



# RUIDO ELÉCTRICO

**Comunicaciones Electrónicas**

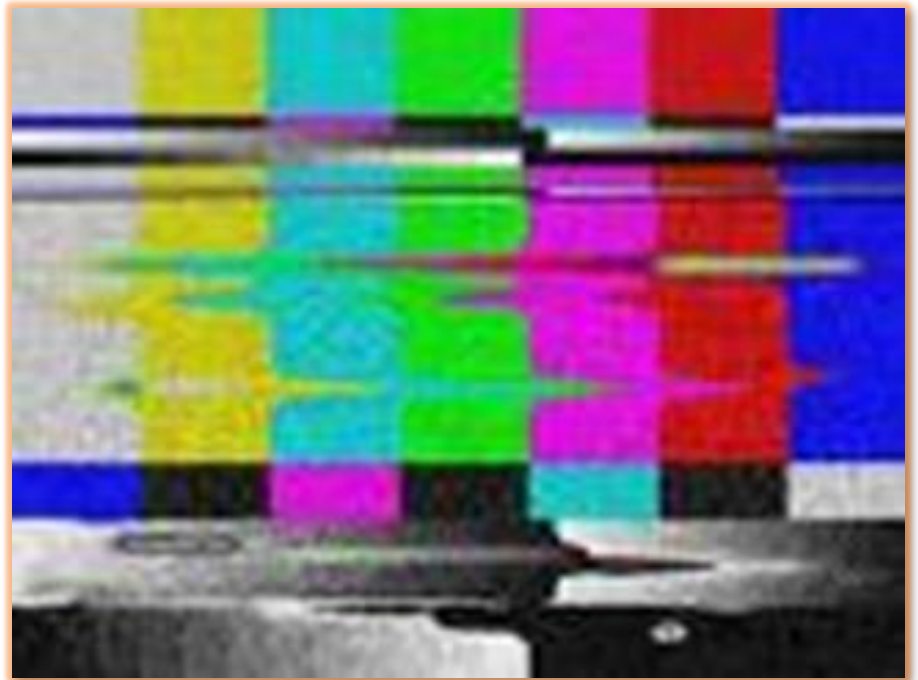
Facultad de Ingenierías

Programa de Ingeniería Electrónica



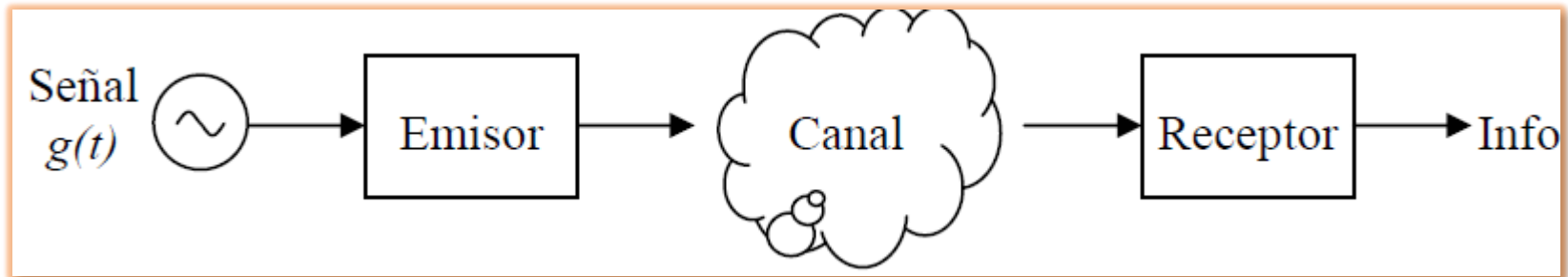
# Deterioro de la Transmisión

¿Interferencia o  
ruido?



# Introducción

- Recordando los bloques básicos de un sistema de comunicación



- El canal es el medio físico de enlace entre el emisor y el receptor .
- En el se presentan la mayoría de los problemas de la transmisión (modificación de la señal) debido a:
  - Las señales viajan a través de medios de transmisión (canal), que no son perfectos. Las imperfecciones pueden causar deterioros en las señales.
  - En su viaje por el canal se agregan también señales adicionales
- Esto significa que la señal al principio y al final del medio es distinta. Lo que se ha enviado no es lo recibido.

# Introducción

- Las señales que se adicionan al sistema se deben a:
  - a) **Ruido generado en el sistema o fuera de él**, con diferentes orígenes: térmico, atmosférico, etc. Este ruido normalmente es de magnitud pequeña pero puede ser importante cuando la señal, debido a la atenuación en el canal, llega a ser pequeña.
  - b) **Interferencias debidas a otras señales de información** transmitidas a través del mismo canal y en el mismo rango espectral, las cuales, en general, no se pueden separar de la señal.
  - c) **Interferencias generadas por el mismo canal** como resultado de alinealidades en su respuesta y que producen modificaciones en el espectro original de la señal. Estas interferencias consisten en armónicos de la señal original o frecuencias suma y diferencia de armónicos (productos de intermodulación).
- Para el estudio, clasificaremos en 3 tipos de deterioro: **atenuación**, **distorsión** y **ruido**.



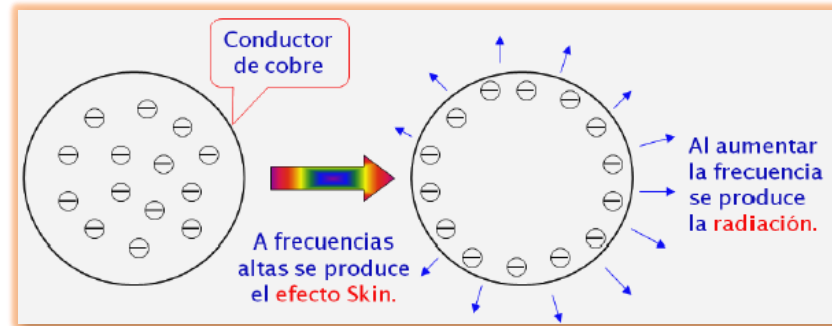
En la mayoría de la literatura, se etiqueta la distorsión como un tipo de ruido. Por tanto aquí se hará lo mismo más adelante

# Atenuación

- La atenuación significa pérdida de energía. Cuando una señal viaja a través de un medio, pierde algo de su energía para vencer la resistencia del medio.
  - Esta es la razón por la cual los cables que llevan señales eléctricas se calientan, si no arden, después de un cierto tiempo. Parte de la energía eléctrica de la señal se convierte en calor.

- Tipos de Pérdidas**

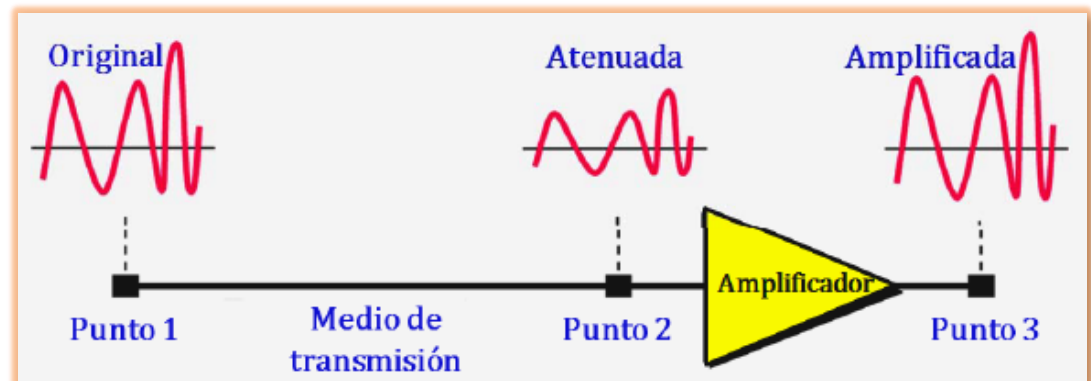
- Pérdida óhmica:** Principalmente cuando aumenta la frecuencia por el efecto Skin.



- Pérdida por radiación:** Las líneas metálicas radian energía cuando aumenta la frecuencia.

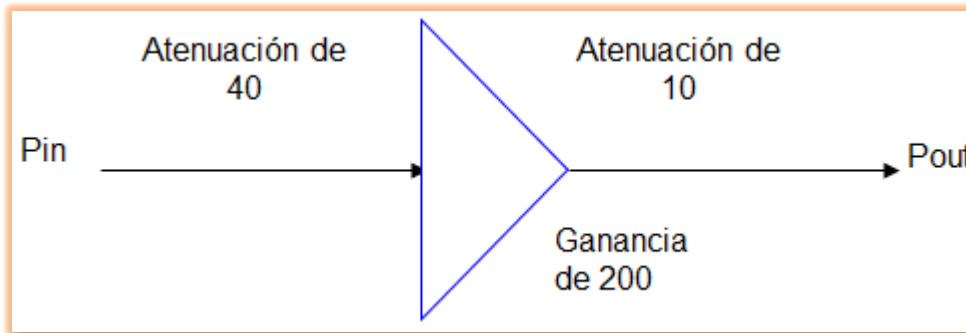
- Pérdida por fuga:** El dieléctrico produce fugas de corriente, principalmente cuando aumenta la frecuencia.

- Para compensar la pérdida de energía, se usan amplificadores para amplificar la señal.



## Ejercicios:

- ¿Cual es la atenuación total de un sistema conformado por una línea con 40 de atenuación que alimenta un amplificador con ganancia de 200 y una línea de salida con atenuación de 10?



Respuesta.-

$$P_{out} = P_{in} * \frac{1}{40} * 200 * \frac{1}{10}$$

$$\frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{1}{2}$$

*Dos formas de expresar el mismo resultado:*

- La atenuación total del sistema es de 2.
- La ganancia total del sistema es de 0.5.

- Los amplificadores usados en electrónica son especificados en dB.
- Por ejemplo, un amplificador con Ganancia de 20 dB, significa que éste amplificará la señal de entrada 100 veces. En cambio, uno de 30 dB amplificara 1.000 veces la señal de entrada

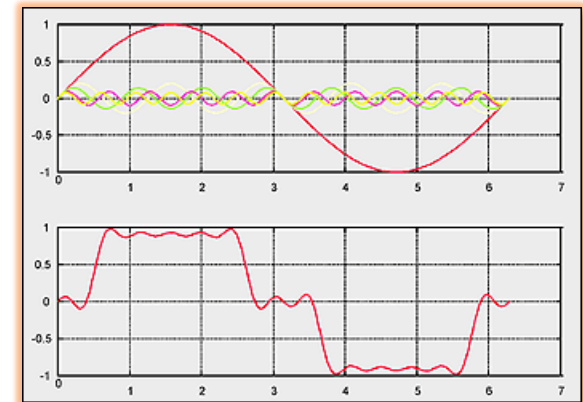


# Distorsión

- La distorsión significa que la señal cambia su forma de onda.
  - Ocurre en una señal compuesta, formada por distintas frecuencias.
- Cada señal componente tiene su propia velocidad de propagación a través del medio y, por tanto, su propio retraso en la llegada al destino final.
  - Las diferencias en los retrasos pueden crear un desfase si el retraso no es exactamente el mismo que la duración del periodo.

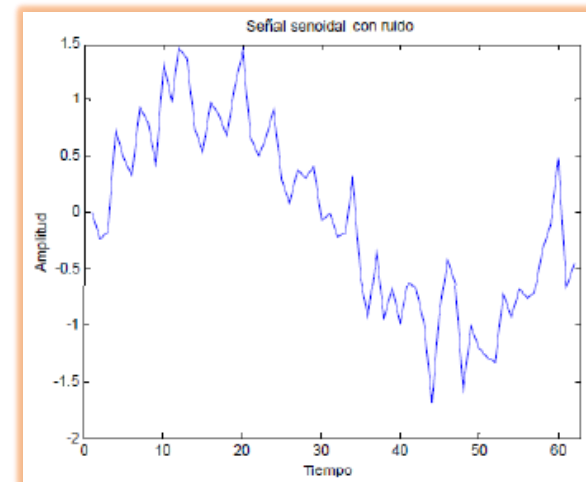
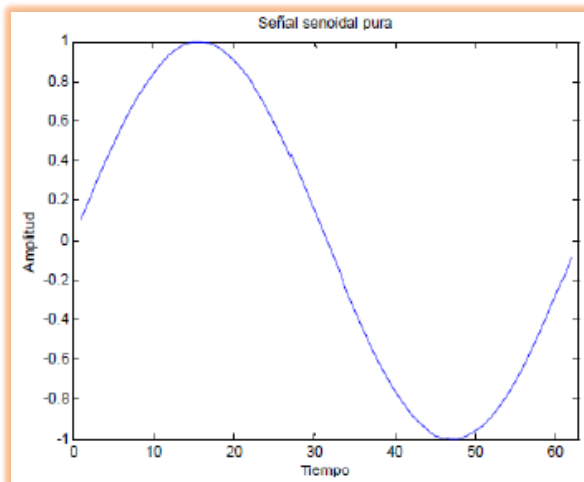


- En otras palabras, los componentes de la señal en el receptor tienen fases distintas de las que tenían en el emisor. La forma de la señal compuesta es por tanto distinta.



# Ruido

- El ruido se define como cualquier energía eléctrica no deseada que aparece en la frecuencia de la señal deseada e interfiere con ella perturbando la comunicación.
- En la siguiente figura se ejemplifica el efecto que tiene una señal de ruido cuando se adiciona a una señal senoidal:



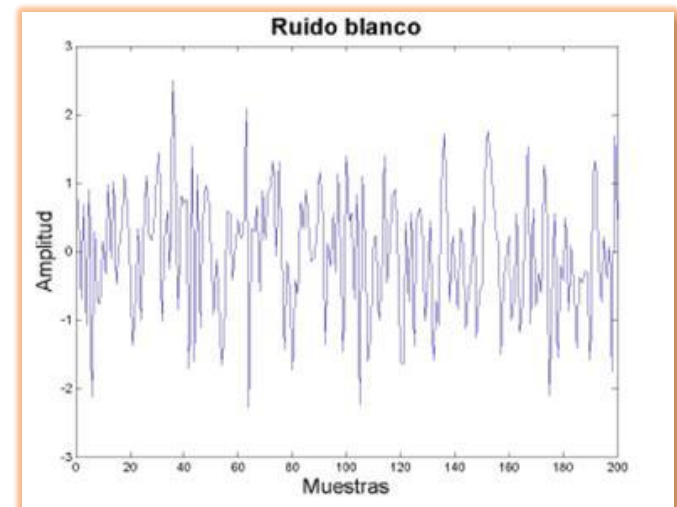
- La señal que contiene el ruido inducido es diferente de la señal original (obviamente) pero aún conserva la forma fundamental de la señal de entrada y por lo tanto es posible tener una buena recepción.



# Ruido Térmico

- En 1927 J.B. Johnson enuncia que los electrones llevan carga unitaria y velocidad media cuadrática proporcional a la temperatura absoluta. (una carga acelerada radia ondas electromagnéticas).
- Por tanto, al aumentar la  $T_o$  se incrementa el movimiento de los electrones y produce un flujo de corriente.
- El flujo de corriente es resistido: los átomos están agitados y los electrones chocan unos con otros. Esta resistencia aparente del conductor produce un voltaje aleatorio que técnicamente se llama ruido (voltaje de ruido).
- Este ruido recibe el nombre de **ruido térmico, browniano, Johnson, aleatorio, resistivo o ruido blanco**.

El ruido blanco es una señal aleatoria, cuyos valores de señal en dos instantes de tiempo diferentes no guardan correlación estadística. Como consecuencia, su densidad espectral de potencia (PSD) es una constante. (contiene todas las frecuencias y todas ellas tienen la misma potencia).



# Potencia del Ruido Térmico

- La potencia del ruido producido por una fuente de ruido térmico se calcula en función de su temperatura (°) y del ancho de banda útil, según Johnson (1928)

$$N = kTB$$

$$N_o = \frac{N}{B} = KT$$

$N$  = potencia del ruido, en **W**.

$N_o$  = densidad espectral de ruido, en **W/Hz** o **J**.

$k$  = constante Boltzmann,  $1.38 \times 10^{-23}$ , en **J/K**.

$T$  = temperatura absoluta, en **K** (°C+273)

$B$  = ancho de banda de la potencia de ruido, en **Hz**.

## Ejercicios:

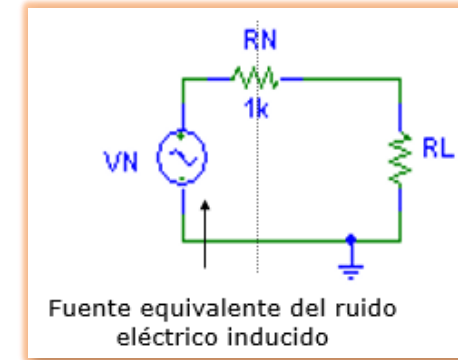
- Hallar la densidad espectral de potencia para una temperatura de 25°C.

$$\begin{aligned} N_{o(25^\circ C)} &= 1.38 * 10^{-23} * (25 + 273) \\ &= 4.11 * 10^{-21} \end{aligned}$$



# Voltaje equivalente del ruido térmico

- Un resistor metálico puede considerarse como una fuente de ruido térmico que se puede representar por un equivalente Thévenin o Norton.
- En la figura se muestra la fuente equivalente del ruido eléctrico y una resistencia de carga que representa al circuito en donde se induce el ruido.
- Para la máxima transferencia de potencia:



$$R_L = R_N \quad \Rightarrow \quad V_{RN} = \frac{V_N}{2} \quad N = KTB = \frac{\left(\frac{V_N}{2}\right)^2}{R} = \frac{V_N^2}{4R} \quad \Rightarrow \quad \boxed{V_N = \sqrt{4RKT B}}$$

## Ejercicios:

- Hallar  $N_O$ ,  $N$  y  $V_N$  si la temperatura es 20°C,  $B=10\text{kHz}$ ,  $R_N=100\Omega$  y  $R_L=100\Omega$

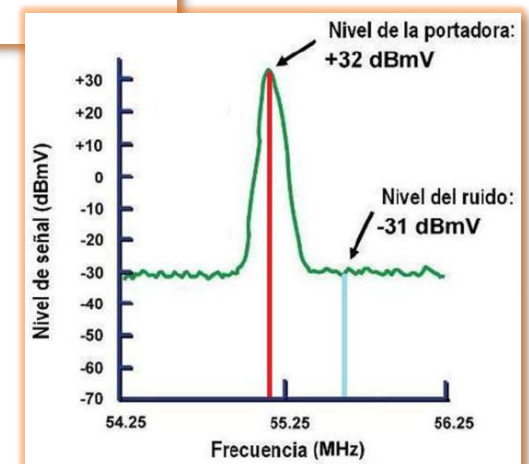
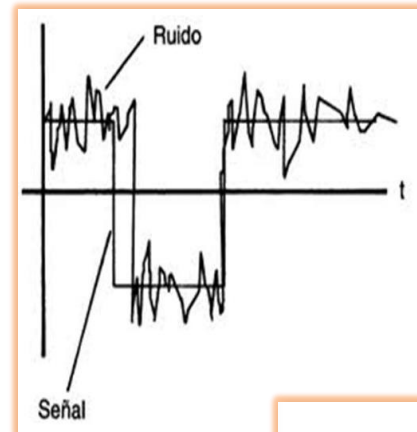
$$\begin{aligned} N_O &= KT \\ &= 1.38 \times 10^{-23} * (273 + 20) \\ &= 4.04 * 10^{-21} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= KTB \\ &= 4.04 * 10^{-21} * 10000 \\ &= 40.4 * 10^{-18} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_N &= \sqrt{4 * 100 * 40.4 * 10^{-18}} \\ &= 127.2 * 10^{-9} = 127.2 \text{ nV} \\ &= 0.1272 \mu\text{V} \end{aligned}$$

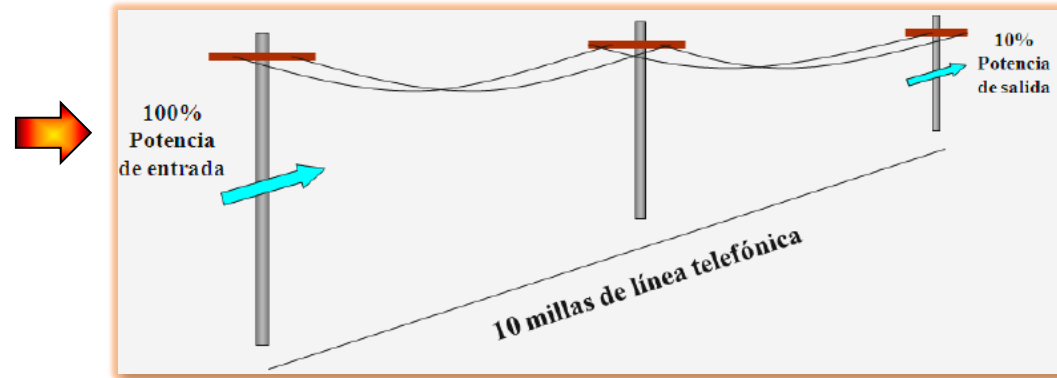
# Unidades de medición en comunicaciones

¿Qué indican?



# La historia de los Bel

- Los primeros sistemas telefónicos usaban líneas abiertas (alambres de acero paralelos).
- Se experimentó que al cabo de 10 millas, la potencia eléctrica se reducía a 1/10 (un décimo) de su valor inicial.



- Esta **proporción de 10 a 1** entre la potencia de entrada y de salida se volvió una unidad de medida: se llamó **Bel** (1927), en honor al inventor del teléfono **Alexander Graham Bell**.
- El **decibel** (dB), por tanto, relaciona las potencias de una señal en dos puntos distintos, a través de la fórmula:

$$G_{(dB)} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_2}{P_1} \right)$$

$\left\{ \begin{array}{l} G = \text{ganancia del sistema. En dB} \\ P_1 = \text{potencia de entrada: En W} \\ P_2 = \text{potencia de salida. En W} \end{array} \right.$

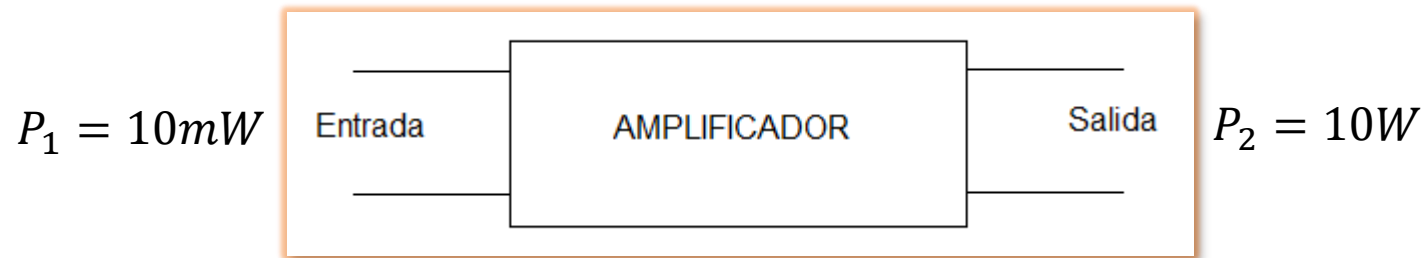
- Una amplificación de 3 dB significa que la potencia en el punto 2 es el doble de la del punto 1
- Una atenuación de 3 dB (Ganancia de -3 dB) significa que la potencia en el punto 2 es la mitad de la del punto 1

Observe que la Ganancia es positiva si una señal se ha amplificado y negativa si se ha atenuado.

El oído responde en forma logarítmica a las intensidades de potencia. 1 dB corresponde aproximadamente a el más pequeño cambio en el volumen del sonido que el oído humano puede apreciar.

# Medición en decibeles

- A modo de ejemplo, esta unidad de medida (dB), se puede utilizar para representar la ganancia de un amplificador (G):



$$\begin{aligned} G_{(dB)} &= 10 \log_{10} \left( \frac{P_2}{P_1} \right) = 10 \log_{10} \left( \frac{10W}{0,01W} \right) \\ &= 10 \log_{10}(1000) \\ &= 30db \end{aligned}$$

Para efectos prácticos, es mucho más importante conocer que este amplificador tiene una ganancia de 30 dB, sin importar los valores de la señal de entrada y la salida

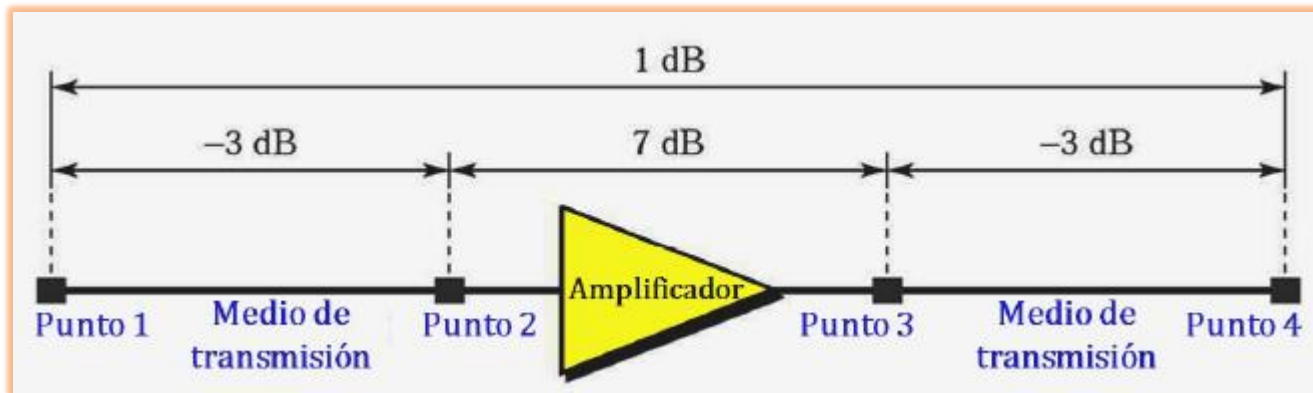


# Medición en decibeles

- Cuando en una red se mezclan diferentes dispositivos que pueden tener ganancias o atenuaciones, es conveniente expresar las ganancias con signo contrario a las atenuaciones para evitar errores al momento de hacer la respectiva suma en el análisis total del sistema.

## Ejercicios:

- La Figura muestra una señal que viaja una larga distancia desde el punto 1 al punto 4. Esta atenuada al llegar al punto 2. Entre los puntos 2 y 3, se amplifica. De nuevo, entre los puntos 3 y 4, se atenúa. Cuanta es la ganancia en dB entre la señal entrante y la saliente.



Respuesta.-

$$-3\text{dB} + 7\text{dB} - 3\text{dB} = +1\text{dB}$$

Una razón por la que los ingenieros usan los dB para medir cambios de potencia de una señal es que los dB se pueden sumar o restar cuando se miden varios puntos.

- El dB es una medida relativa, pero **cuando es necesaria una medición absoluta de potencia**, por ejemplo en un punto de un circuito electrónico, **se utiliza el dBm**, es decir se toma como referencia 1 mW.

$$G_{(dBm)} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_1}{1mW} \right)$$

$G$  = ganancia del sistema. En **dB**  
 $P_1$  = potencia de la señal en cualquier punto. En **W**

- Aunque la relación de potencias es un valor relativo con respecto a la potencia de 1mW, el dBm representa por tanto un nivel absoluto de la potencia de  $P_1$ , puesto que éste valor es directamente proporcional a  $P_1$ .
  - 0 dBm es lo mismo que 1 mW.
  - Un aumento de 3 dB representa más o menos doblar la potencia, lo que significa que 3 dBm es casi igual a 2 mW.
  - Con una reducción de 3 dB, la potencia es reducida a la mitad más o menos, haciendo que –3 dBm sea aproximadamente 0,5 mW o 500  $\mu$ W.
- Esta unidad de medida es la mas utilizada en los sistemas de Transmisión, porque **permite medir la potencia de la señal en cualquier parte del circuito**, teniendo en cuenta la impedancia en el punto de medida.

## Ejercicios:

- a) La potencia de una señal es  $1 \mu\text{W}$ . Calcule su equivalente en dBm.
- b) De igual manera para una potencia de  $1\text{mW}$ .

Respuesta.-

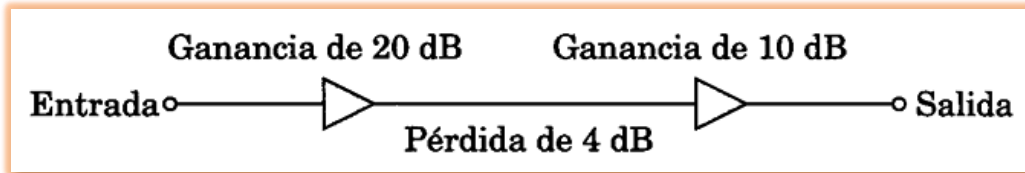
a)  $-30\text{dBm}$ .

b) Para  $1\text{mW}$  es  $0\text{dBm}$ .

- Un amplificador de  $20\text{ dB}$  se conecta a otro de  $10\text{ dB}$  por medio de una línea de transmisión con una pérdida de  $4\text{ dB}$ . Si al sistema se le aplica una señal con un nivel de potencia de  $-12\text{dBm}$ , calcule el nivel de la potencia de salida.

Respuesta.-

$$-12\text{dBm} + 26\text{dB} = 14\text{dBm}$$



Parecería que se están sumando cantidades diferentes, pero no es así. Ambas cantidades son logaritmos de relaciones de potencia y por tanto, son adimensionales.

- Los dB y dBm no son unidades como A o V: "dB" indica la operación de que realizó un cociente, y la "m" sigue la pista de un nivel de referencia.

# Medición en decibeles

- En algunas ocasiones no es posible medir directamente la potencia y se recurre a la medición de voltaje o corriente.
- La fórmula de decibeles puede escribirse también así:

$$G_{(dB)} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_2}{P_1} \right) = 10 \log_{10} \left( \frac{\frac{V_2^2}{Z_2}}{\frac{V_1^2}{Z_1}} \right)$$

- Si  $Z_1 = Z_2$  se tendrá en términos de voltaje:

$$G_{(dB)} = 10 \log_{10} \left( \frac{V_2^2}{V_1^2} \right) \quad \text{que es lo mismo que:}$$

$$G_{(dB)} = 20 \log_{10} \left( \frac{V_2}{V_1} \right)$$

$\left\{ \begin{array}{l} G = \text{ganancia del sistema. En dB} \\ V_1 = \text{voltaje de entrada: En V} \\ V_2 = \text{voltaje de salida. En V} \end{array} \right.$

Con un análisis similar , pero en términos de corrientes se tiene:

$$G_{(dB)} = 20 \log_{10} \left( \frac{I_2}{I_1} \right)$$

# El dBV

- Si  $Z_1 \neq Z_2$  y  $P_2 = 1mW$  reescribiríamos así:

$$G_{(dB)} = \underbrace{20 \log_{10} \left( \frac{V_2}{V_1} \right)}_{dBV} + \underbrace{10 \log_{10} \left( \frac{Z_1}{Z_2} \right)}_{\text{Factor de corrección}}$$

Esta ecuación aplica tanto si estamos realizando cálculos de ganancia en db o si estamos midiendo potencia en dbm

- Los valores más comunes para el factor de corrección (en dB) son:

$Z_1 \backslash Z_2$	600	150	75	50
600	0	+6	+9	+11
150	-6	0	+3	+5
75	-9	-3	0	+1,8
50	-11	-5	-1,8	0

## Ejercicios:

- Si una señal es leída con un medidor de nivel (impedancia típica  $600\Omega$ ), a  $-42$  dBV, sobre una impedancia de  $150\Omega$ , a que valor equivale en dBm?

Respuesta.-

$$\begin{aligned} dB_m &= dBV + 10 \log_{10} \left( \frac{600}{150} \right) \\ &= -42 \text{ dBV} + 6 \text{ dB} &= -36 \text{ dBm} \end{aligned}$$

# Relación Señal a Ruido

- Indica la relación de potencias que existe entre la señal transmitida y el ruido inducido.
  - S/N Puede ser una relación de voltajes o de potencias.

- Para potencias:

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{Potencia Señal}}{\text{Potencia Ruido}} = \frac{P_S}{P_N} \quad \Rightarrow \quad SNR_{dB} = 10 \log \left( \frac{P_S}{P_N} \right)$$

- Para voltajes:

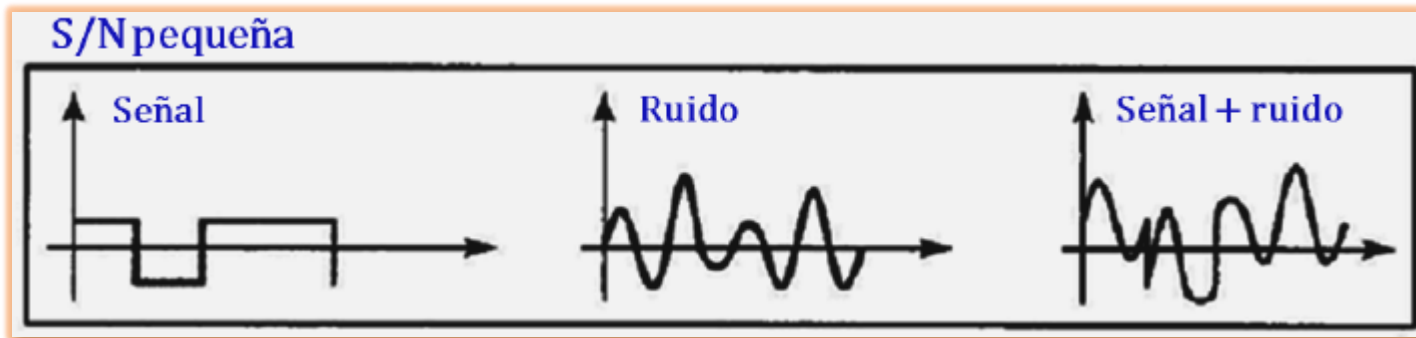
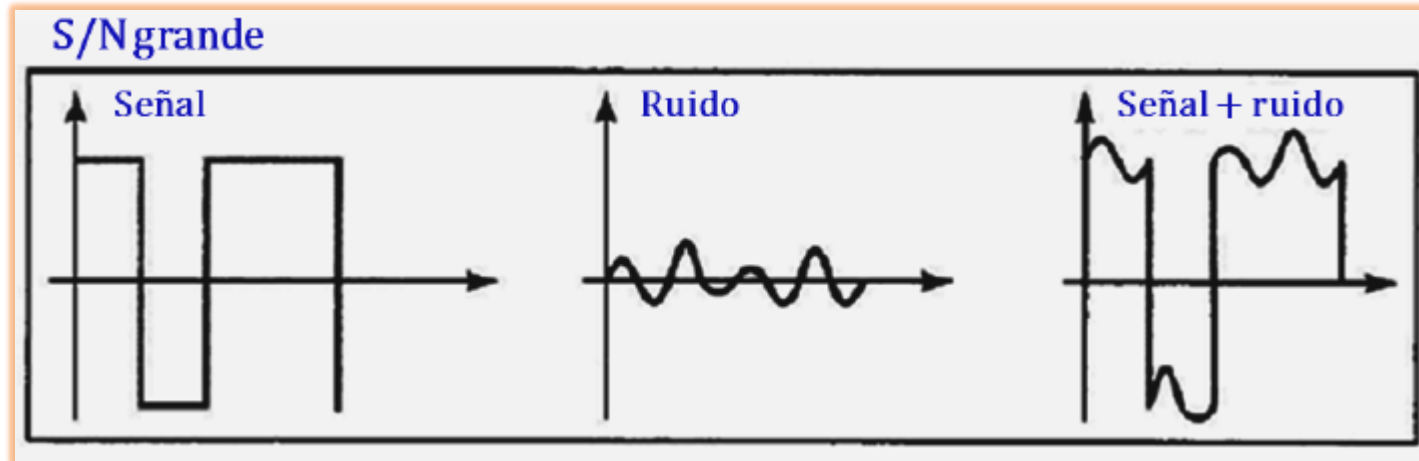
$$\frac{S}{N} = \frac{\text{Volt Señal}^2}{\text{Volt Ruido}^2} = \left( \frac{V_S}{V_N} \right)^2 \quad \Rightarrow \quad SNR_{dB} = 20 \log \left( \frac{V_S}{V_N} \right)$$

S/N es la razón entre lo que se quiere (señal) y lo que no se quiere (ruido).



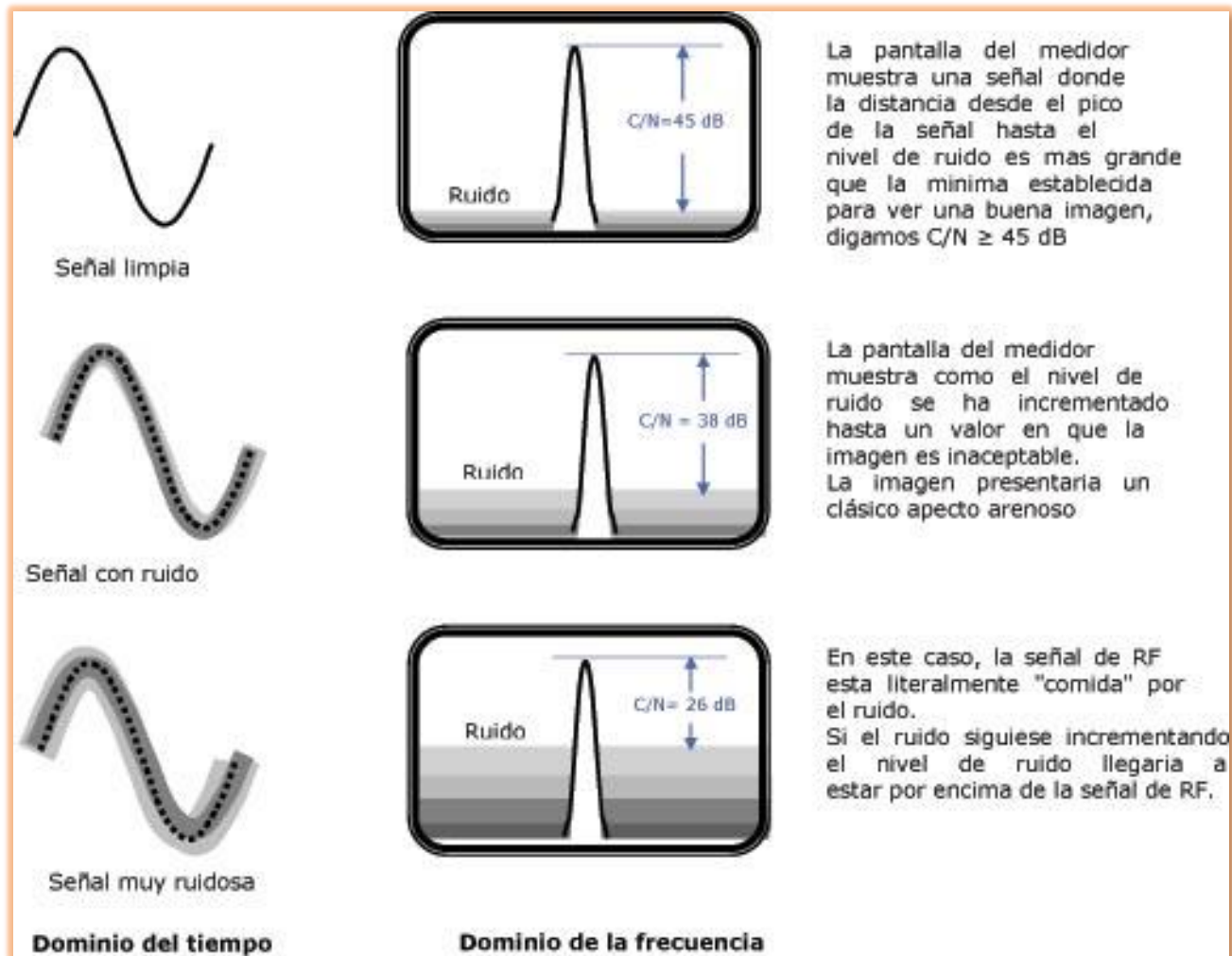
# Relación Señal a Ruido

- Una S/R baja indica que la señal está muy corrompida por el ruido.



# Relación Señal a Ruido

- Una S/R baja indica que la señal está muy corrompida por el ruido.



# Factor de Ruido

- Todos los conductores producen ruido y los dispositivos activos también añaden su propio ruido, entonces, cualquier etapa en un sistema de comunicación agrega ruido.
- Por ejemplo, un amplificador amplificará por igual la señal y el ruido en su entrada, pero también añadirá cierto ruido. Por tanto, **la S/N en la salida es más baja que en la entrada**.
- El **factor de ruido (F)** se define entonces, como el cociente entre la S/N a la entrada de un dispositivo y la S/N a la salida del mismo, y da una indicación de cuánto se degrada la misma al pasar por él:

$$F = \frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{in}}{\left(\frac{S}{N}\right)_{out}}$$

- La **figura de ruido (NF)** es simplemente el factor de ruido en unidades logarítmicas:

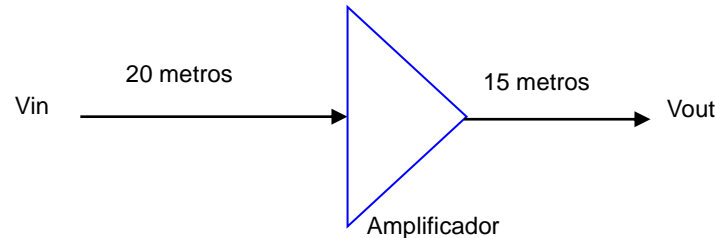
$$NF_{dB} = 10\log(F)$$

# EJERCICIO CONCLUSIÓN

- Un receptor de AM comercial ( $B=10\text{KHz}$ ) requiere una  $S/N$  de 60 dB en su entrada para poder recuperar una señal, si su impedancia de entrada es de  $100\ \Omega$  y trabaja a una temperatura promedio de  $30^\circ\text{C}$ , determine:
  - a) La densidad espectral del ruido en el receptor.
  - b) La potencia del ruido en el receptor.
  - c) El voltaje equivalente del ruido en el receptor.
  - d) El nivel mínimo de la señal de entrada.

# EJERCICIO CONCLUSIÓN

- Considere el siguiente esquema como parte de un sistema de comunicaciones. La señal de entrada ( $V_{in}$ ) tiene una amplitud de voltaje de 20mV; la línea de entrada tiene unas pérdidas de 0.5dB por metro de longitud y una impedancia de  $75\Omega$ ; el amplificador tiene una ganancia de 18dB; y la línea de salida tiene unas pérdidas de 0.3dB por metro y una impedancia de  $600\Omega$ . Calcule el voltaje de salida ( $V_{out}$ ) en Voltios.



# EJERCICIOS CONCLUSIÓN

- El esquema que se presenta en la figura representa una transmisión de AM comercial (ancho de banda de 10Khz):
  - Si el dispositivo receptor requiere de la relación señal a ruido de 128 dB en su entrada para poder recuperar la señal transmitida, tiene una impedancia de entrada de 6,2k $\Omega$  y trabaja a una temperatura de 20 °C, determine la atenuación en dB/m que debe tener el enlace entre las antenas de forma que en el receptor pueda recuperar la señal. (Ver gráfico).
  - Si la potencia de entrada se duplica, encuentre la distancia máxima que puede tener el radio enlace si la atenuación del medio permanece constante.

