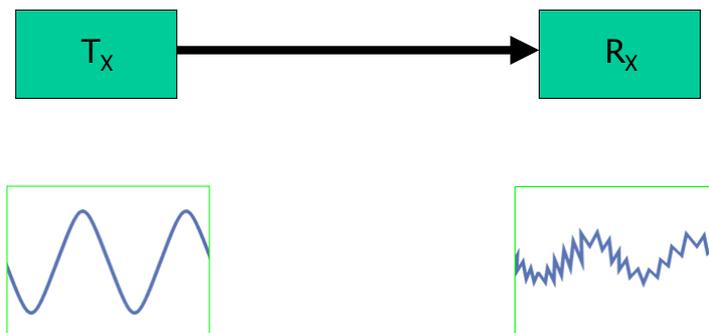
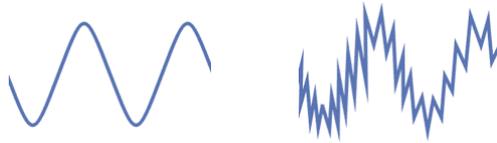


# ALTERACIONES EN LAS TRANSMISIONES

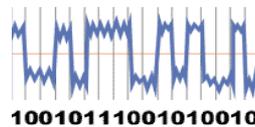
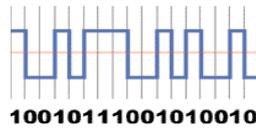
En todo sistema de comunicaciones real la señal que se recibe en el receptor no es la misma que emitió el transmisor.





Señal analógica: degradación de la calidad de la señal

Señal digital: se producen bits erróneos



Alteraciones más importantes:

- Atenuación
- Desvanecimiento
- Distorsión armónica
- Ruido
  - Térmico
  - Electromagnético
    - Natural
      - Atmosférico
      - Espacial
        - ✓ Solar
        - ✓ Cósmico
    - Artificial
      - Impulsivo
        - De rebotes en los cables
        - Por diferencia de tensión en las tomas de tierra
        - De intermodulación
        - De cuantización

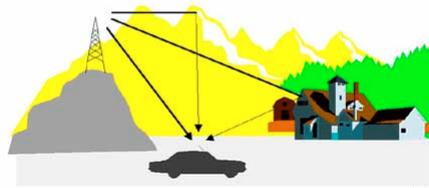
## Atenuación



- La energía de la señal disminuye con la distancia
- Medios guiados: disminución logarítmica con la distancia, por ello es una dependencia lineal si se expresa en decibelios (dB/Km)
- Medios no guiados:  
$$L(\text{pérdida}) = 10 \log (4\pi d/\lambda)^2 \text{ (dB)}$$
  - Repetidores más separados que en los medios guiados
  - Crece con la frecuencia (menor atenuación en digital)

## Desvanecimiento (fading)

PROPAGACION POR TRAYECTOS MULTIPLES



- En las transmisiones de radio, la señal desaparece de forma transitoria
- Generalmente se restablece en el Rx con un control automático de ganancia, a menos que la relación sea tan pequeña que no se pueda restablecer la señal
- Es causada por condiciones atmosféricas

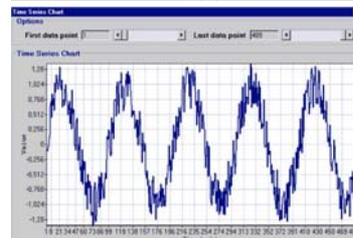
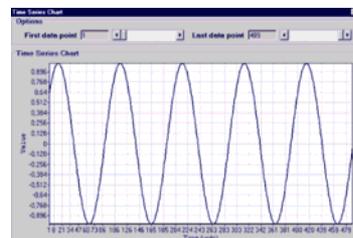
## Distorsión armónica debido a diferente retardo

- Se da en los medios guiados
- La velocidad de propagación varía con la frecuencia
- Por ello, cada componente espectral llegará en instantes de tiempo diferentes
- Especialmente crítica en transmisiones digitales
- Esto limita la velocidad de transmisión máxima en un canal de transmisión

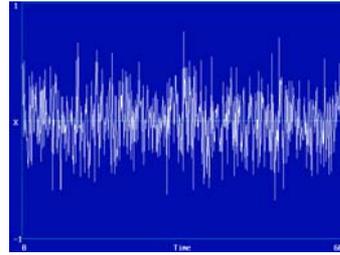
## Ruido

Señales no deseadas que se insertarán a la señal transmitida a lo largo de todo el proceso de transmisión

Es el factor de mayor importancia, junto con la atenuación, a la hora de limitar las prestaciones de un sistema de comunicaciones



## Ruido térmico



- Se debe al calor, a la agitación térmica de los electrones presentes en la materia
- Aparece en todos los dispositivos electrónicos y medios de transmisión
- Es función de la temperatura:  $N_0 = k \cdot T$  (W/Hz)
  - $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  J/°K (cte. de Boltzmann)
  - T = temperatura en °K
  - Densidad de potencia por hercio

## Ruido térmico

- Para un ancho de banda B:  $N = k \cdot T \cdot B$
- Cociente  $E_b / N_0$  (Trans. Digital)
  - Energía de la señal por bit  $E_b = S T_b$
  - $E_b / N_0 = S T_b / kT = S / (V_{bps} k T)$
  - Si  $E_b / N_0$  aumenta la tasa de error disminuye
- Si  $V_{bps}$  se duplicase el ruido afectaría al doble de bits
- Se puede expresar en dB

## Ruido electromagnético

- Natural
  - Atmosférico
  - Espacial
    - Solar
    - Cósmico
- Artificial
  - Impulsivo

## Ruido atmosférico



- Está producido por perturbaciones eléctricas en la atmósfera terrestre.
- El rayo es la fuente más visible de este tipo de ruido
- Estas ondas parásitas se propagan igual que las ondas de radio y se pueden producir en cualquier parte de la Tierra
- Este ruido es importante hasta los 20 KHz aprox. Y en las transmisiones de televisión (500 MHz)

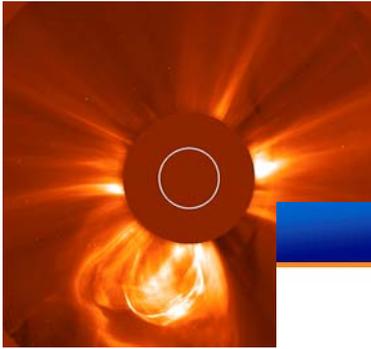


## Ruido espacial

- Está producido por perturbaciones eléctricas  
provenientes del espacio

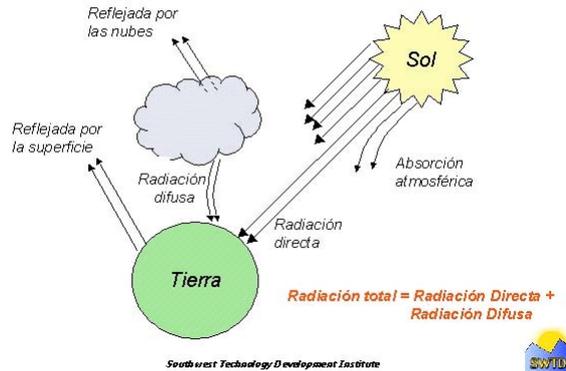
---

- Ruido Solar
- Ruido Cósmico



Ruido solar: dos componentes, una constante y otra esporádica debida a las manchas solares (periodo de 11 años)

### La Radiación Solar



3

## Ruido cósmico: rayos cósmicos

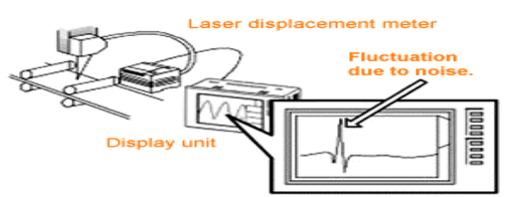
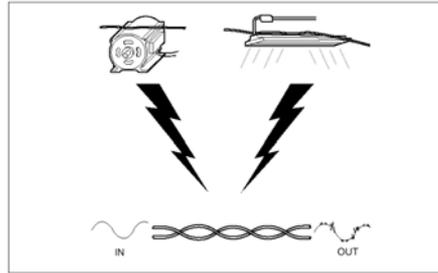


- Nuestro planeta recibe constantemente una lluvia de partículas cargadas. Cada segundo 1000 partículas por metro cuadrado golpean las capas más exteriores de la atmósfera terrestre.
- Este flujo de partículas (llamado rayos cósmicos), proveniente en su mayoría de nuestra Galaxia, consisten en un 90% de protones, 9% partículas alfa y el resto son núcleos más pesados que el hidrógeno.

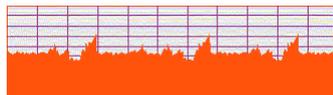
- Los rayos cósmicos primarios que golpean las capas más externas de la atmósfera, sufren colisiones con los núcleos que allí se encuentran.
- De estas colisiones resultan lluvias de nuevas partículas elementales de todo tipo (como electrones, positrones, mesones pi, muones, etc) que eventualmente llegan a la superficie.
- Estos chubascos de rayos cósmicos secundarios pueden alcanzar una extensión de varios kilómetros cuadrados.

## Ruido artificial

- Está producido por perturbaciones eléctricas debidas al hombre



## Ruido artificial

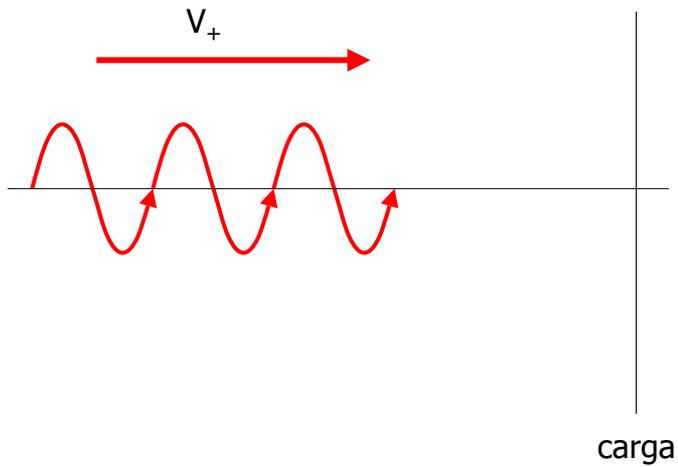
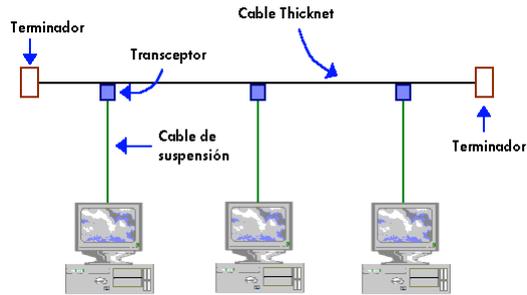


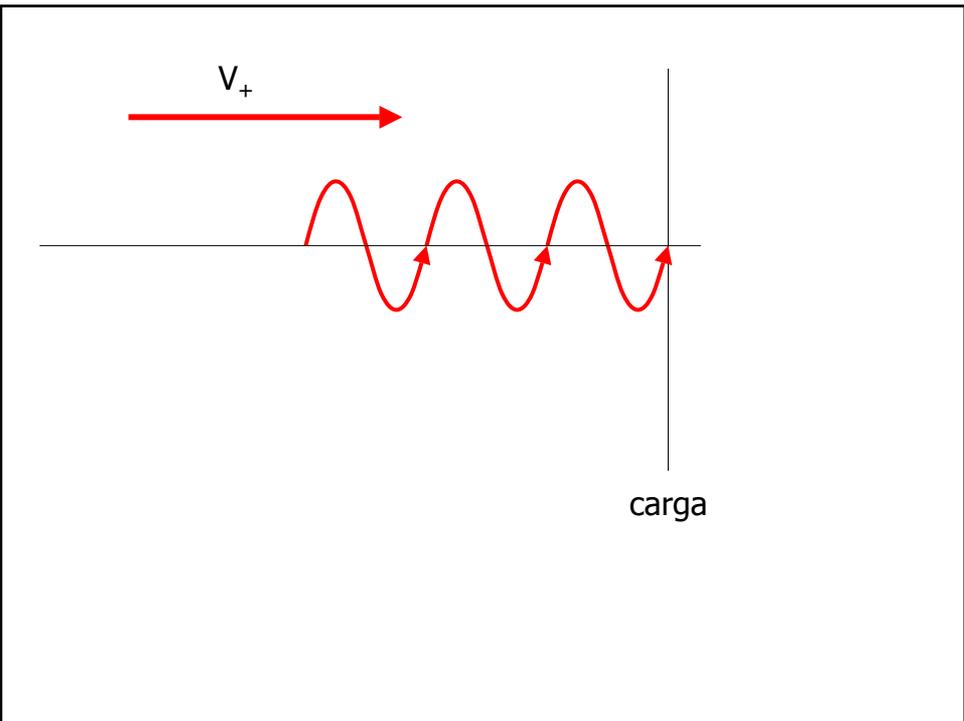
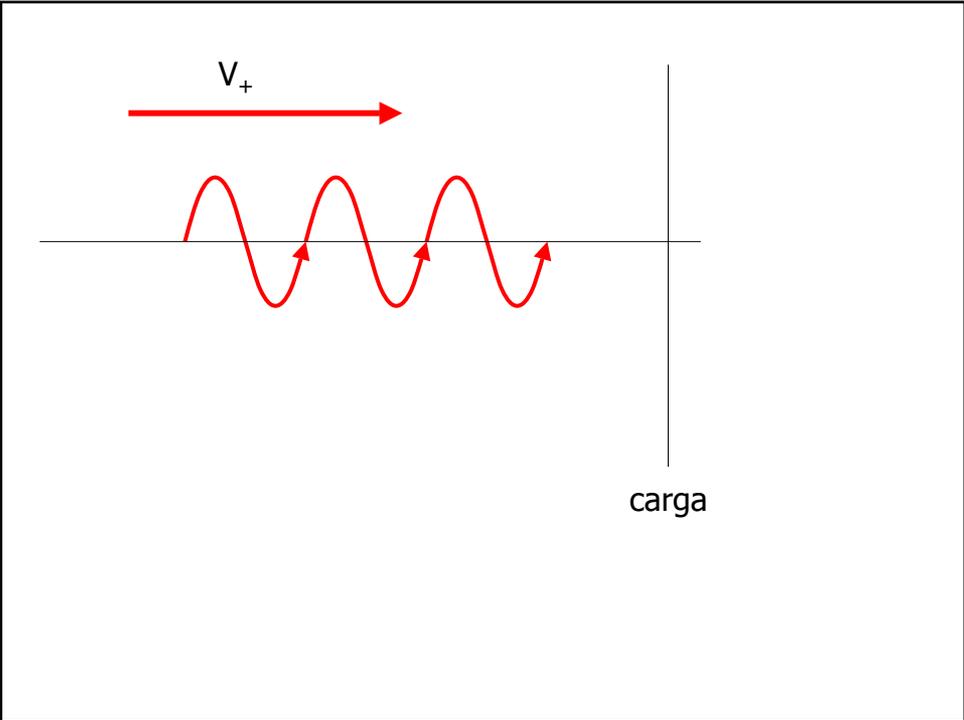
- arranque y parada de motores eléctricos
- vibraciones mecánicas --> vibraciones eléctricas
- fluorescentes
- diafonía
- conmutación de circuitos

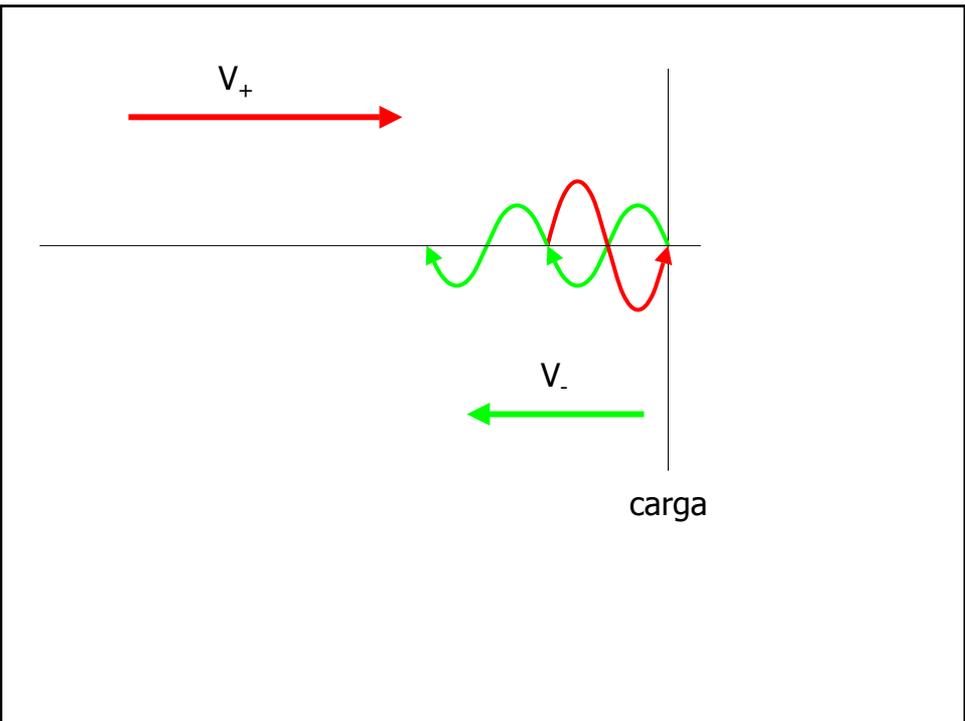
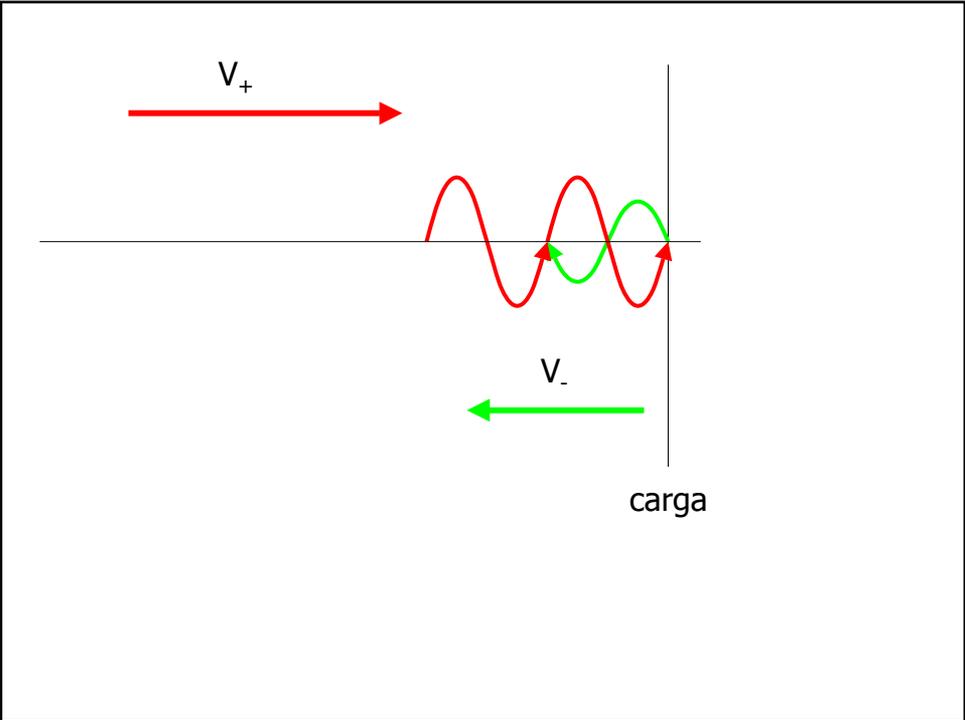


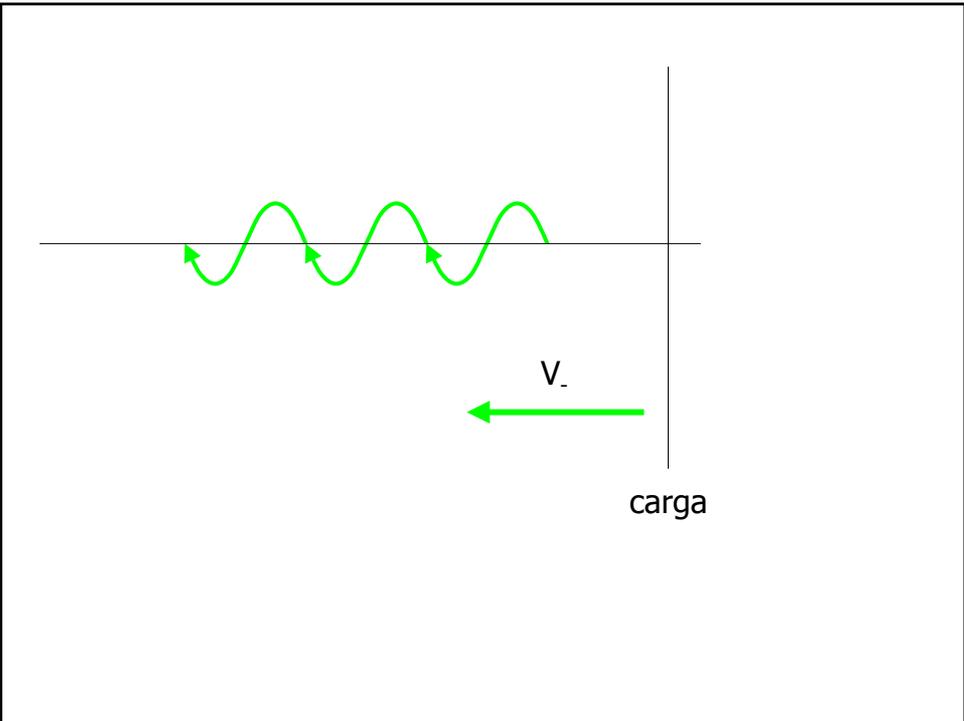
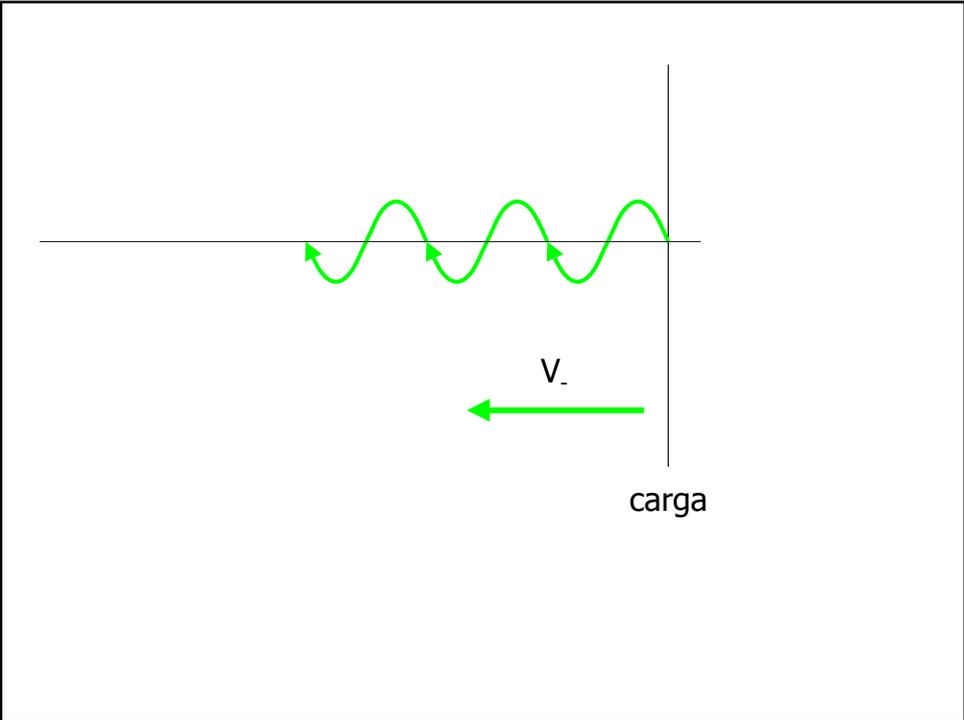
## Ruido de rebote en los cables

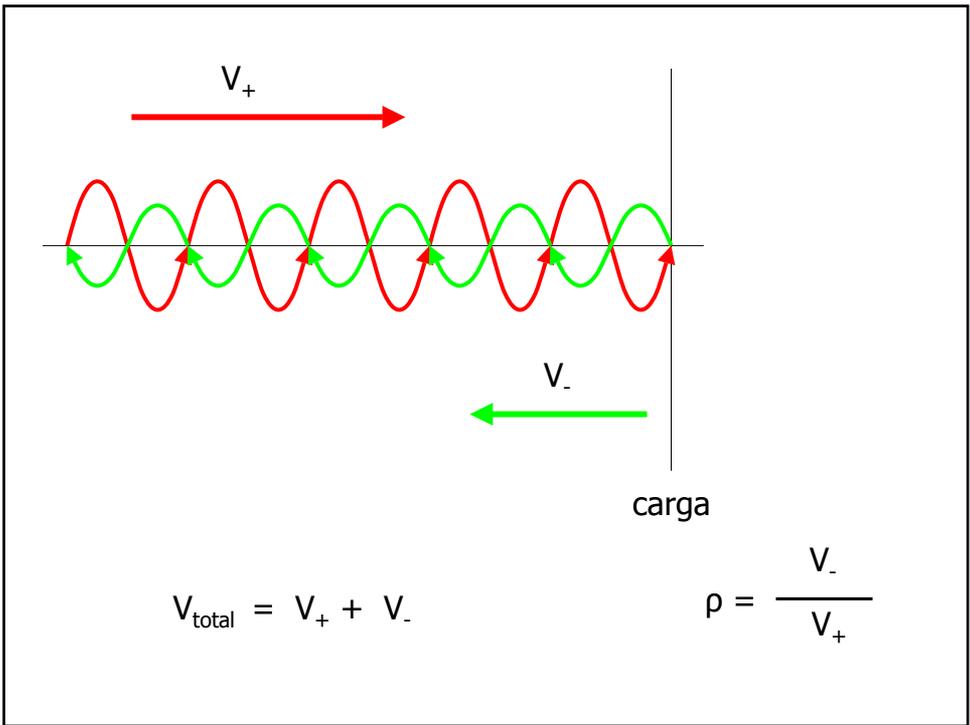
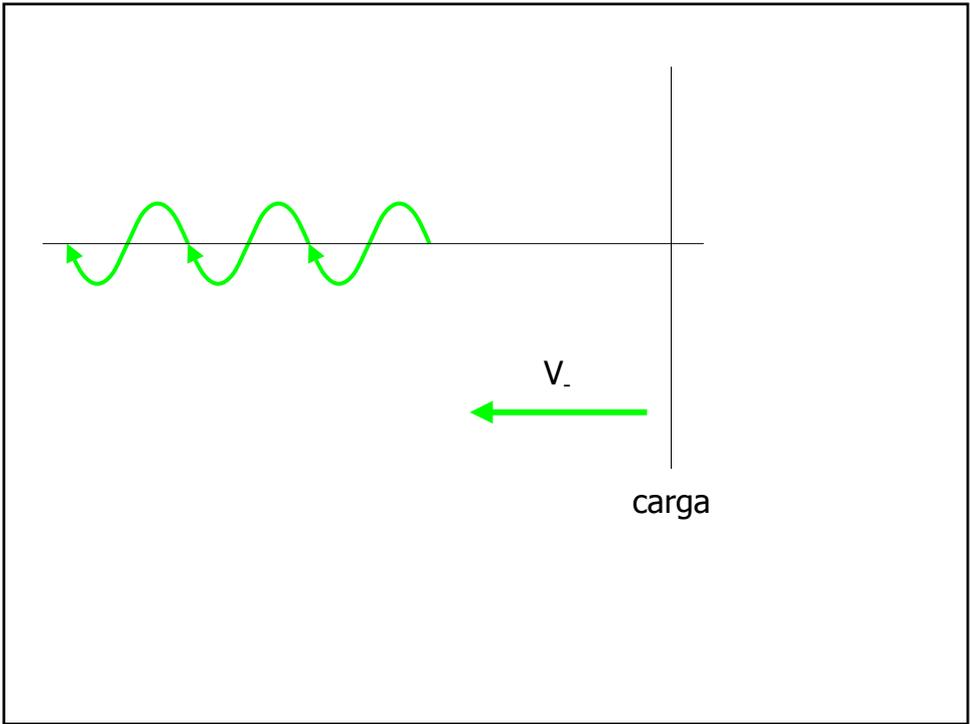
- Está producido por el rebote de la señal que circula por un cable en la carga del receptor





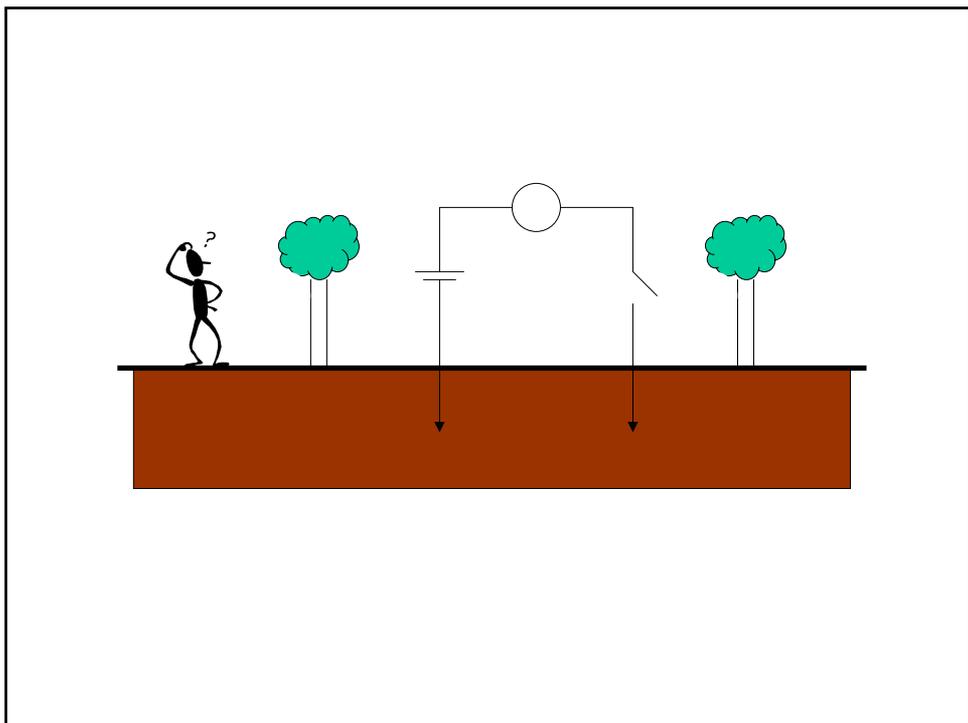


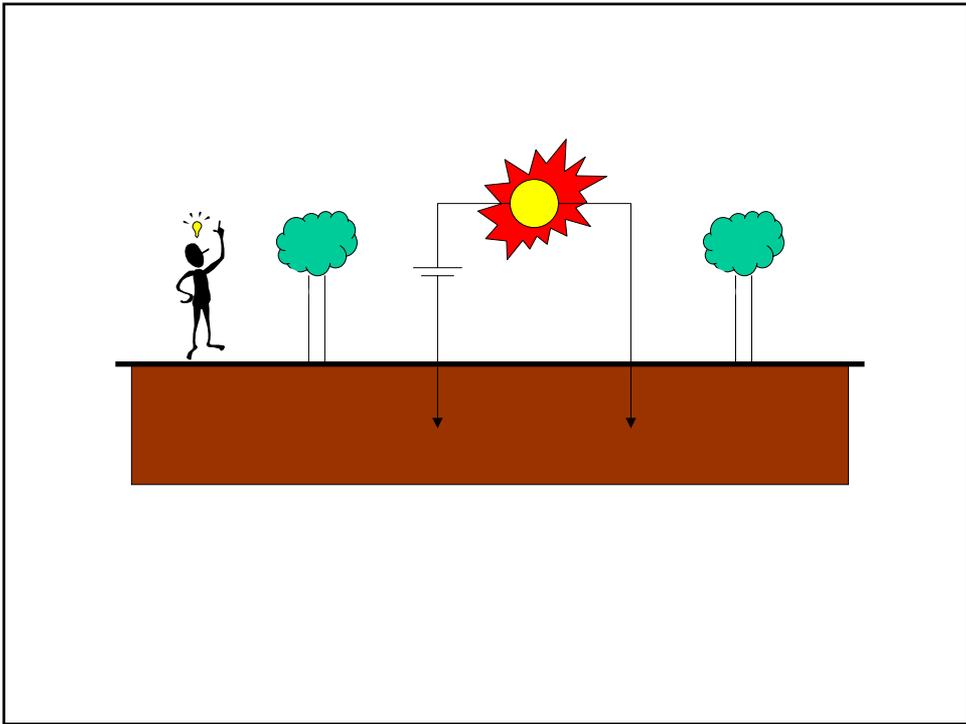




## Ruido por diferencias en las tomas de tierra

- Se produce cuando hay diferencias de tensión en las tomas de tierra del transmisor y receptor
- Se trata de un problema importante
- Puede producir problemas graves

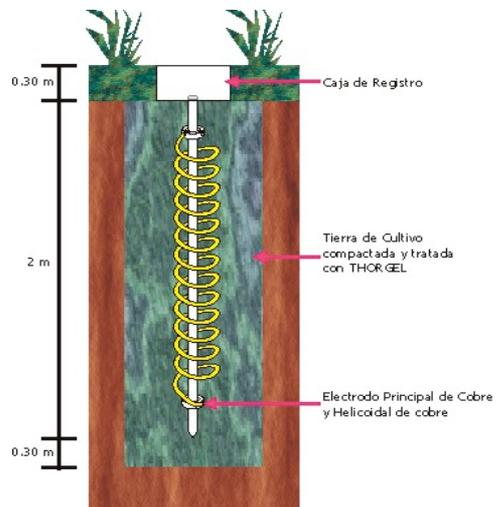


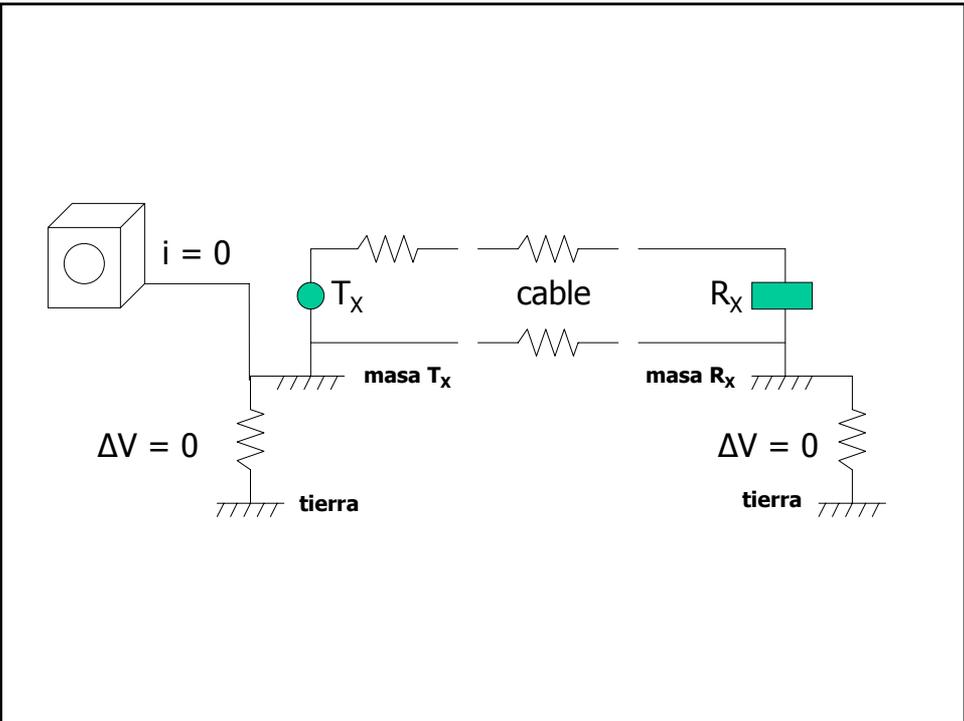
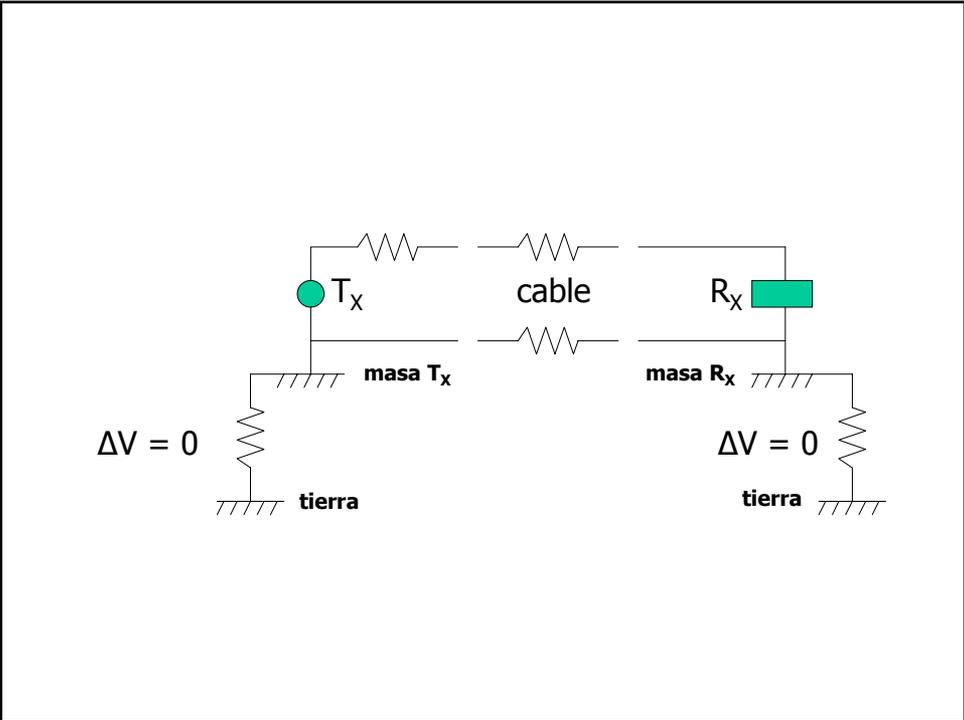


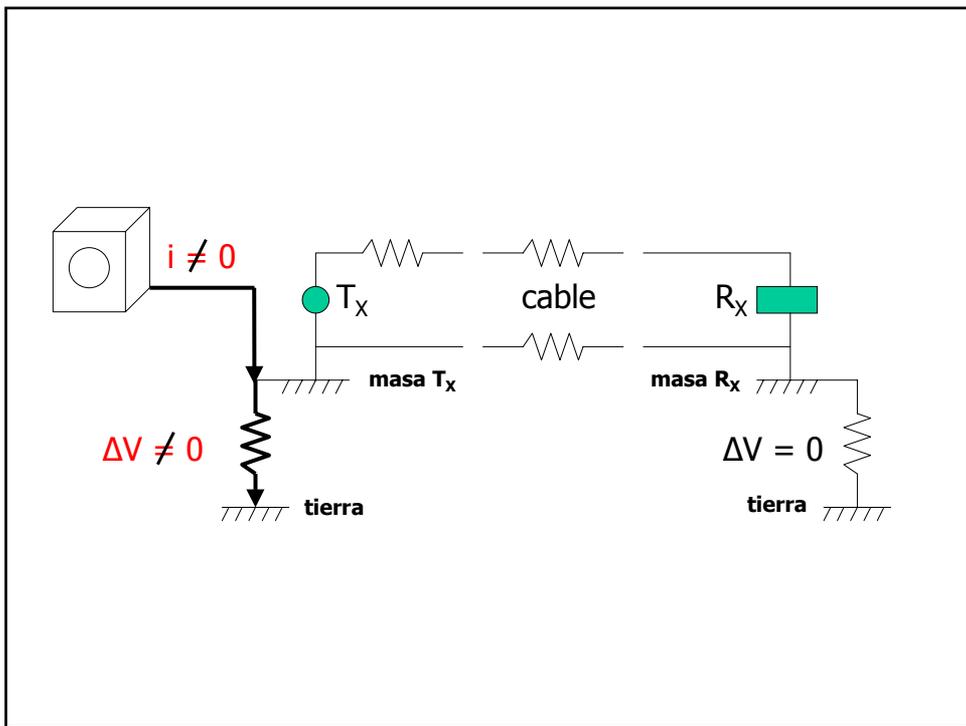
PLICAS:  
Cilindros metálicos  
grandes clavados en  
el suelo

$$R = \rho L/S$$

Tierra: S muy grande



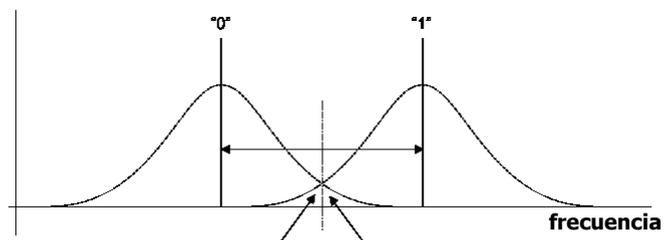




## Ruido de intermodulación

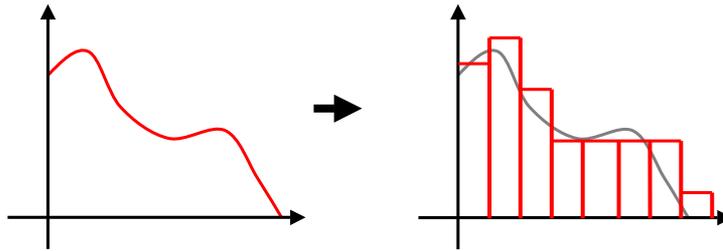
Está producido por la perturbación de un canal de comunicaciones sobre otro

Puede ocurrir al multiplexar varias señales en un mismo canal y superponerse algunos armónicos

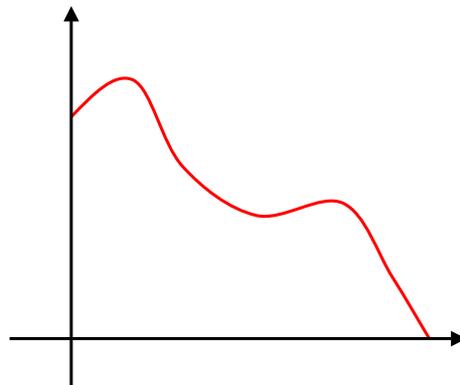


## Ruido de cuantización

Este ruido aparece al convertir una señal analógica en digital

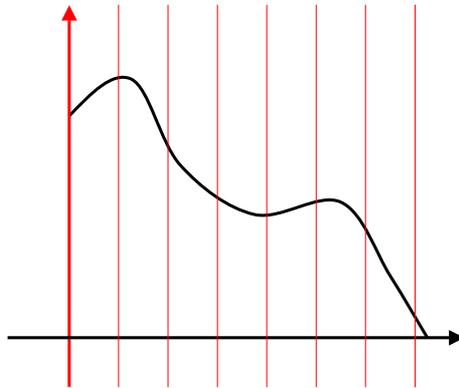


## Ruido de cuantización



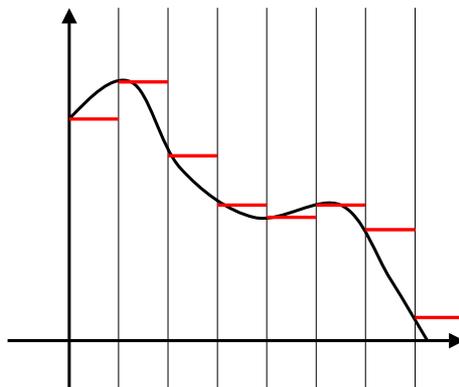
Señal analógica

## Ruido de cuantización



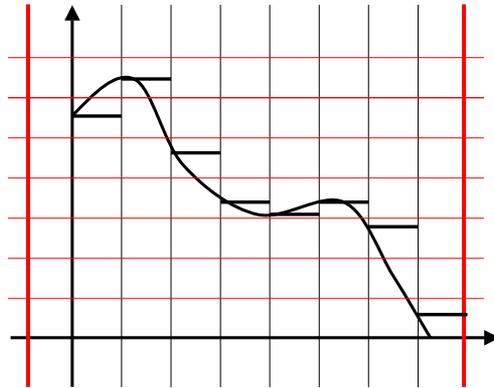
Intervalos de tiempo en que tomamos valores de la señal

## Ruido de cuantización



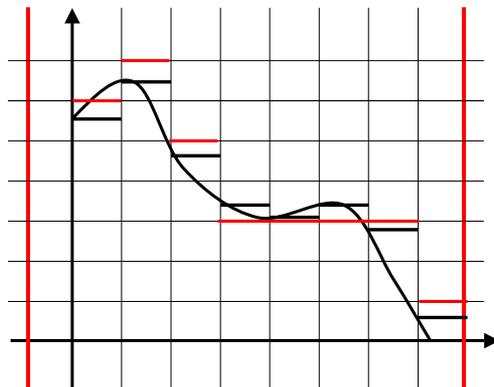
Valores tomados en esos instantes

## Ruido de cuantización



Valores permitidos (cuantizados)

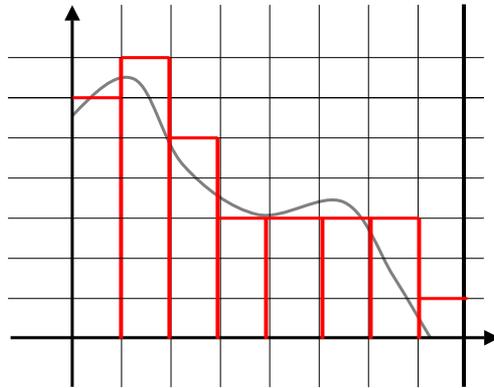
## Ruido de cuantización



Diferencia entre valor tomado y valor permitido más cercano:

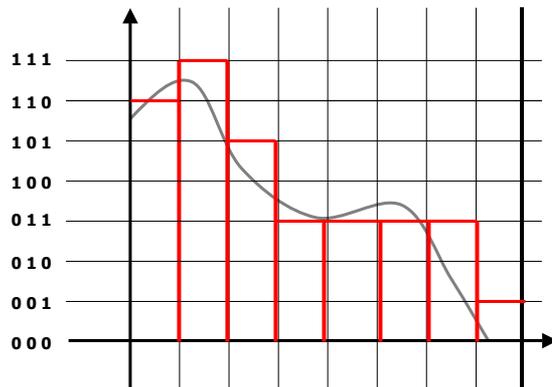
**RUIDO DE CUANTIZACIÓN**

### Ruido de cuantización



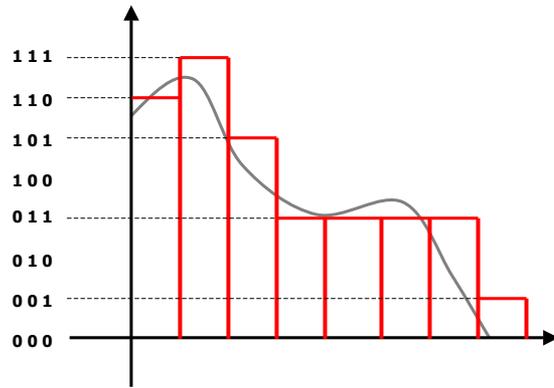
Señal cuantizada

### Ruido de cuantización



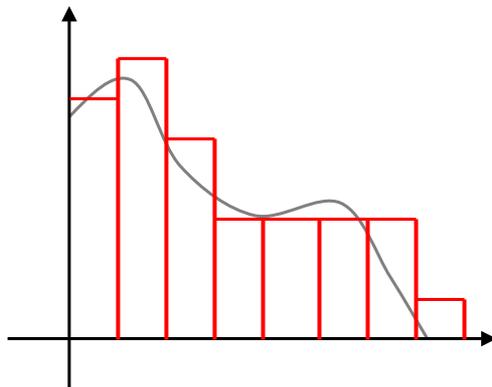
Señal digital

## Ruido de cuantización



Señal digital

## Ruido de cuantización



## Ruido AWGN

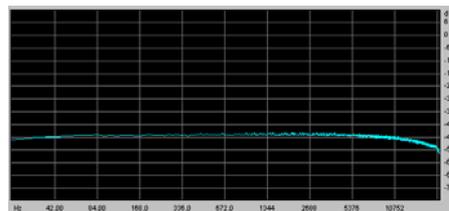
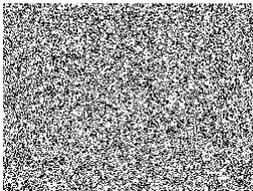
El ruido puede influir sobre la señal de varias maneras:

$$V_{\text{total}} = V_{\text{señal}} + V_{\text{ruido}}$$

$$V_{\text{total}} = K V_{\text{señal}} \cdot V_{\text{ruido}}$$

$$V_{\text{total}} = f(V_{\text{señal}}, V_{\text{ruido}})$$

## Ruido AWGN



Espectro de potencia del ruido blanco

Ruido Blanco: tiene componentes espectrales en un rango de frecuencias muy amplio, como la luz blanca, que está compuesta por la suma de todas las ondas del visible

## Ruido AWGN

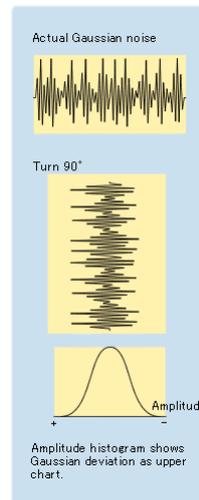
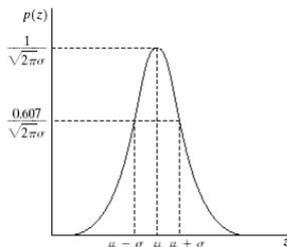
Desde el punto de vista estadístico, se puede considerar al ruido como una variable aleatoria y por tanto se describiría a partir de su función de densidad

Razones para suponer que un ruido es gaussiano:

- Se simplifica mucho los cálculos
- Teorema central del límite

## Ruido AWGN

$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(z-\mu)^2/2\sigma^2}$$

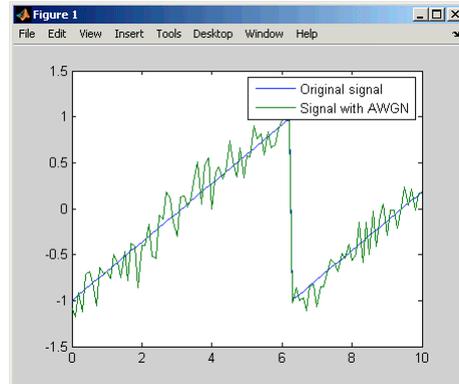


## Ruido AWGN

Ruido            ADITIVO  
+                BLANCO  
+                GAUSSIANO

---

Ruido            AWGN



AWGN === Aditive White Gaussian Noise

## Cociente SEÑAL/RUIDO (SNR)

El ruido se mide como tensión ( $v_{\text{ruido}}$ ) o como potencia (N)

La potencia absoluta del ruido no es significativa, por ello se define el "cociente señal (S) / ruido (N)"

$$\text{SNR} = S/N = \text{potencia de la señal} / \text{potencia del ruido}$$

También se puede obtener como:

$$\text{SNR} = A^2/\sigma^2 = (\text{amplitud señal})^2 / (\text{desviación típica ruido})^2$$

## Cociente SEÑAL/RUIDO (SNR)

Si SNR grande ==> la comunicación es buena

Si SNR es pequeño == > comunicación mala o imposible

Como cociente de potencia que es, se puede expresar en dB:

$$\text{SNR}|_{\text{dB}} = 10 \log_{10} (S/N)$$

Este cociente es muy importante, en comunicaciones digitales limita la velocidad máxima de transmisión en bps

$$C_{\text{bps}} = B \log_2 (1 + \text{SNR}) \quad \text{Teorema de Shannon}$$

## Cociente SEÑAL/RUIDO (SNR)

$$\text{SNR} = S/N$$

como  $E_b = S T_b$  -->  $S = E_b / T_b$  y  $N = N_0 B$

$$\text{SNR} = (E_b / T_b) / (N_0 B) = (E_b / N_0)(V_{\text{bps}} / B)$$

Por tanto SNR aumenta si  $E_b / N_0$  aumenta

FACTOR DE RUIDO: Nos dice cómo de ruidoso es un dispositivo

$$F = \text{SNR}_{\text{ent}} / \text{SNR}_{\text{sal}} ; F_{\text{dB}} = 10 \log_{10} (\text{SNR}_{\text{ent}} / \text{SNR}_{\text{sal}})$$

(Figura de ruido)

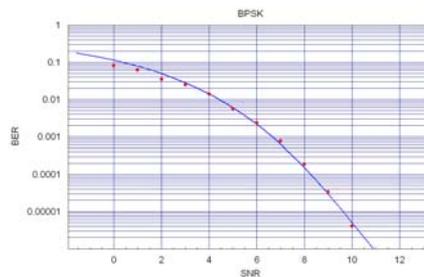
Si  $F = 1$  --> Dispositivo ideal, no añade ruido alguno -->  $F_{\text{dB}} = 0$

**Medidor de Ruido  
8970B  
Hewlett Packard**



Instrumento que sirve para medir la figura de ruido de componentes o dispositivos activos. (Amplificadores, mezcladores, receptores, etc.)  
Funciona hasta una frecuencia de 1.5 GHz.

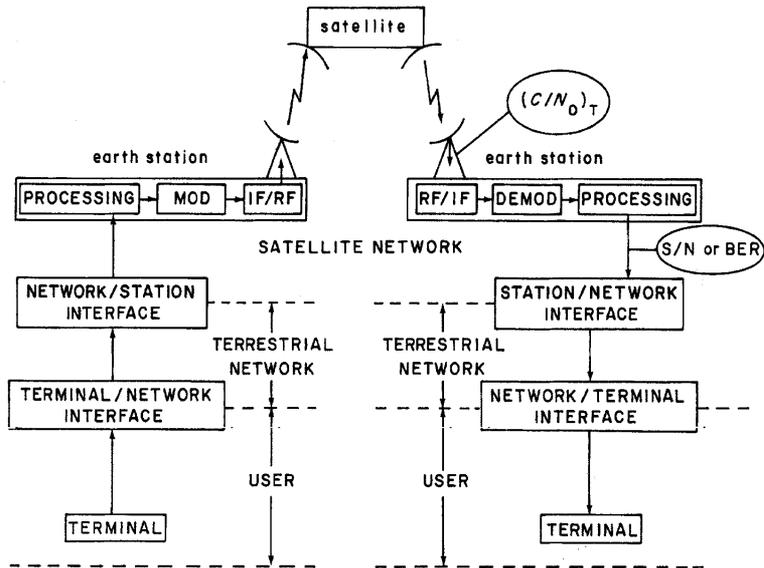
**B.E.R. (Bit Error Rate)**



**BER = n° de bits erróneos / n° de bits totales transmitidos**

- Nos da la probabilidad de que se cometa un error al transmitir un bit
- Interesa que tenga valores muy bajos
- A medida que el SNR aumenta, el BER disminuye y viceversa

## B.E.R. (Bit Error Rate)



## Medidor de BER

