

# TEMA 2. RUIDO E INTERFERENCIAS EN LOS SISTEMAS RADIOELÉCTRICOS

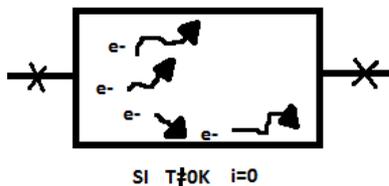
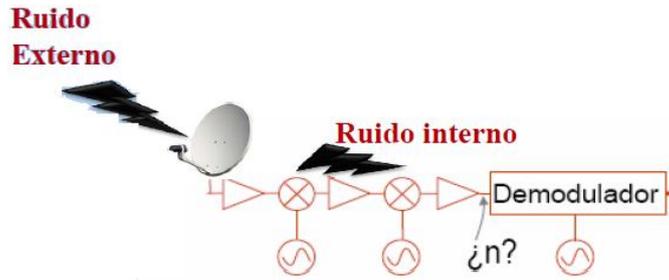
## INTRODUCCIÓN

Tanto ruido como interferencia son perturbaciones no deseadas que degradan la calidad del servicio.

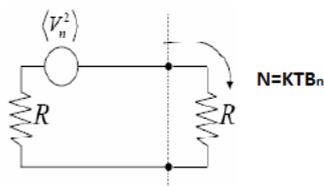
El ruido es debido a radiaciones ajenas a la señal deseada, mientras que las interferencias son debidas a otras emisiones ajenas a la señal deseada.

## RUIDO TÉRMICO

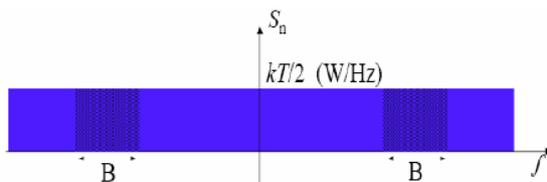
El ruido térmico siempre está presente. Es una perturbación de carácter aleatorio en su origen. Para nosotros será equivalente a tener una temperatura de ruido que genera un ruido tal que  $n=f(t)$ .



Si la temperatura es diferente de  $0^{\circ}K$  el efecto de los electrones se compensan unos con otros, debido a que cada uno tiene una dirección y sentido diferente al resto, por lo que siempre existirán dos electrones que se anule entre sí



El ruido térmico se debe al movimiento de los electrones debido a una agitación térmica.



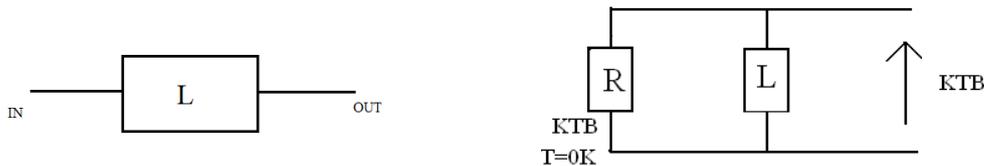
El ruido térmico es un ruido blanco gaussiano, es decir, afecta por igual a todas las frecuencias.

Para nosotros, como siempre vamos a trabajar con este supuesto (plano), se cumplirá que:

Densidad espectral de potencia  $\rightarrow n_0 = K * T * B$

### Ruido en cuadripolos pasivos

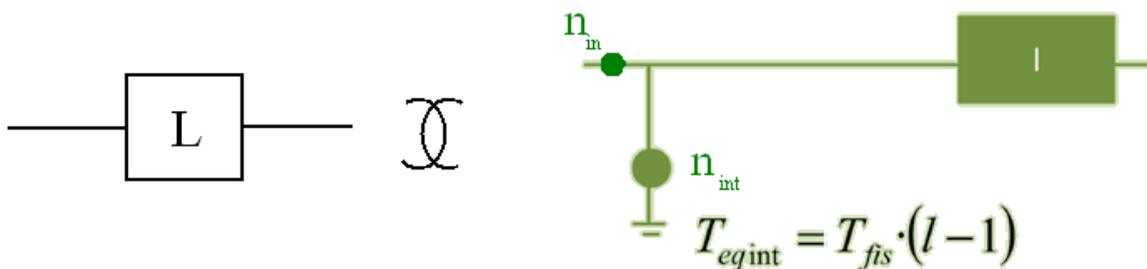
Un cuadripolo es cualquier atenuador, cable, que cumple:  $S_{IN} = S_{OUT} - L$



Como está adaptado, tenemos máxima transferencia de potencia.

$$N_{OUT} = N_{IN} - L + L$$

Un atenuador no solo atenúa, sino que también introduce ruido.



$$N_{out} = n_{in}$$

$$n_{out} = (n_{in} + n_{int}) \frac{1}{l}$$

$$l n_{in} = n_{in} + n_{int}$$

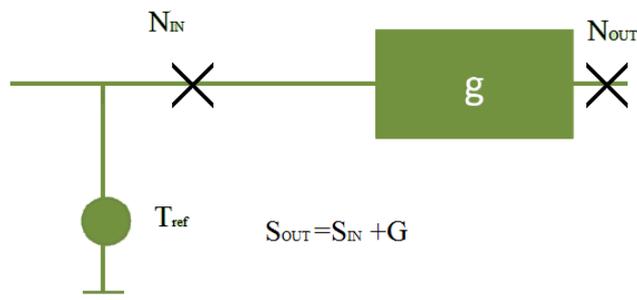
$$n_{int} = n_{in}(l - 1) = KTB(l - 1) = KT(l - 1)B$$

$T(l - 1) \rightarrow$  Temperatura equivalente interna del cuadripolo básico.

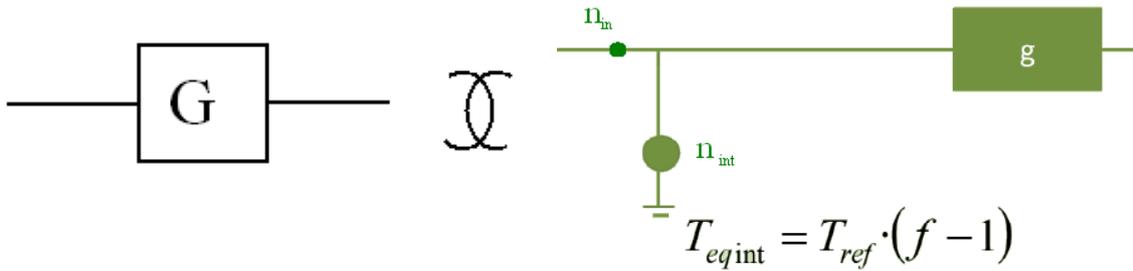
### Ruido en cuadripolos activos

Un cuadripolo activo entrega un nivel de señal a la salida mayor que el que esta tenía a la entrada. Ha de estar conectada eléctricamente para que de esa ganancia.

Ni las antenas ni los amplificadores son cuadripolos activos



Siempre que no nos digan nada trabajaremos con  $T_0$  como  $T_{ref}$  ( $T_0 = T_{ref} = 290^\circ K$ ).



$$n_{out} = n_{in} * f * g \text{ Sólo se cumple si } n_{in} = T_{ref} * K * B$$

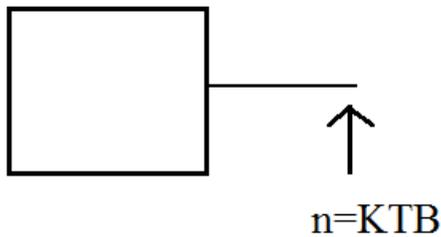
$$n_{out} = (n_{in} + n_{int}) * g \text{ Igualamos las dos ecuaciones}$$

$$n_{int} * f * g = (n_{in} + n_{int}) * g$$

$$n_{int} = n_{in} * (f - 1) \rightarrow K * T_{ref} * B * (f - 1) = K * T_{ref} * (f - 1) * B$$

$$T_{eqint} = T_{ref} * (f - 1)$$

### Ruido en dipolos



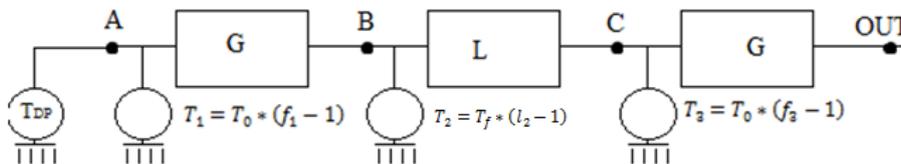
$$T_{eqdp} = T_o f_{dp}$$

## RUIDO EN EL RECEPTOR

### Ruido en cascada



### Ruido real



$$n_{real}^x = \sum \text{fuentes de ruido hasta punto } x$$

$$n_A = K * T_{DP} * B$$

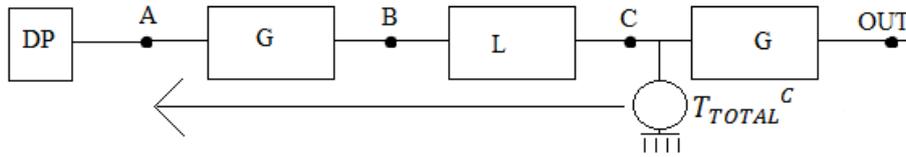
$$n_B = n_A * g_1 + n_{int1} * g_1 = K * T_{DP} * B * g_1 + K * T_o * (f_1 - 1) * B * g_1 =$$

$$= K * [(T_{DP} + T_o * (f_1 - 1)) * g_1] * B = K * T_{real}^B * B$$

$$n_C = K * T_{real}^C * B = K * \left[ (T_{DP} + T_o * (f_1 - 1)) * \frac{g_1}{l_2} + T_f * (l_2 - 1) * \frac{1}{l_2} \right] * B$$

$$n_{out} = K * T_{real}^{out} * B = K \left[ T_{real}^B * \frac{g_3}{l_2} + T_f * (l_2 - 1) * \frac{g_3}{l_2} + T_o * (f_3 - 1) * g_3 \right] B$$

## Ruido total equivalente: ruido global



$$n_{global=total}^x = K * B * \sum \text{todas las } T^a \text{ en el punto } x$$

$$n_{total}^{out} = n_{real}^{out}$$

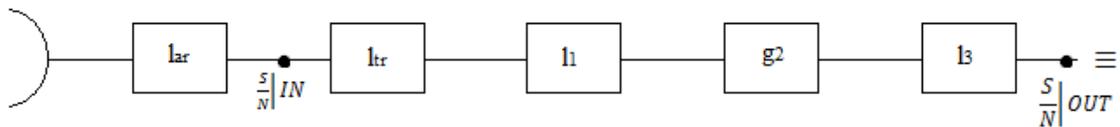
$$n_{total}^c = K * \left[ T_{DP} * \frac{g_1}{l_2} + T_1 * \frac{g_1}{l_2} + T_2 * \frac{1}{l_2} + T_3 \right] * B \neq n_{real}^c$$

Esto es equivalente a quitar todos los generadores y poner uno equivalente en C.

Ahora vamos a llevar el generador al punto A.

$$n_{total}^A = K * \left[ T_{total}^c * \frac{l_2}{g_1} \right] * B$$

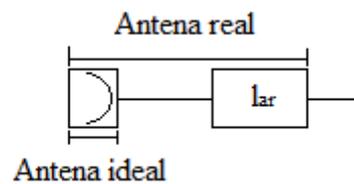
## Estación de radiofrecuencia



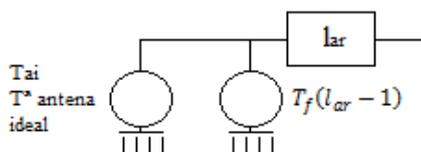
Para  $n_{reales} \rightarrow \frac{S}{N} \Big|_{IN} > \frac{S}{N} \Big|_{OUT} \rightarrow$  El ruido va creciendo a lo largo del circuito

Para  $n_{totales} \rightarrow \frac{S}{N} \Big|_{IN} = \frac{S}{N} \Big|_{OUT}$

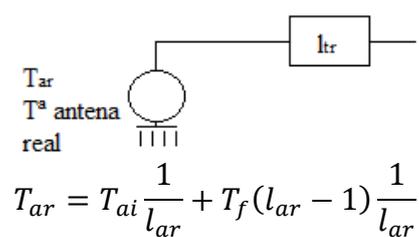
Vamos a ver la diferencia entre antena ideal y antena real.

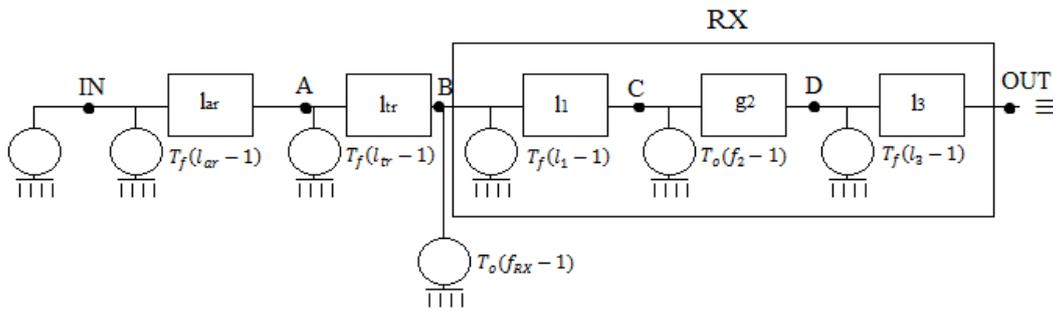


### Antena ideal

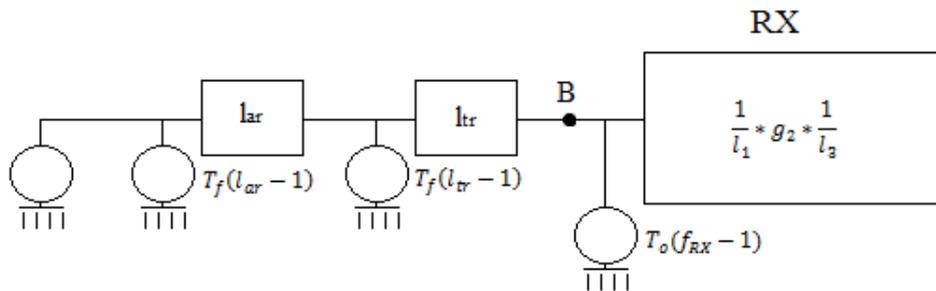


### Antena real





Toda la parte del receptor es equivalente a poner a su entrada un generador con  $T_o(f_{RX} - 1)$ .

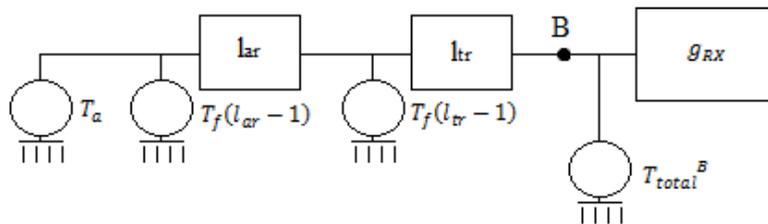


$T_o(f_{RX} - 1) \rightarrow$  Temperatura equivalente en el receptor.

$f_{RX} \rightarrow$  Figura de ruido del receptor.

$$T_o(f_{RX} - 1) = T_f(l_1 - 1) + T_o(f_2 - 1) * l_1 + T_f(l_3 - 1) * \frac{l_1}{g_2}$$

$f_{total}^B \equiv$  Es la que tengo que calcular para poder obtener  $n_{total}^B = K * T_{total}^B * B$



$$T_{total}^B = T_a \frac{1}{l_{ar}l_{tr}} + T_f(l_{ar} - 1) \frac{1}{l_{ar}l_{tr}} + T_f(l_{tr} - 1) \frac{1}{l_{tr}} + T_o(f_{RX} - 1) = T_o f_{total}^B$$

El punto B funciona como salida

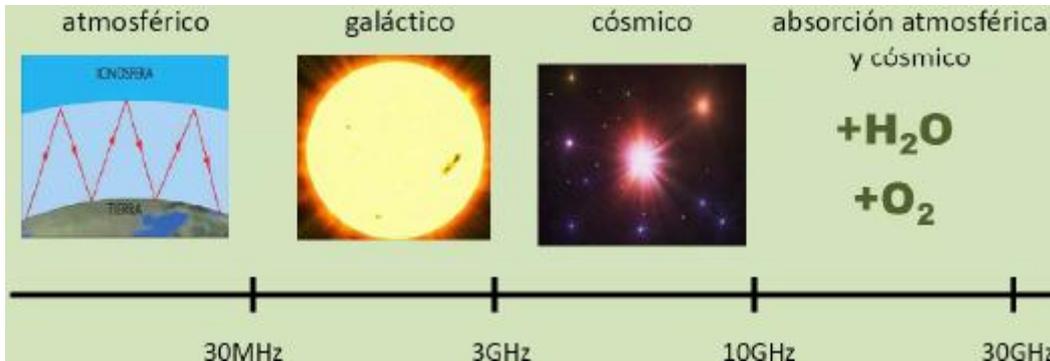
Vamos a suponer que  $T_a = T_f = T_o$

$$T_o f_{total}^B = T_o \frac{1}{l_{ar}l_{tr}} + T_o l_{ar} \frac{1}{l_{ar}l_{tr}} - T_o \frac{1}{l_{ar}l_{tr}} + T_o l_{tr} \frac{1}{l_{tr}} - T_o \frac{1}{l_{tr}} + T_o f_{RX} - T_o$$

$$T_o f_{total}^B = T_o f_{RX} \rightarrow f_{total}^B = f_{RX} \rightarrow \text{SI Y SOLO SI } T_a = T_f = T_o$$

## Ruido captado por una antena

El ruido captado por una antena depende de la frecuencia de trabajo.  
Nosotros consideraremos el ruido como una temperatura de antena.



### **Frecuencias < 30 MHz** ('ruido atmosférico').

Causas: ionosfera

Radiación electromagnética (depende de parámetros transitorios: día, noche, mar, bosque...).

F.A.M ('Factor antena mediano'). Es un bloque referido a 4 horas consecutivas  
 $N = KT_0 f_a B$ .

### **Frecuencias comprendidas entre 30MHz-3GHz.** ('ruido galáctico').

Este rango de frecuencias es útil para comunicaciones móviles y para radiodifusión, debido a que otros tipos de comunicaciones se ven muy afectados por este tipo ruido.

Causas: Sol (fuente predominante).

Otros planetas y estrellas (luna...).

### **Frecuencias comprendidas entre 3GHz-10GHz.** ('ruido cósmico').

Nos encontramos con un ruido cósmico constante (temperatura cielo)

$$\rightarrow T_a = 290K = T_0$$

### **Frecuencias comprendidas entre 10 GHz-30GHz.**

('ruido debido a la absorción atmosférica (moléculas de oxígeno y agua) y cósmico).

Se añade al ruido cósmico y se obtiene un modelo en el que observaremos las diferentes zonas para transmitir y elegiremos en función del servicio a cubrir.

Causas: Moléculas de agua y oxígeno que se encuentran presentes en la atmósfera.

Las antenas captan radiaciones en brillo (no deseada), para todas las frecuencias y dirección.

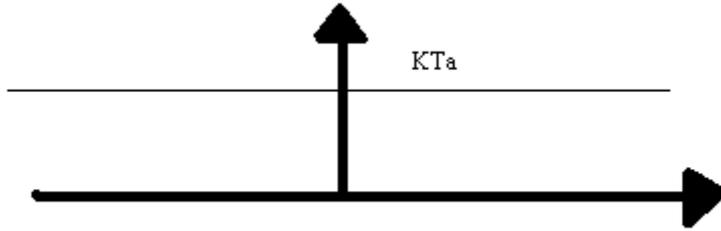
Brillo=Densidad de potencia por unidad de superficie.  $[\frac{W}{Hzm^2}]$

Densidad de potencia espectral  $\rightarrow \eta_0$

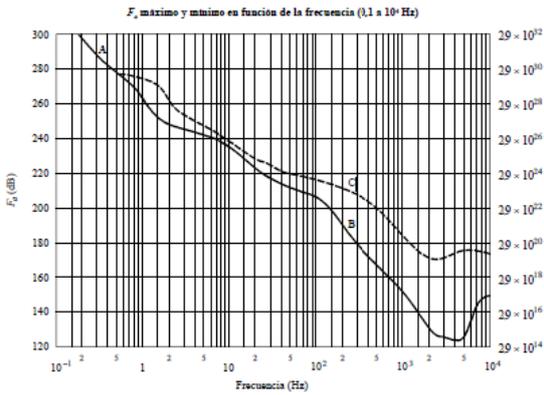
$$P_{RX} = Brillo[\frac{W}{Hzm^2}] * S_{ef}[m^2] = \eta_0 \frac{W}{[Hz]} = KT_a \rightarrow$$

$$\eta = KT_a B_n$$

$T_a \rightarrow$  Incluye el comportamiento directivo de la antena.

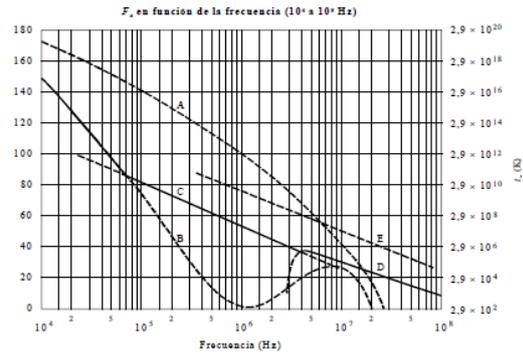


Las curvas que modelan el ruido captado por la antena son las siguientes:



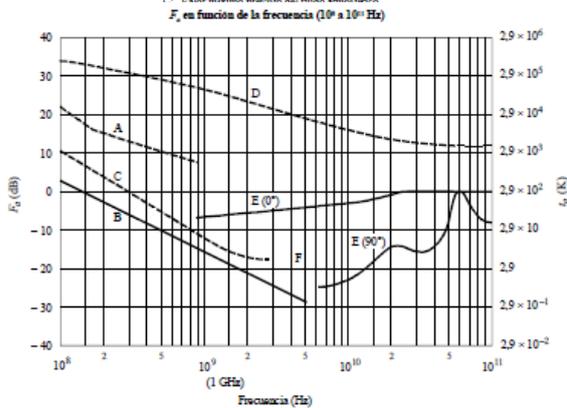
A: Microimpulsos  
B: Valor mínimo previsto del ruido atmosférico  
C: Valor máximo previsto del ruido atmosférico

0372-01



A: Ruido atmosférico, valor excedido durante el 0,5% del tiempo  
B: Ruido atmosférico, valor excedido durante el 99,5% del tiempo  
C: Ruido artificial, punto de recepción tranquilo  
D: Ruido galáctico  
E: Ruido artificial mediano en una zona comercial

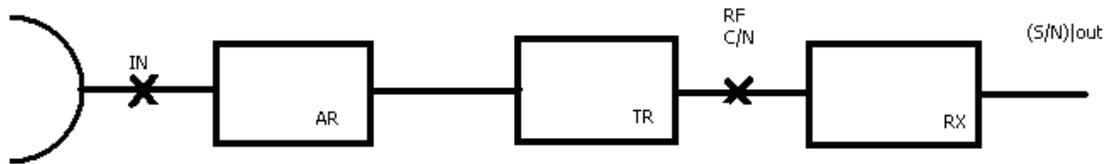
0372-02



A: Ruido artificial mediano en una zona comercial  
B: Ruido galáctico  
C: Ruido galáctico (en dirección del centro galáctico para un haz infinitamente estrecho)  
D: Sol en calma (haz con  $\frac{1}{2}$  grado de abertura orientado hacia el Sol)  
E: Ruido del cielo debido al oxígeno y al vapor de agua (suma de haz muy estrecho); curva superior, ángulo de elevación  $0^\circ$ ; curva inferior, ángulo de elevación  $90^\circ$   
F: Cuerpo negro (ruido de fondo cósmico), 2,7 K

0372-03

## PARAMETROS DE CALIDAD FRENTE A RUIDO



$$\frac{C}{N} \text{ (portadora frente a ruido)} \rightarrow \frac{S}{N}$$

$$\frac{C}{N_0} \text{ (portadora frente a densidad espectral de ruido)} \rightarrow \frac{S}{N_0}$$

$$\frac{e_b}{N_0} \quad e_b \text{ (energía del bit)} = \frac{S}{Vp(\text{bps})}$$

**Modulación digital**  $\rightarrow B = K * F * V_{\text{simbolo}}$

$\uparrow$  filtro  
 $\downarrow$  = 1 siempre

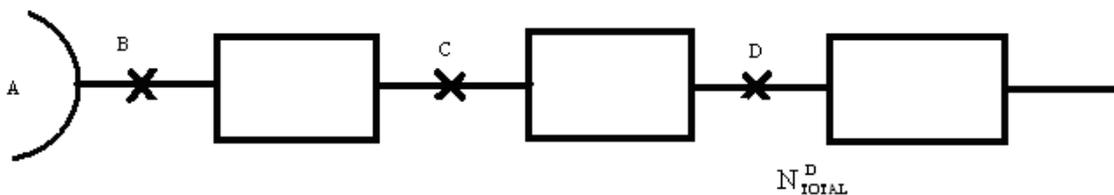
$$V_{\text{simbolo}} = \frac{V_b}{\log_2 M}$$

$\downarrow$   $n^\circ$  bits por simbolo  
 M-QAM  
 M-PSK      siendo M  $n^\circ$  desimbolos

Este ancho de banda no es plano, por lo que no podemos hacer  $K * T * B$ .

Vamos a aproximar para compensar  $B_n = V_{\text{simbolo}}$

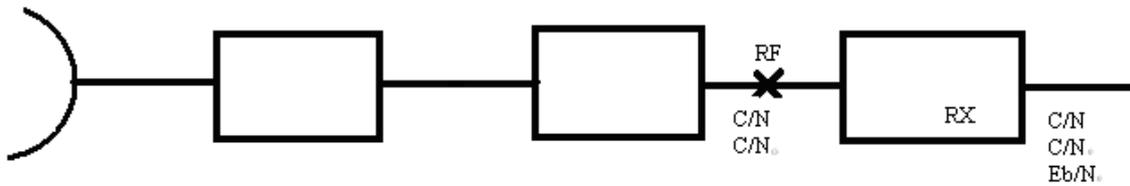
$$\frac{S}{N} \Big|_{\text{real}}^{\text{out}} = \frac{\text{Sin} * \frac{1}{l_{ar}} * \frac{1}{l_{tr}} * g_{rx}}{K * T_{\text{REAL}}^{\text{OUT}} * B} = \frac{\text{Sin} * \frac{1}{l_{ar}} * \frac{1}{l_{tr}} * g_{rx}}{K * T_{\text{TOTAL}}^{\text{OUT}} * B} = \frac{\text{Sin}}{K * T_{\text{TOTAL}}^{\text{OUT}} * l_{ar} * l_{tr} * \frac{1}{g_{rx}} * B} = \frac{S}{N} \Big|_{\text{TOTAL}}^{\text{IN}}$$



$$N_{\text{TOTAL}}^B = N_{\text{TOTAL}}^D + L_2 + L_1 \quad \text{No puedo medir potencia en bornas de la antena}$$

$$n_{\text{total}}^B = \frac{e_n^{A^2}}{120\pi} * \frac{\lambda}{4\pi} * g_A \rightarrow \text{Calcular campo en A}$$

$$P_{\text{RX}} = \text{PIRE} - L_b + 0 \rightarrow \text{siendo 0 la ganancia de la antena suponiéndola isotrópica.}$$



Ruido Real

$$\frac{S}{N} < \frac{C}{N}$$

$$\frac{S}{N} \neq \frac{C}{N}$$

Ruido total

$$\frac{S}{N} = \frac{C}{N}$$

$$\frac{C}{N} \Big|_B = \left\{ \begin{array}{l} C_A - L_{AR} \\ T_{TOTAL}^B = T_A + T_0(lar - 1) \frac{1}{l_{rx}} + T_0(ltr - 1) + T_0(frx - 1)ltr \end{array} \right\} =$$

$$= \frac{Ca \frac{1}{lar}}{KT_{TOTAL}^B B}$$

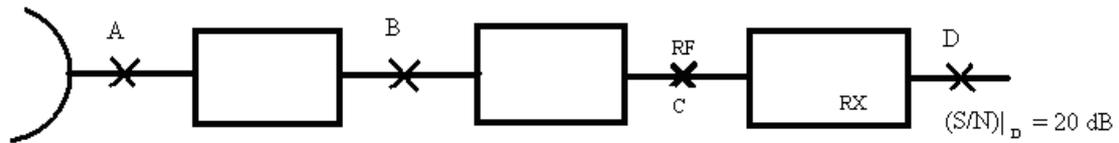
Ahora calculamos D y lo llevamos a C

$$\frac{C}{N} \Big|_D = \left\{ \begin{array}{l} C_A - L_{AR} - L_{TR} - G_{RX} \\ T_{TOTAL}^D = T_A + T_0(lar - 1) \frac{1}{lar} \frac{1}{ltr} grx + T_0(ltr - 1)grx + T_0(frx - 1)grx \end{array} \right\} =$$

$$= \frac{Ca \frac{1}{lar} \frac{1}{ltr} grx}{KT_{TOTAL}^D B}$$

$$\frac{C}{N} \Big|_B \frac{1}{lar} \frac{1}{ltr} grx = \frac{C}{N} \Big|_D \quad \frac{Ca \frac{1}{lar} \frac{1}{ltr} grx}{KT_{TOTAL}^B B} \frac{1}{\frac{1}{ltr} grx} \rightarrow$$

$\frac{S}{N}$  en términos reales es igual en todos los puntos e igual a la salida.



$U_A$  (Umbral en A)  $\rightarrow$  para cumplir especificaciones

Siempre partimos de cuanto tenemos que recibir.

$T_a = T_f = T_0$

Lo normal es que vayamos a C, pero nosotros solemos ir a D.

$$T_{TOTAL REAL}^D = T_0 \frac{1}{lar ltr} grx + T_0 (lar - 1) \frac{1}{lar ltr} grx + T_0 (ltr - 1) \frac{1}{ltr} grx + T_0 (frx - 1) grx$$

“PROBLEMA”  $\rightarrow$  no tenemos  $grx \rightarrow$  cogemos otro punto donde no lo necesitemos.

Nos vamos al punto A

$$T_{TOTAL REAL}^A = T_{TOTAL REAL}^D \frac{1}{grx} ltr lar \rightarrow U_A = \frac{C}{N} \Big|_A + \log(K T_{TOTAL REAL}^A B)$$

$$U_A = PIRE - Lbf + G - \cancel{Lar} - \cancel{Ltr}$$

Nos vamos a C.

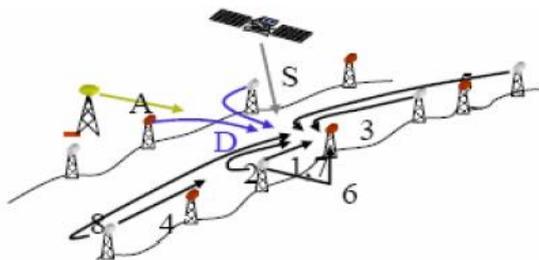
$$T_{TOTAL}^C = T_0 frx \text{ Cuando } T_a \neq T_B \neq T_0$$

$$U_C = PIRE - Lbf + G - Lar - Ltr$$

Solo si  $T = T_0 \rightarrow frx = f_{TOTALSISTEMA}$

## INTERFERENCIAS

### Tipos de interferencias



**Intrasistemas:** Son acoplos del sistema, se distinguen diferentes tipos:

Indirectos (rad dir max rad): la mayor parte de la potencia se pierde en ángulo no interesante.

Directos (rad no máxima radiación).

Hay que intentar que todos los acoplos sean indirectos, y para ello lo que se suele hacer es colocar los enlaces en zigzag.

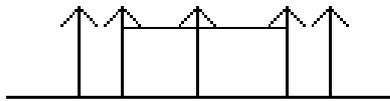


**Intersistemas:** distinguimos entre cocanales y canal adyacente.

Cocanales:  $f_{RF}$  de interferencia =  $f_{RF}$  deseada (se refiere a las  $f$ 's de la portadora)

Canal adyacente: Es una interferencia entre canales contiguos

### Canal adyacente



El problema es que el filtro no tiene un comportamiento ideal, por lo que si tenemos varias portadoras muy juntas, no se filtra perfectamente.

### Cocanales

Son las peores, y pueden ser de dos tipos:

Copolares: Aparte de la frecuencia también comparten polarización.

$$I = PIRE - L_b + G - D$$

La mejor solución es usar antenas muy directivas que discriminen las señales que lleguen por otra dirección que no es la de máxima radiación.

Cuando hay más de una, ¿cómo la calculamos? → Siempre que se trate de **señal no deseada se suma en unidades de potencia.**

$$I = 10\log(i_1 + i_2 + \dots + i_n)$$

Contrapolares: Misma frecuencia pero con polarización ortogonal.

$$I = PIRE - L_b + G - D - XPD$$

$\frac{P_{RX\ deseada}}{I_{contrapolar}} = XPI \rightarrow$  Aislamiento copolar. Es recomendable una XPD muy alta.

Antes del receptor  $\frac{C}{I} \rightarrow$  Relación portadora-interferencia

Después del receptor  $\frac{S}{I} \rightarrow$  Relación señal-interferencia

Según el tipo de interferencia se pueden dar los siguientes casos:

Copolar y contrapolar:  $\frac{C}{I} = \frac{S}{I}$

Copolar:  $\frac{C}{I} < \frac{S}{I}$

### Parámetros de calidad frente a interferencias

$$\frac{c}{i} = \frac{c}{\sum i(\text{unidades de potencia})}$$

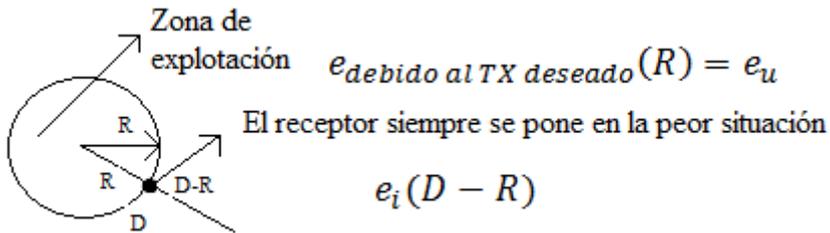
$$e_u^2 = e_n^2 * (s/n) + \sum rp * e_i^2$$

$e_i^2 \rightarrow$  Mínimo necesario para estar por encima de las interferencias para cumplir una relación de protección.

rp  $\rightarrow$  Relación de protección frente a las interferencias.

$e_n^2 * (s/n) \rightarrow \frac{s}{n} = \frac{e^2_{deseadas}}{e_n^2} \rightarrow$  Campo mínimo que tiene que llegar  $\rightarrow e_{mu}^2 \rightarrow$  Campo mínimo utilizable.

$e_{mu}^2 + e_{mi}^2 = e_i^2 \rightarrow$  Campo utilizable.



Quiero calcular  $e_u$  para obtener R:

$e_u^2(R) = e_n^2 * (s/n) + \sum rp * e_i^2(D - R) \rightarrow$  No queda más remedio que empezar a probar valores de R hasta llegar a la solución.

$R_{mx} \rightarrow$  Desaparecen las interferencias ( $\sum rp * e_i^2(D - R) \rightarrow 0$ )  $\rightarrow$  Se limita por ruido. A estos sistemas se les llama limitados por potencia  $\rightarrow R_{mx} \uparrow$  si  $P_{TX} \uparrow$ .

$R_{min} \rightarrow$  Cuando  $e_n^2 * (s/n)$  se hace despreciable (nunca dejan de existir)  $\rightarrow$  Se limita por interferencias  $\rightarrow R_{min} \uparrow D \uparrow$ .