

# Lección 10: Análisis de Enlaces de Comunicación. Parte II

Gianluca Cornetta, Ph.D.

Dep. de Ingeniería de Sistemas de Información y Telecomunicación

Universidad San Pablo-CEU



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Contenido

- Figura de Ruido, Temperatura de Ruido y Temperatura de Sistema
- Ejemplo de Análisis de Enlace
- Repetidores Satelitales

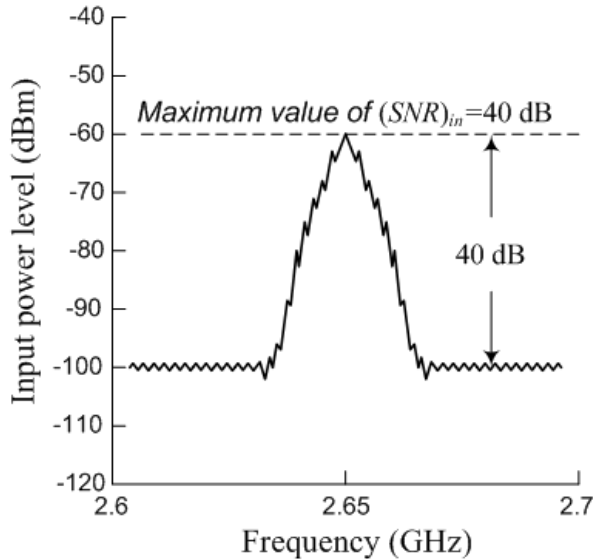
The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, green, serif font. The text is positioned above a horizontal brushstroke that transitions from light blue on the left to orange on the right. To the left of the text, there is a vertical bar composed of four colored segments: light blue, light green, red, and dark blue.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Figura de Ruido, Temperatura de Ruido y Temperatura de Sistema

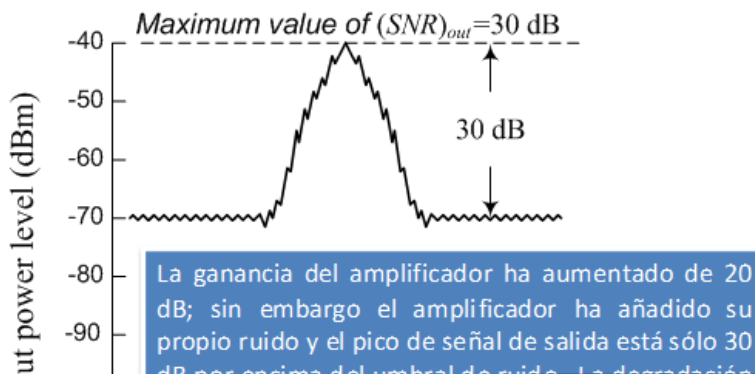


- La figura de ruido (*noise figure*)  $F$ , relaciona el  $SNR$  a la entrada de una red con el  $SNR$  a la salida

$$F = \frac{(SNR)_{in}}{(SNR)_{out}} = \frac{S_i / N_i}{G S_i / G (N_i + N_{ai})}$$

- Donde:

- $S_i$  es la potencia de señal en el puerto de entrada del amplificador
- $N_i$  es la potencia de ruido en el puerto de entrada del amplificador
- $N_{ai}$  es el ruido del amplificador referido al puerto de entrada

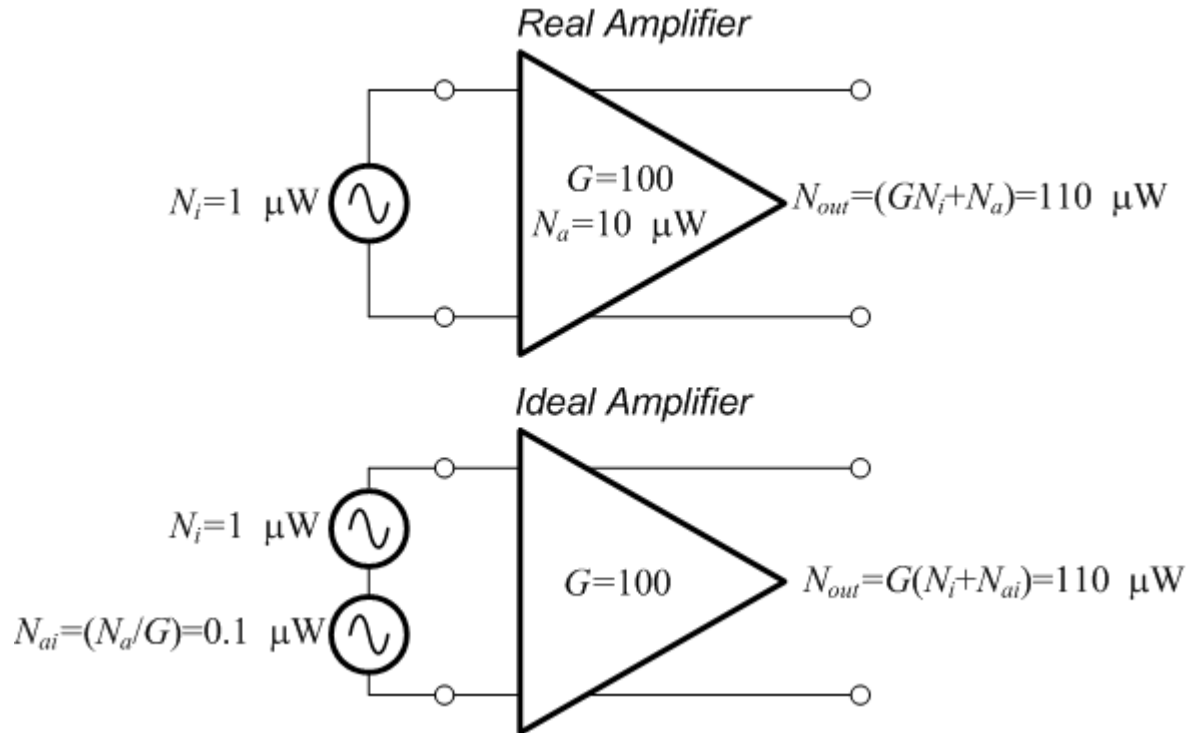


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Figura de Ruido, Temperatura de Ruido y Temperatura de Sistema



- Si se refiere todo el ruido a la entrada del amplificador, la ecuación de la figura de ruido se vuelve:

$$F = \frac{N_i + N_{ai}}{N_i} = 1 + \frac{N_{ai}}{N_i}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Figura de Ruido, Temperatura de Ruido y Temperatura de Sistema

- ❑ Para expresar de forma objetiva la figura de ruido hay que escoger un  $N_i$  de referencia
- ❑ Friis propuso utilizar como referencia el ruido de una fuente a la temperatura  $T_0=290^\circ\text{K}$
- ❑ La elección  $T_0=290^\circ\text{K}$  fue debida al hecho de que se trata de una aproximación razonable de la temperatura de las fuentes de ruido de la mayor parte de los enlaces
- ❑ Asimismo, con la elección  $T_0=290^\circ\text{K}$ , la densidad espectral de la potencia de ruido se transforma en un número muy sencillo:

$$N_0 = \kappa T_0 = 1.38 \times 10^{-23} \times 290 = 4.0 \times 10^{-21} \text{ W/Hz} = -204 \text{ dBW/Hz}$$

- ❑ En los casos en los que  $N_i$  se encuentra a temperaturas distintas de  $290^\circ\text{K}$  hay que utilizar la figura de ruido operativa  $F_{op}$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Figura de Ruido, Temperatura de Ruido y Temperatura de Sistema

- ❑ A partir de la expresión de la figura de ruido se obtiene:

$$N_{ai} = (F - 1)N_i \Rightarrow \kappa T_R W = (F - 1)\kappa T_0 W \Rightarrow T_R = (F - 1)T_0$$

- ❑  $T_R$  es la temperatura efectiva de ruido. Se trata de una caracterización equivalente a la figura de ruido
  - ❑ La única diferencia es que no tiene la restricción de ser referida a alguna magnitud de referencia
- ❑ El ruido interno de un amplificador puede expresarse como una fuente externa de ruido a la temperatura efectiva  $T_R$
- ❑ Para terminaciones resistivas  $T_R$  nunca es inferior a la temperatura ambiente a menos que el sistema esté refrigerado
- ❑ Para terminaciones reactivas  $T_R$  puede ser inferior a 290°K incluso si la temperatura ambiente es superior
- ❑ El ruido en la salida del amplificador resulta ser:

$$N_{out} = GN_i + GN_{ai} = G\kappa T_g W + G\kappa T_R W = G\kappa(T_g + T_R)W = G\kappa T_g W + (F - 1)G\kappa T_0 W$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

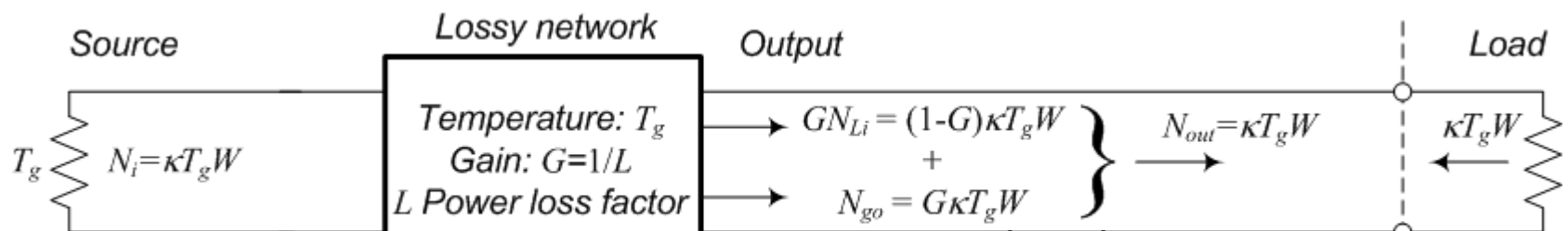
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Figura de Ruido, Temperatura de Ruido y Temperatura de Sistema

- ❑ En el caso de líneas con pérdidas, la degradación del  $SNR$  se debe a la atenuación de la señal ya que la potencia de ruido se mantiene constante (en el caso en que la temperatura de la línea es inferior o igual a la temperatura ambiente)
- ❑ Sin embargo, a pesar de que la causa de degradación es distinta del caso de un circuito activo, la degradación seguirá midiéndose en términos de figura de ruido o temperatura efectiva de ruido
- ❑ Las pérdidas de potencia  $L$  se definen como:

$$L = \frac{\text{input power}}{\text{output power}}$$

- ❑ La ganancia de la línea será  $G = 1/L$  (inferior a la unidad para líneas con pérdidas)



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

# Figura de Ruido, Temperatura de Ruido y Temperatura de Sistema

- ❑ La potencia de ruido total que fluye de la red a la carga es igual a la fuente de ruido:

$$N_{out} = kT_g W$$

- ❑ La carga es adaptada y de tipo resistivo con temperatura de ruido  $T_g$
- ❑ Para garantizar el equilibrio térmico, la potencia que desde la carga fluye atrás hacia la red debe ser igual a  $N_{out}$ 
  - ❑ De hecho, la potencia disponible de ruido depende de la temperatura, del ancho de banda y de la adaptación de impedancia y no del valor de la resistencia
- ❑ La potencia  $N_{out}$  puede considerarse como la suma de dos contribuciones:

$$N_{out} = N_{go} + GN_{Li} = GkT_g W + GN_{Li}$$

- ❑ Donde:
  - ❑  $N_{go} = GkT_g W$  es la componente del ruido de salida debida a la fuente
  - ❑  $GN_{Li}$  es la componente del ruido de salida debida al ruido de la red referido a la

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



# Figura de Ruido, Temperatura de Ruido y Temperatura de Sistema

- $N_{Li}$  resulta ser:

$$N_{Li} = \frac{1-G}{G} \kappa T_g W = \kappa T_L W$$

- $T_L$  es la temperatura efectiva de la línea, es decir:

$$T_L = \frac{1-G}{G} T_g = (L-1) T_g$$

- Si  $T_g = T_0 = 290^\circ\text{K}$ ,  $T_L$  resulta:

$$T_L = (L-1) T_0 = (F-1) T_0 \Rightarrow F = \frac{T_L}{T_0} + 1 = L$$

- Donde  $F=L$  es la figura de ruido y  $G=1/L$  es la ganancia de la línea con pérdidas. Consecuentemente  $N_{out}$  se vuelve:

$$N = \frac{\kappa T_g W}{G} + \left(1 - \frac{1}{G}\right) \kappa T_L W$$

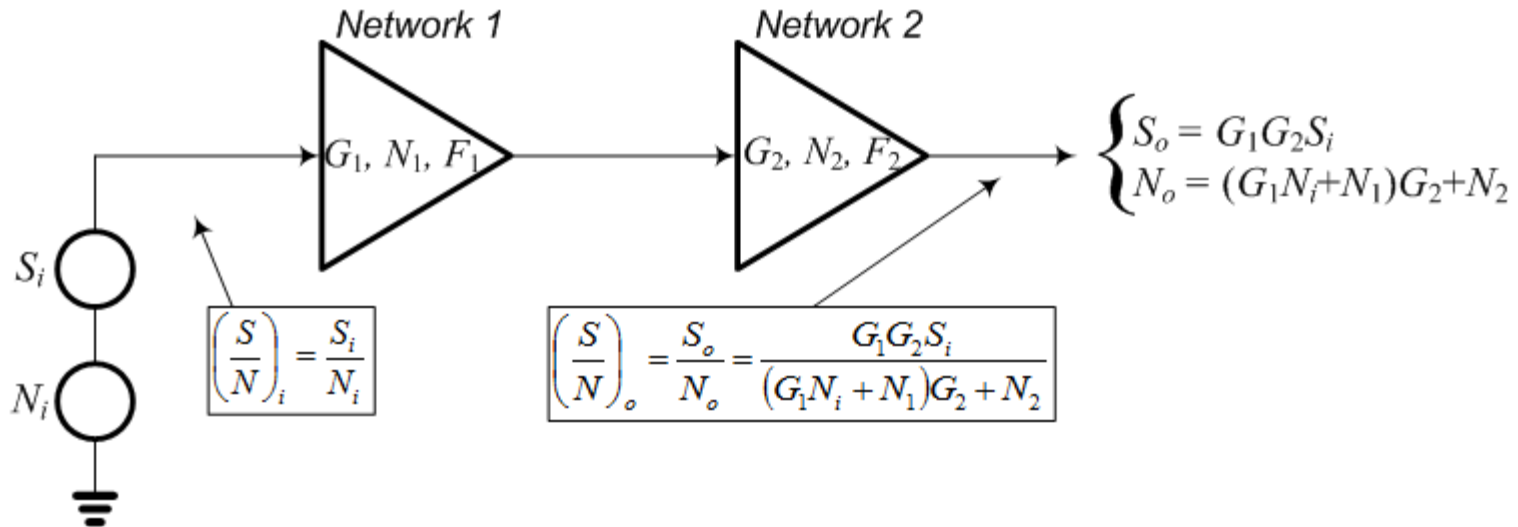
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

# Figura de Ruido, Temperatura de Ruido y Temperatura de Sistema



$$F_{comp} = \frac{(S/N)_i}{(S/N)_o} = \frac{S_i/N_i}{G_1 G_2 S_i / ((G_1 N_i + N_1) G_2 + N_2)} = \frac{G_1 N_i + N_1}{G_1 N_i} + \frac{N_2}{G_1 G_2 N_i} = \underbrace{\left(1 + \frac{N_1/G_1}{N_i}\right)}_{F_1} + \frac{1}{G_1} \underbrace{\left(\frac{N_2/G_2}{N_i}\right)}_{F_2 - 1} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1}$$

❑ Cuando  $n$  etapas están conectadas en cascada se obtiene:

$$F_{comp} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots + \frac{F_n - 1}{G_1 G_2 \dots G_{n-1}}$$

❑ Para minimizar la figura de ruido compuesta es deseable tener una primera etapa con

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

## Figura de Ruido, Temperatura de Ruido y Temperatura de Sistema

- La expresión de  $F_{comp}$  para el caso genérico de  $n$  etapas (conocida también como *ecuación de Friis*) puede modificarse para expresar los efectos compuestos de la temperatura de ruido  $T_{comp}$ :

$$F_{comp} - 1 = F_1 - 1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots + \frac{F_n - 1}{G_1 G_2 \dots G_{n-1}}$$
$$\Rightarrow \frac{T_{comp}}{T_0} = \frac{1}{T_0} \left( T_1 + \frac{T_2}{G_1} + \frac{T_3}{G_1 G_2} + \dots + \frac{T_n}{G_1 G_2 \dots G_{n-1}} \right)$$
$$\Rightarrow T_{comp} = T_1 + \frac{T_2}{G_1} + \frac{T_3}{G_1 G_2} + \dots + \frac{T_n}{G_1 G_2 \dots G_{n-1}}$$

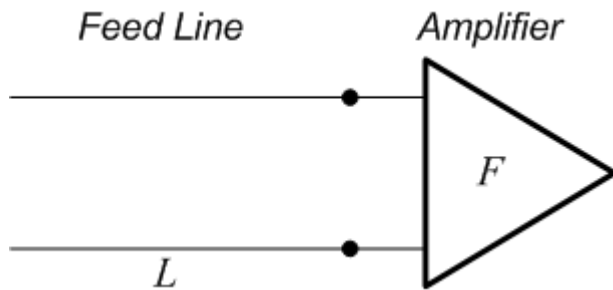
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Figura de Ruido, Temperatura de Ruido y Temperatura de Sistema



- ❑ Una posible conexión en cascada está formada por una línea con pérdidas conectada a un amplificador
  - ❑ Es esto el caso que modela la conexión de un sistema a la antena receptora
- ❑ Utilizando la ecuación de Friis para el caso de dos etapas se obtiene:

$$F_{comp} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} \Rightarrow F_{comp} = L + \frac{F - 1}{1/L} = L + (F - 1)L = LF$$

- ❑ La temperatura compuesta  $T_{comp}$  del sistema resulta pues:

$$F_{comp} - 1 = LF - 1 \Rightarrow \frac{T_{comp}}{T_0} = (LF - 1) \Rightarrow T_{comp} = (LF - 1)T_0$$

- ❑ O, de forma alternativa:

$$T_{comp} = (LF - 1 + L - L)T_0 = [(L - 1) + L(F - 1)]T_0 = T_L + LT_R$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

## Figura de Ruido, Temperatura de Ruido y Temperatura de Sistema

- ❑ Para las comunicaciones terrestres,  $F$  es la figura de mérito más adecuada porque las fuentes de ruido terrestres tienen temperaturas próximas a  $290^{\circ}\text{K}$ 
  - ❑ Valores convenientes de  $F$  se encuentran en el rango entre 1 dB y 10 dB
- ❑ Para comunicaciones espaciales  $T$  es la figura de mérito más idónea
  - ❑ Valores típicos de  $T$  se encuentran entre  $30^{\circ}\text{K}$  y  $150^{\circ}\text{K}$
  - ❑ La figura de ruido no es una métrica adecuada ya que los dispositivos para comunicaciones espaciales tienen todos  $F$  muy próxima a la unidad (de 0.5 a 1.5 dB) lo que complica muchísimo las comparaciones
  - ❑ No es necesario expresar la temperatura efectiva respecto a una temperatura de referencia para evaluar la degradación de la señal

Cartagena99

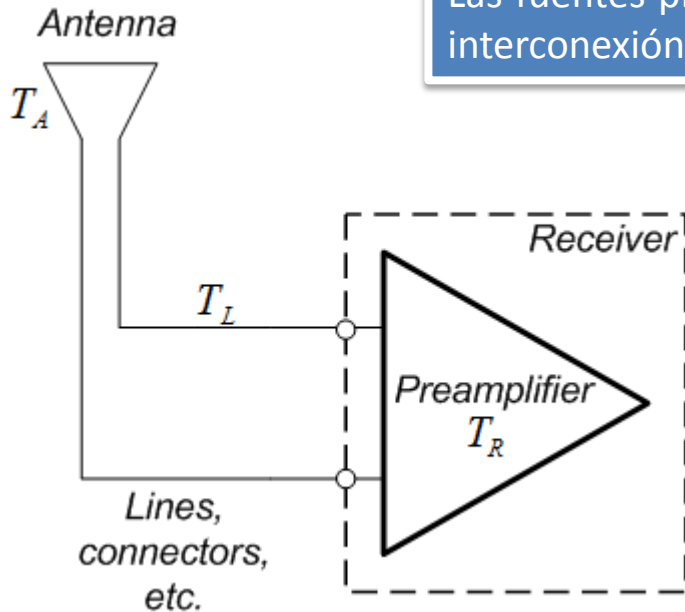
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Potencia de Ruido y de Señal Recibida

Las fuentes principales de ruido en un receptor son la antena, las líneas de interconexión (pérdidas por atenuación) y el preamplificador.



- ❑ El ruido total generado por fuentes externas (ruido galáctico, ruido generado por el hombre, etc.) inyectado por la antena es  $\kappa T_A W$ , mientras que el ruido generado internamente por el front-end de recepción es  $\kappa T_{comp} W$
- ❑ Asumiendo que la antena no tiene partes disipativas, La temperatura de sistema  $T_S$  es:
 

$$T_S = T_A + T_{comp}$$
- ❑ Donde  $T_{comp}$  es la temperatura compuesta y representa la degradación generada internamente por el ruido térmico de la línea y del amplificador

- ❑ Resulta que:

$$T_S = T_A + T_L + LT_R = T_A + (L-1)T_0 + L(F-1)T_0 = T_A + (LF-1)T_0$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## Figura de Ruido, Temperatura de Ruido y Temperatura de Sistema

- Normalmente la potencia recibida  $P_r$  y la temperatura de sistema  $T_s$ , están referidas a la salida de la antena receptora
  - Este convenio suele ser utilizado por los diseñadores de antenas y subsistemas de transmisión
- También es posible referir la potencia recibida y la temperatura de sistema a la entrada del receptor (conectado a la antena mediante una línea con pérdidas  $L$ )
  - La potencia recibida  $P'_r$  en la entrada del receptor es:  $P'_r = LP_r$
  - La temperatura de sistema  $T'_s$  en la entrada del receptor es:  
$$T'_s = LT_s$$
  - Este convenio suele ser utilizado por los diseñadores de

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## Figura de Ruido, Temperatura de Ruido y Temperatura de Sistema

- ❑ La figura de ruido es definida respecto a una temperatura de referencia  $T_0 = 290^\circ\text{K}$
- ❑ Cuando la temperatura de la fuente de ruido es diferente de  $T_0$ , es necesario definir una *figura de ruido efectiva o operativa*:

$$F_{op} = \frac{(SNR)_{in}}{(SNR)_{out}} = \frac{S_i / \kappa T_A W}{G S_i / G (\kappa T_A W + N_{ai})} = \frac{\kappa T_A W + N_{ai}}{\kappa T_A W} = 1 + \frac{(F-1)N_i}{\kappa T_A W} = 1 + \frac{(F-1)\kappa T_0 W}{\kappa T_A W} = 1 + \frac{T_0}{T_A} (F-1)$$

Cartagena99

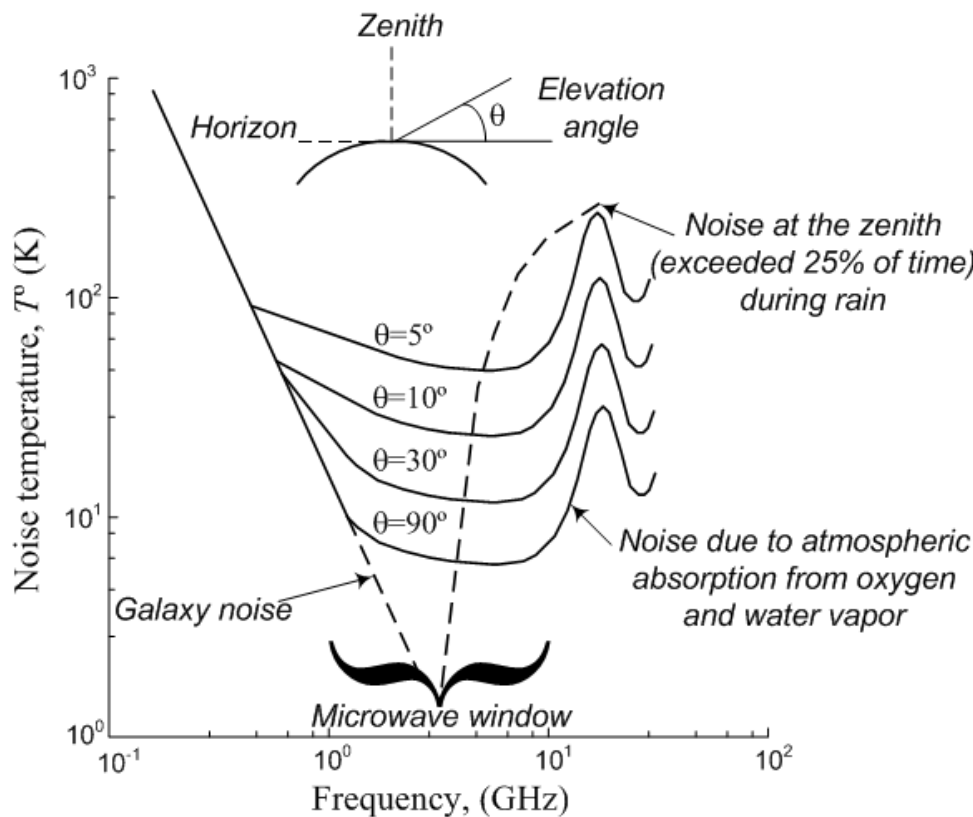
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



# Figura de Ruido, Temperatura de Ruido y Temperatura de Sistema



- ❑ La antena receptora colecciona ruido aleatorio que proviene de fuentes terrestres y galácticas que constituyen el ruido de fondo de origen celeste (*sky background noise*)
- ❑ El ruido de fondo de origen celeste depende de la frecuencia y del ángulo de elevación de la antena sobre el horizonte
  - ❑ Existe una ventana de frecuencias (*microwave window* o *space window*) en la que el ruido de fondo es poco significativo (por ello esta ventana se aprovecha para comunicaciones vía satélite o con el espacio profundo)
  - ❑ El ruido de fondo vuelve a ser apreciable a frecuencias superiores a los 10 GHz
  - ❑ Existen mapas del ruido galáctico de fondo en función de la posición (expresado como ascensión recta -*right*

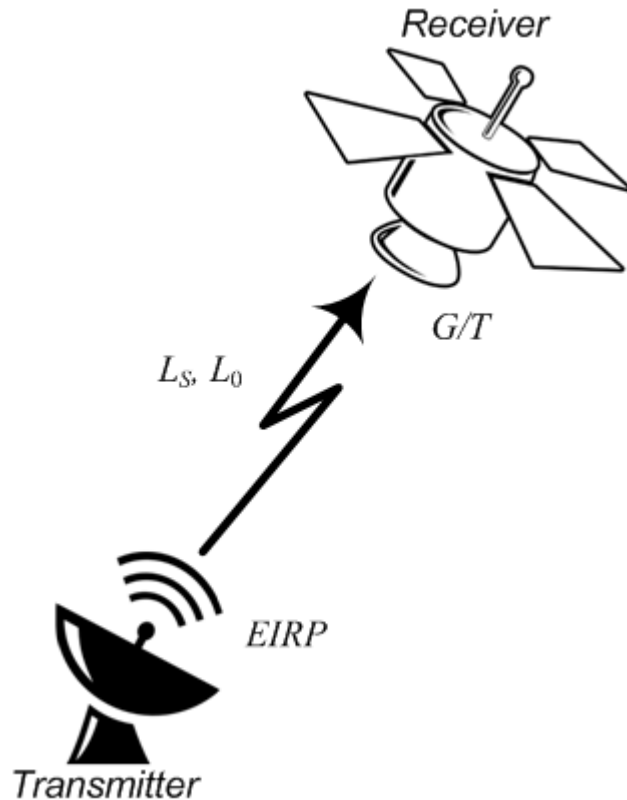
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Ejemplo de Análisis de Enlace



- ❑ El objetivo del análisis de enlace es el de determinar si el sistema cumple con el máximo  $P_B$  permitido
  - ❑ Esto se verifica comparando el  $E_b/N_0$  de la señal recibida con el  $E_b/N_0$  requerido
- ❑ Para realizar esta comprobación sólo hacen falta unos pocos parámetros:
  - ❑ EIRP (cuál es la potencia efectiva transmitida)
  - ❑ La figura de mérito G/T (cuál es la capacidad del receptor de recolectar la potencia en entrada)
  - ❑ Las pérdidas de trayecto (*space loss*)  $L_S$
  - ❑ Las otras pérdidas y degradaciones  $L_0$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Ejemplo de Análisis de Enlace

Parameter	Link Budget		
Transmitter power (dBW)	100	20.00	$P_t$
Transmitter circuit loss		2.00	$L_o$
Transmitter antenna gain (peak dBi)		51.57	$G_t$
Dish diameter (ft)	20		
Half-power beamwidth (degrees)	0.45		
Terminal EIRP (dBW)		69.57	EIRP
Path Loss (dB)	(10 elev.)	202.67	$L_s$
Fade allowance (dB)		4.00	$L_o$
Other losses		6.00	$L_o$
Received isotropic power (dBW)		-143.10	
Receiver antenna gain (peak dBi)		35.09	$G_r$
Dish diameter (ft)	3		
Half-power beamwidth (degrees)	2.99		
Edge-of-coverage loss (dB)		2.00	$L_o$
Received signal power (dBW)		-110.02	$P_r$
Receiver noise figure at antenna port (dB)		11.5	
Receiver temperature (K)		3806.36	
Receiver temperature (dB-K)		35.81	
Receiver antenna temperature (K)		300.00	
Receiver antenna temperature (dB-K)		24.77	
System temperature (K)		4106.36	
System temperature (dB-K)		36.13	
System G/T (dB/K)		-1.05	
Boltzmann's constant (dBW/K-Hz)		-228.60	
Noise spectral density (dBW/Hz)		-192.47	$N_0 = kT$

$$G_t = 10 \log_{10} \frac{4\pi A_{et}}{\lambda^2}$$

$$EIRP = P_t(\text{dBW}) + G_t(\text{dB}) - L_o(\text{dB})$$

$$L_s = 20 \log_{10} \frac{\lambda}{4\pi d}$$

$$G_r = 10 \log_{10} \frac{4\pi A_{er}}{\lambda^2}$$

$$\left( 10^{\frac{F(\text{dB})+L(\text{dB})}{10}} - 1 \right) T_0$$

$$T_s = T_A + (L-1)T_0 + L(F-1)T_0 = T_A + (F-1)T_0 = T_A + T_R$$

$$M(\text{dB}) = EIRP(\text{dBW}) + \frac{G_r}{T_s}(\text{dB/K}) - \left( \frac{E_b}{N_b} \right) (\text{dB}) - R(\text{dB - bits/s})$$

Frequency (GHz)	8
Wavelength (m)	0.04
Efficiency (dish antenna)	0.55
Physical Area ( $A_{pt}$ ) m <sup>2</sup>	29.19
Effective Area ( $A_{et}$ ) m <sup>2</sup>	16.05
Physical Area ( $A_{pr}$ ) m <sup>2</sup>	0.66
Effective Area ( $A_{er}$ ) m <sup>2</sup>	0.36

Distance (nautical miles)	21915
Reference temperature $T_0$ (K)	290
Receiver Line losses (dB)	0
Boltzmann's constant (J/K)	1.38E-23
Data rate (Mbit/s)	2

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Ejemplo de Análisis de Enlace

- ❑ Especificar por separado los requerimientos en términos de  $P_r/N_0$  (o  $E_b/N_0$ ) y de  $G/T$  puede llevar a sistemas sobredimensionados y aumentar los costes de producción
- ❑ Conviene expresar estos términos como un único parámetro denominado potencia isotrópica recibida (*received isotropic power* –RIP):

$$RIP(\text{dBW}) = \frac{P_r}{N_0} (\text{dB} - \text{Hz}) - \frac{G}{T} (\text{dB/K}) + \kappa (\text{dB/K} - \text{Hz})$$

- ❑ O, de forma equivalente:

$$RIP = \frac{(P_r/N_0)\kappa}{(G_r/T)} = \frac{P_r \kappa T}{N_0 G_r} = \frac{P_r \kappa T}{\kappa T G_r} = \frac{P_r}{G_r}$$

- ❑  $P_r/N_0$  representa la densidad espectral de la relación señal ruido requerida para obtener el  $P_B$  deseado con un esquema de modulación dado
- ❑ Si con  $(P_r/N_0)_{\text{th-rq}}$  se denomina la relación señal ruido teórica que se precisa para obtener un  $P_B$  dado y con  $L'_o$  las pérdidas de la implementación, se obtiene:

$$\frac{P_r}{N_0} = L'_o \left( \frac{P_r}{N_0} \right)$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

# Repetidores Satelitales

- ❑ Los repetidores satelitales retransmiten la información que reciben trasladándola en frecuencia
- ❑ Existen dos tipos de repetidores:
  - ❑ Regenerativos: demodulan y reconstruyen la información antes de retransmitirla. Soportan sólo una o pocas modulaciones
  - ❑ No regenerativos: sólo amplifica y retransmite la información recibida, por tanto soporta diferentes tipos de modulaciones
- ❑ Para calcular la probabilidad de error de un repetidor regenerativo es necesario tratar por separado el enlace ascendiente (uplink) y el descendente (downlink)
- ❑ Si  $P_u$  es la probabilidad de error de bit en el enlace ascendiente y  $P_d$  la probabilidad de error de bit en el enlace descendiente, la probabilidad de recepción correcta  $P_c$  es:

$$P_c = (1 - P_u)(1 - P_d) + P_u P_d$$

- ❑ La probabilidad de error de bit  $P_B$  es:

$$P_B = 1 - P_c = P_u + P_d - 2P_u P_d$$

- ❑ Si  $P_u$  y  $P_d$  son pequeñas se obtiene:

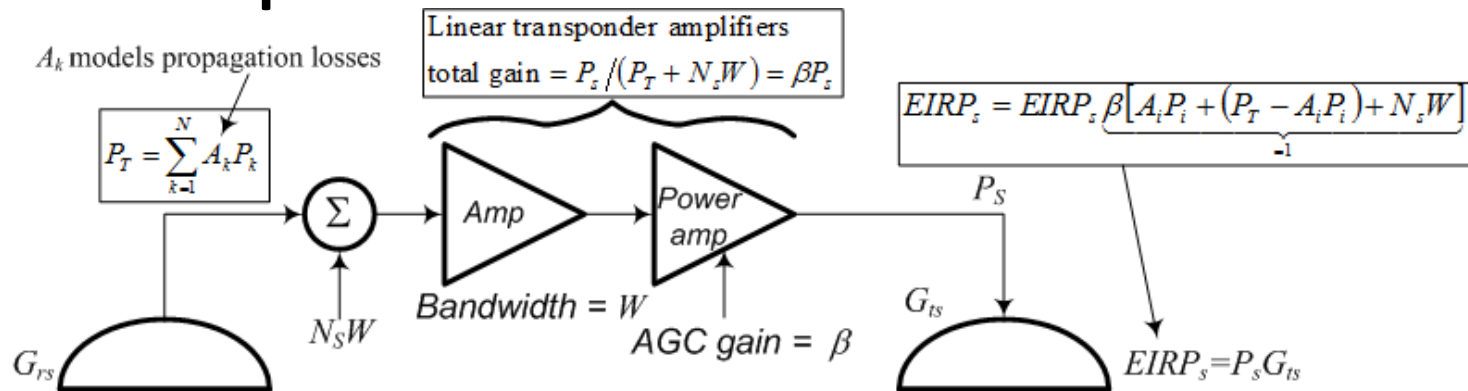
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

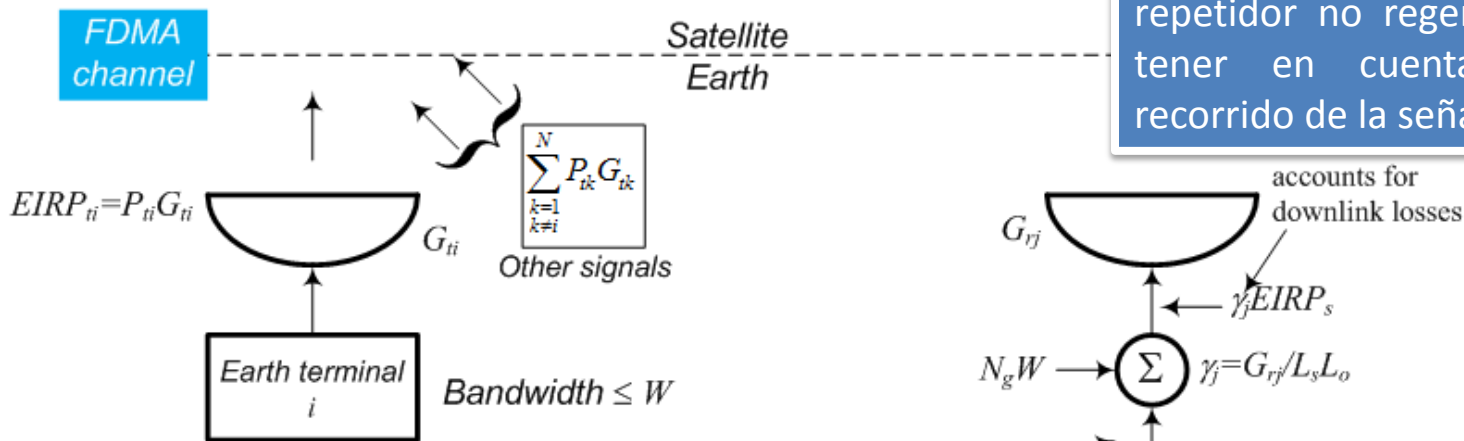
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

# Repetidores Satelitales



El análisis de enlace de un repetidor no regenerativo debe tener en cuenta el entero recorrido de la señal



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

# Repetidores Satelitales

- La potencia  $P_{rj}$  recibida por la estación  $j$  puede expresarse como:

$$P_{rj} = EIRP_s \gamma_j \left( \frac{S_i \text{ U/L power}}{\text{total}(S + N) \text{ U/L power}} + \frac{\text{balance } S \text{ U/L power}}{\text{total}(S + N) \text{ U/L power}} + \frac{\text{U/L noise power}}{\text{total}(S + N) \text{ U/L power}} \right) + N_g W$$

- Donde  $S$  es la potencia de señal,  $N$  la potencia de ruido y U/L denota el enlace ascendiente (*uplink*)
- De esta ecuación se deduce que la porción del EIRP en el enlace descendiente dedicada a cada usuario (o a ruido en el enlace ascendiente) es determinada por la relación entre la potencia de transmisión de un usuario dado y la potencia total de señal y ruido en el enlace ascendiente
  - Los usuarios deben cooperar y no exceder una potencia de transmisión ascendiente preestablecida

En el caso en que un usuario exceda la potencia de transmisión, la potencia de

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento. Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de Julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.



# Repetidores Satelitales

- ❑ La relación  $P_r/N$  para la señal  $i$  recibida por la estación  $j$  puede expresarse como:

$$\left(\frac{P_r}{N}\right)_{ij} \approx \frac{EIRP_s \gamma_j [A_i P_i / (P_T + N_s W)]}{EIRP_s \gamma_j [N_s W / (P_T + N_s W)] + N_g W}$$

- ❑ La relación  $P_r/N_0$  global para la señal  $i$  recibida por la estación  $j$  puede expresarse como:

$$\left(\frac{P_r}{N_0}\right)_{ij} = \frac{EIRP_s \gamma_j \beta A_i P_i}{EIRP_s \gamma_j \beta N_s + N_g}$$

- ❑ El ruido en el enlace ascendente degrada el  $SNR$  total reduciendo el EIRP en el enlace descendente y contribuyendo al ruido total de sistema
- ❑ Cuando  $P_T \ll N_s W$  se dice que el enlace es limitado en el tramo ascendente (*uplink limited*) y la mayoría del  $EIRP_s$  del tramo descendente es gastada para transmitir el ruido del enlace ascendente. En este caso  $EIRP_s \approx N_s W$  por lo que:

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99



# Repetidores Satelitales

- ❑ En el caso de un enlace limitado en el tramo ascendente, la relación  $P_r/N_0$  global sigue el  $SNR$  del enlace ascendente
- ❑ La situación más común es la de un enlace limitado en el tramo descendiente (*downlink limited*). En este caso  $P_T \gg N_s W$  y el EIRP del satélite es limitado, por lo que:

$$\left( \frac{P_r}{N_0} \right)_{ij} \approx \frac{EIRP_s \gamma_j A_i P_i / P_T}{N_g}$$

- ❑ La potencia del transpondedor es dividida principalmente entre las señales transmitidas en el enlace ascendente y muy poco ruido es transmitido en el enlace descendente. En este caso las prestaciones dependen sólo de los parámetros del enlace descendente
- ❑ En ausencia de ruido de intermodulación, las prestaciones del enlace en términos de  $E_b/N_0$  (o  $P_r/N_0$ ) pueden estimarse de la siguiente manera:

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

# Repetidores Satelitales

- ❑ La mayor parte de los transpondedores satelitales son de tipo no regenerativo
- ❑ Los transpondedores regenerativos son más sofisticados pero tienen importantes ventajas respecto a los de tipo no regenerativo:
  - ❑ El enlace ascendente es desacoplado del enlace descendiente, por tanto el ruido del tramo ascendente no es retransmitido en el tramo descendiente
  - ❑ La relación señal ruido en ambos tramos mejora

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Repetidores Satelitales

- Los sistemas de comunicación satelitales tienen importantes restricciones de potencia...
- ...por ello suelen utilizar amplificadores no lineales pero energéticamente más eficientes respecto a amplificadores lineales
- Desafortunadamente los amplificadores no lineales tienen una serie de inconvenientes:
  - Introducen ruido de intermodulación
  - Introducen conversión AM-AM que produce una distorsión de amplitud de la señal
  - Introducen una conversión AM-PM que provocan fluctuaciones de la envolvente de la señal
  - Pueden cancelar las señales más débiles
- Para limitar el efecto de las no linealidades, es posible hacer operar el amplificador cerca de la región de funcionamiento lineal
  - Se reduce el efecto del ruido de intermodulación en detrimento de la

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99