\text{rx}}}{a_{\text{tr}}} = k \cdot b \cdot \left(\frac{t_a + t_{\text{ar}} \cdot (a_{\text{ar}} - 1)}{a_{\text{ar}}} + t_{\text{eq}} \right) \cdot \frac{g_{\text{rx}}}{a_{\text{tr}}}$$

$$t_{\text{eq}} = t_{\text{tr}} \cdot (a_{\text{tr}} - 1) + t_0 \cdot (f_r - 1) \cdot a_{\text{tr}}$$

$$t_n = t_A = \frac{t_A + t_{\text{ar}} \cdot (a_{\text{ar}} - 1)}{a_{\text{ar}}} \Rightarrow f_n = f_A = \frac{t_A}{t_0} = \frac{t_a + t_{\text{ar}} \cdot (a_{\text{ar}} - 1)}{a_{\text{ar}} \cdot t_0}$$

Interferencia

Definición. Es el efecto de una energía no deseada sobre la recepción de un sistema de radiocomunicación debido a una o varias emisiones, radiaciones inducciones o sus combinaciones que se manifiesta como degradación de la calidad, falseamiento o pérdida de la información que se podría obtener en ausencia de esta energía no deseada.



Interferencia

Tipo.

- Según el número de fuentes: simples (una) y múltiples (más de una)
- Según la frecuencia:
 - » Cocanal (a la misma frecuencia portadora de la señal deseada)
 - » De canales adyacentes (la frecuencia de la interferente corresponde a canales contiguos al de la señal deseada)

Caracterización:

C/I (sistemas punto a punto)

$$P_{ar}^d = P_{at}^d \cdot g_t^d \cdot g_r^d \cdot l_b^d \Rightarrow P_{ar}^d = P_{at}^d + G_t^d + G_r^d + L_b^d$$

$$P_{ar}^i = P_{at}^i \cdot g_t^i \cdot g_r^i \cdot l_b^i \Rightarrow P_{ar}^i = P_{at}^i + G_t^i + G_r^i + L_b^i$$

$$\frac{C}{I} = \frac{P_{ar}^d}{P_{ar}^i} = \frac{P_{at}^d \cdot g_t^d \cdot g_r^d \cdot l_b^d}{P_{at}^i \cdot g_t^i \cdot g_r^i \cdot l_b^i} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{C}{I} \text{ (dB)} = P_{ar}^d - P_{ar}^i = P_{at}^d + G_t^d + G_r^d - P_{at}^i - G_t^i - G_r^i + L_b^d - L_b^i$$

Interferencia

Interferencias múltiples (sistemas punto a punto)

$$\frac{C}{I}(\text{dB}) = P_{\text{ar}}^{\text{d}} - 10 \log \sum_{j=1}^n P_{\text{ar}_j}^{\text{i}}$$

Relación protección (enlaces zonales):

$$\begin{aligned} R_p = E_d - E_i &= P_{\text{at}}^{\text{d}} + G_t^{\text{d}} - P_{\text{at}}^{\text{i}} - G_t^{\text{i}} + 10 \log \frac{\eta}{4\pi \cdot r_d^2} - 10 \log \frac{\eta}{4\pi \cdot r_i^2} = \\ &= P_{\text{at}}^{\text{d}} + G_t^{\text{d}} - P_{\text{at}}^{\text{i}} - G_t^{\text{i}} + 20 \log \frac{4\pi\lambda \cdot r_i}{4\pi\lambda \cdot r_d} = P_{\text{at}}^{\text{d}} + G_t^{\text{d}} - P_{\text{at}}^{\text{i}} - G_t^{\text{i}} + L_b^{\text{d}} - L_b^{\text{i}} \end{aligned}$$

$$R_p = \frac{C}{I}(\text{dB}) - G_r^{\text{d}} + G_r^{\text{i}}$$

Variabilidad del campo eléctrico

Las ondas radioeléctricas se propagan a través de un medio cuyas características físicas varían de manera aleatoria. Estas variaciones afectan a la intensidad de campo de la señal, por lo que los valores del campo eléctrico presentan:

- Variaciones con ubicaciones (a lo largo de puntos equidistantes del transmisor).
- Variaciones temporales (en el tiempo).

Gran parte de las variaciones que presenta la señal se deben a la existencia de varias contribuciones de la misma señal (**multitrayecto**). Se deben a la propagación por no estar en espacio libre.

Se pueden cancelar parcialmente con la directividad de la antena

Disponibilidad/Diversidad

Se entiende por **disponibilidad** el porcentaje de tiempo en que un enlace supera los requisitos de calidad (relación señal a ruido o probabilidad de error)

Al variar la señal en el tiempo, los valores de ésta pueden bajar por debajo de un umbral

La disponibilidad se calcula como el tiempo que se supera ese umbral

Para mejorar la disponibilidad, se puede usar más de un receptor y combinar las salidas (**diversidad**).

La combinación más sencilla es la suma de las recepciones

Se puede utilizar la mayor de las recepciones o ponderar con pesos adecuados cada salida

Sistemas limitados en potencia

Los **sistemas limitados en potencia** son aquellos que la zona de cobertura se calcula a través de la potencia de señal recibida

Esta potencia se compara con un valor y si lo supera se dice que hay cobertura

Ejemplo: radioenlaces terrenales y espaciales de servicio fijo, radiodifusión por satélite, radionavegación.

>>La relación señal a ruido es aquella que garantiza una buena calidad de recepción

>>El ruido es el total. El que capta la antena, el que genera ésta y el del receptor

>>La capacidad del canal es proporcional a la relación señal a ruido

>>Las modulaciones digitales reducen su relación señal a ruido necesaria introduciendo codificación en la información

Sistemas limitados en potencia

Potencia umbral es la suma de la potencia de ruido y la relación señal a ruido. Como ruido se define un máximo al que tienen que ajustarse todos los fabricantes. A esta potencia umbral también se le denomina sensibilidad

$$P_{ru}(\text{dBm}) = N(\text{dBm}) + S/N(\text{dB})$$

Como se requiere una disponibilidad alta, hace falta dejar un margen para las variaciones estadísticas de la señal. Así se define la **potencia nominal** como la que tiene en cuenta ese margen que es función de la distribución que sigan las variaciones de campo eléctrico.

$$P_m(\text{dBm}) = P_{ru}(\text{dBm}) + M(\text{dB})$$

Sistemas limitados en interferencia

El radio de cobertura se calcula comparando la intensidad de campo producido por el transmisor deseado y la intensidad de campo utilizable calculada para todas las fuentes interferentes.

Ejemplo: redes de radiodifusión, móviles celulares...

$$P_{ru}(\text{dBm}) = C/I(\text{dB}) + I(\text{dBm}) + M(\text{dB})$$