

# Modelo para las Comunicaciones y Transmisión de Datos

**Mg. Gabriel H. Tolosa**

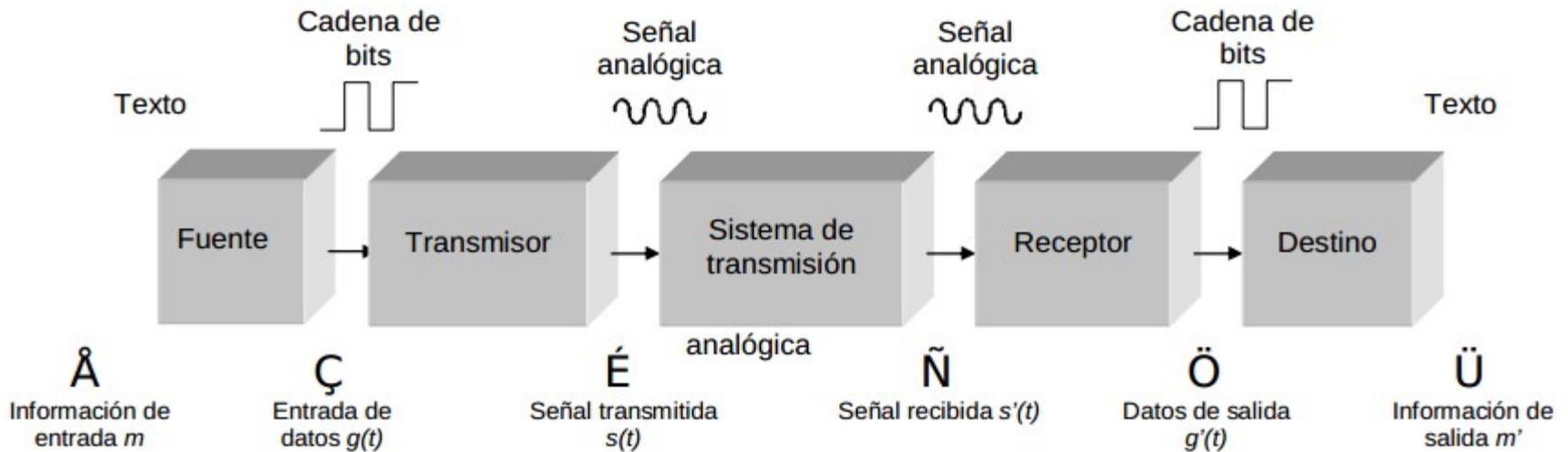
[tolosoft@unlu.edu.ar](mailto:tolosoft@unlu.edu.ar)

**"You see, wire telegraph is a kind of a very, very long cat. You pull his tail in New York and his head is meowing in Los Angeles. Do you understand this? And radio operates exactly the same way: you send signals here, they receive them there.**

**The only difference is that there is no cat"**

**Albert Einstein**

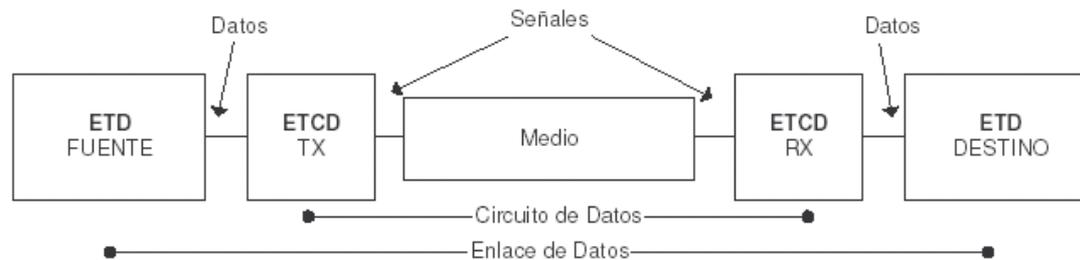
# Modelo para las Comunicaciones



- **Transmisor, Tx (Fuente):** Computadora, Camara IP, micrófono, sensor
- **Receptor, Rx (Destino):** Computadora, Fax
- **Medios:** Cobre, FO, coaxil, espacio (wireless)
- **Interfaces:** Serie, paralelo, Ethernet

# Modelo para las Comunicaciones

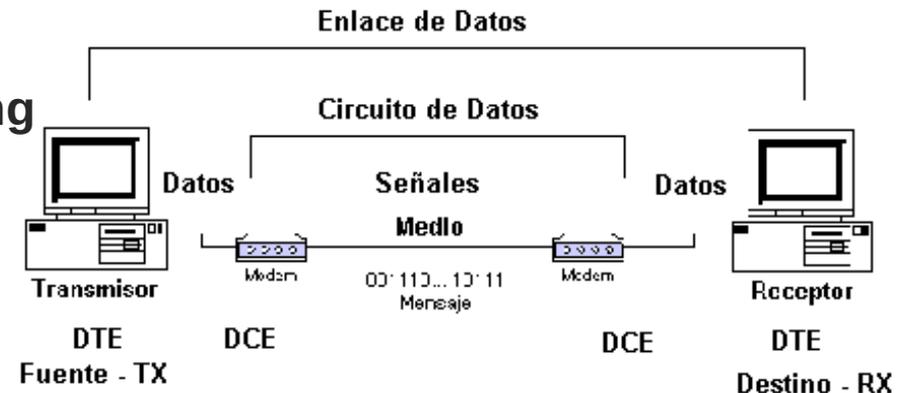
## Diagrama de bloques



### ETD (DTE, Data Terminal Equipment):

Genera los datos a transmitir o recibe los transmitidos. Es fuente o destino.

ETCD (DCE, Data Circuit-Terminating Equipment): Convierte los datos en señales que pueden "viajar" por el medio o viceversa.



# Modelo para las Comunicaciones

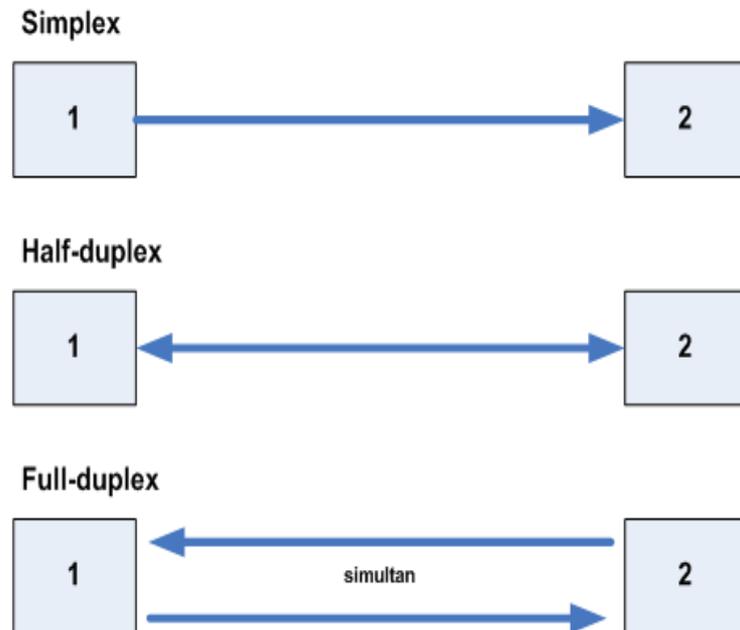
## ■ Modos de transmisión

Hacen referencia a la direccionalidad y simultaneidad en la TX de datos.

- **Simplex**: La transmisión solo ocurre en un sentido (Por ej., la transmisión de radio)

- **Half-Duplex**: La transmisión ocurre en ambos sentidos, pero uno por vez (Por ej., la transmisión con handies)

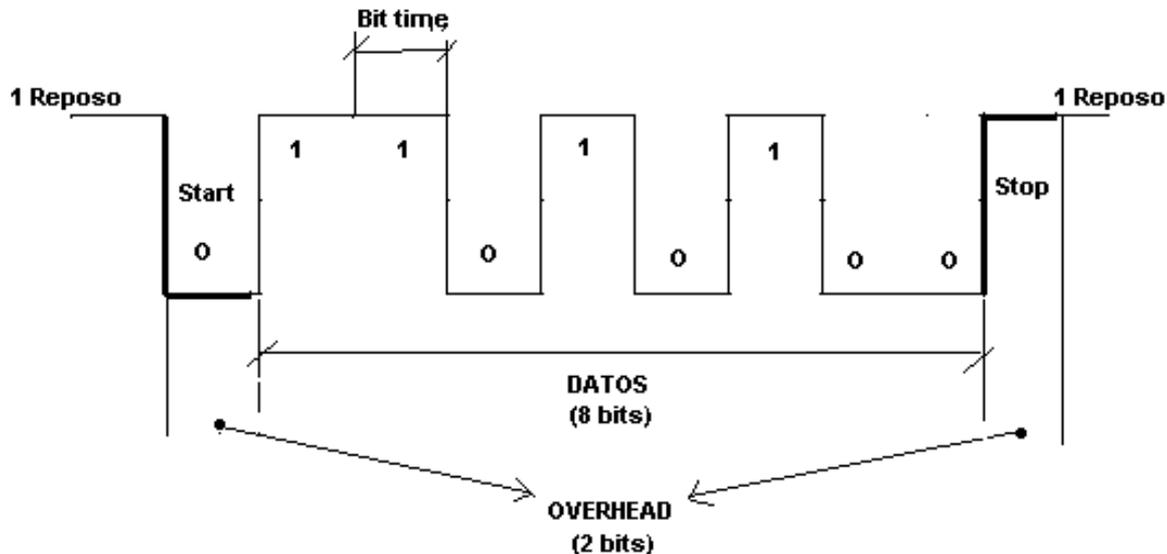
- **Full-Duplex**: La transmisión ocurre en ambos sentidos, de forma simultánea (Por ej., el teléfono)



# Modelo para las Comunicaciones

## Tipos de transmisión

- **Asincrónica:** Se transmite o se recibe un carácter por vez, bit por bit, añadiéndole bits de inicio (start), de fin (stop) y de control (parity). El receptor puede recibir un carácter en **cualquier instante** de tiempo.



# Modelo para las Comunicaciones

## ■ Tipos de transmisión

- **Sincrónica:** Se envía un **grupo de caracteres** como un flujo continuo de bits. Para lograr la **sincronización** entre receptor y transmisor:
  - Ambos comparten una **señal de reloj** que se usa para establecer la velocidad de transmisión de datos y para habilitar los dispositivos conectados
  - Se envían un grupo de caracteres especiales de **síncronía** (preámbulo).
  - Ejemplo, Trama Ethernet

<b>Preámbulo</b>	<b>Destino</b>	<b>Origen</b>	<b>Ctrl</b>	<b>Datos</b>	<b>CRC</b>
------------------	----------------	---------------	-------------	--------------	------------

# Transmisión de Datos

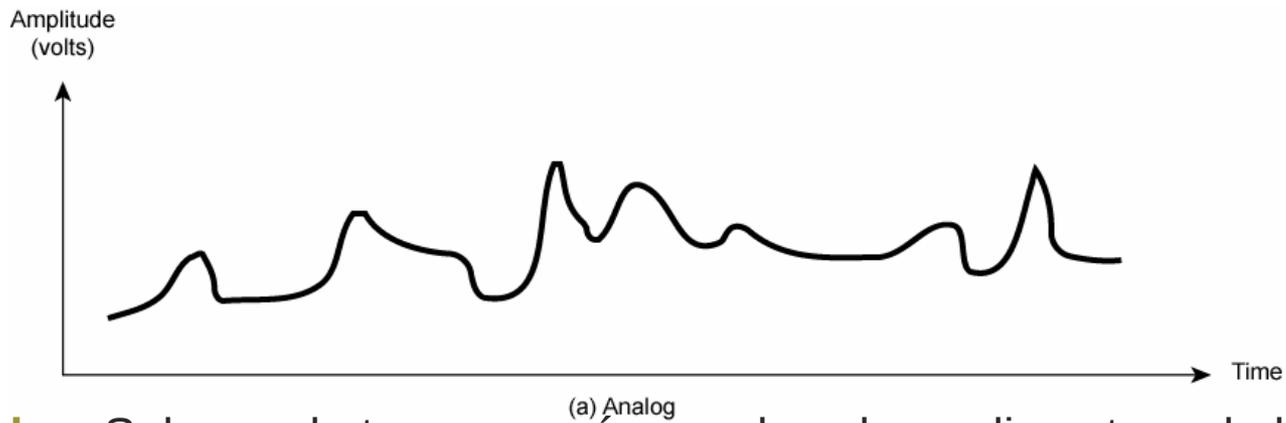
## ■ Algunos conceptos

- La información se puede representar mediante **SEÑALES** electromagnéticas para transmitirse por un **MEDIO**.
- Una **SEÑAL** es una variación de un fenómeno físico (voltaje, luz) en el tiempo.
- Una **ONDA** es una perturbación física que transmite energía.
  - Mecánicas: Se desplazan sobre materia (agua, aire)
  - Electromagnéticas: Se desplazan en el vacío.
- Físicamente, para transmitir 1 bit se podría utilizar:
  - Un par de cobre y dos niveles de voltaje alto (0) y bajo (1).
  - Una fibra óptica y una señal luminosa.
  - Una onda de alta frecuencia en el espacio.

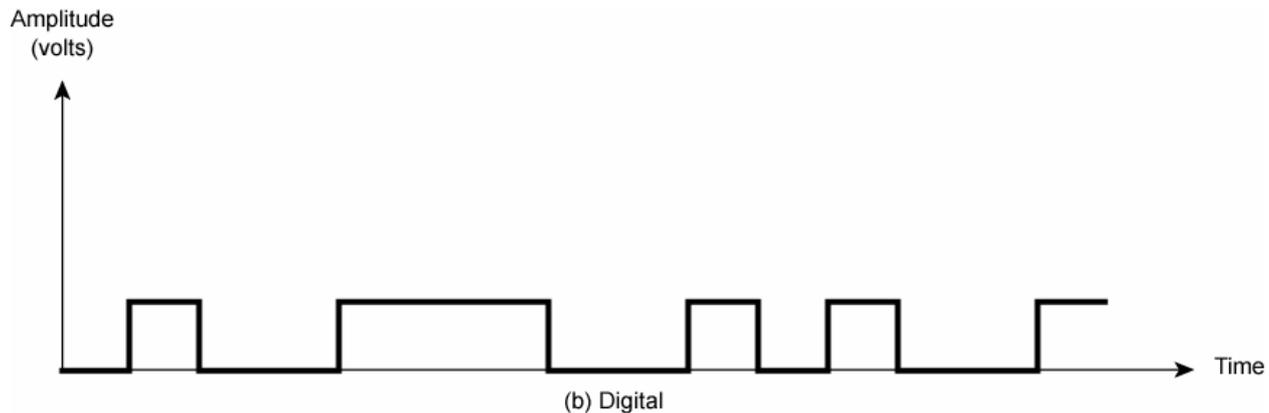
# Transmisión de Datos

## ■ Señales

- **Analógicas:** Su variación es continua en el tiempo.



- **Digitales:** Solo puede tomar un número de valores discretos a lo largo del tiempo.



# Transmisión de Datos

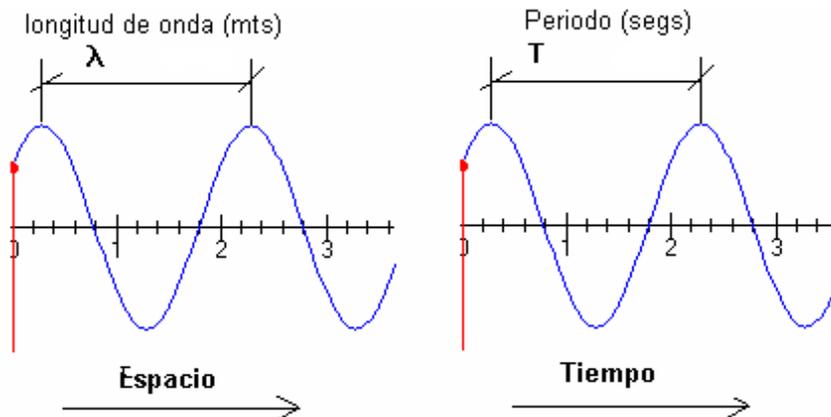
## ■ Señales periódicas

### Tres parámetros

- **Amplitud (A):** Valor máximo que toma (voltaje)
- **Frecuencia (f):** Razón a la que la señal se repite (Hz o ciclos/s)
- **Fase ( $\Phi$ ):** Medida de la posición relativa de la señal dentro de un ciclo

Luego,

- **Período (T):** Tiempo entre dos repeticiones.  $T = 1 / f$
- **Longitud de onda ( $\lambda$ ):** Distancia que “ocupa” un ciclo.  $\lambda = vT$

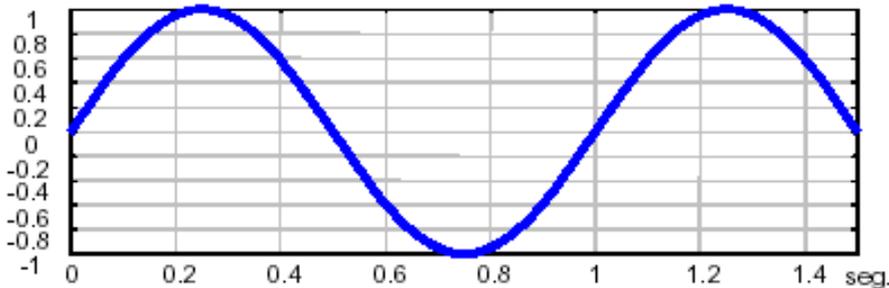


# Transmisión de Datos

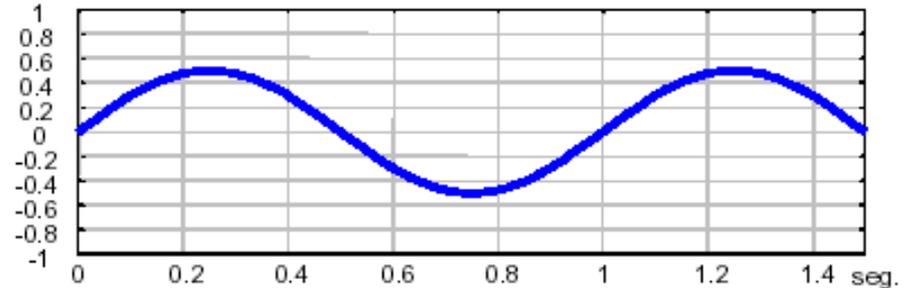
## ■ Caso típico, la onda $\sin(\Phi)$

- Expresión:  $s(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$

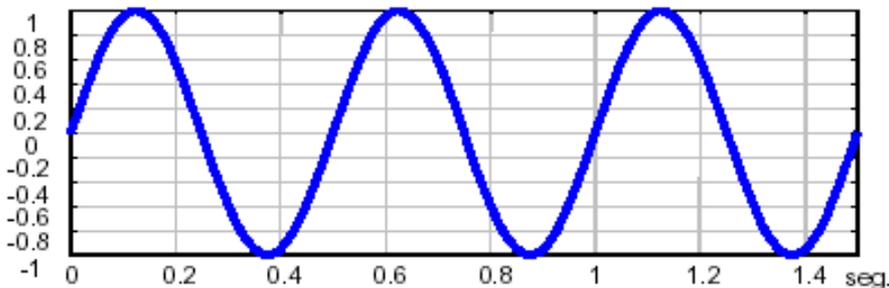
$$A=1, f=1, \phi=0$$



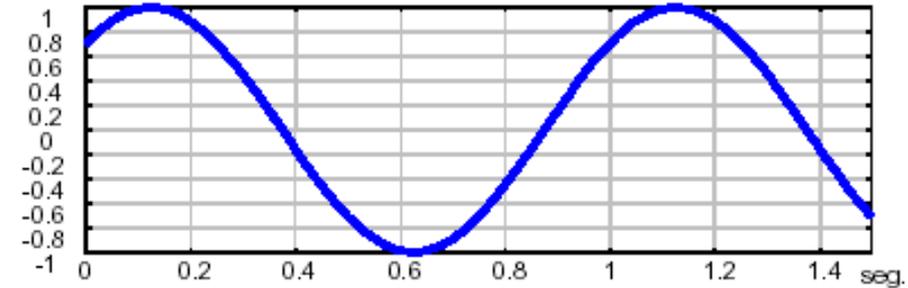
$$A=0.5, f=1, \phi=0$$



$$A=1, f=2, \phi=0$$



$$A=1, f=1, \phi=\pi/4$$

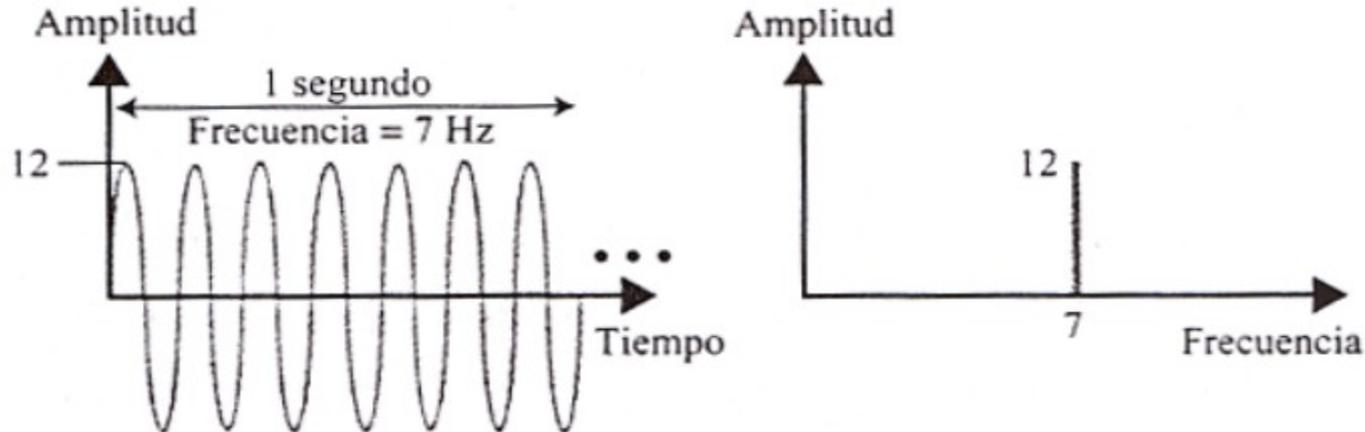


# Transmisión de Datos

## ■ Representación de Señales

Una misma señal puede ser representada de 2 formas:

- En el dominio del tiempo  $s(t) \Rightarrow$  representación cartesiana
- En el dominio de la frecuencia  $S(f) \Rightarrow$  representación espectral

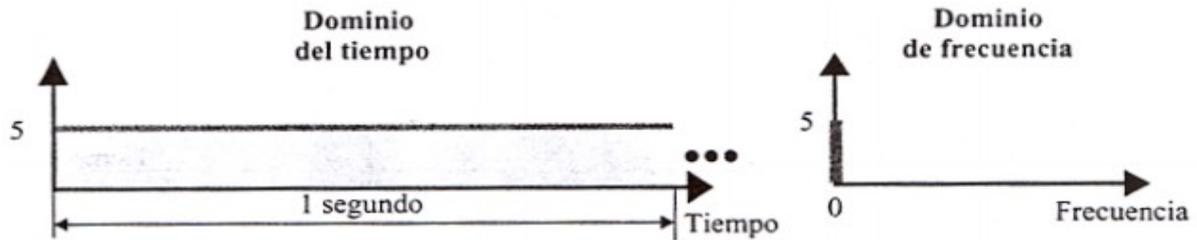


Ambas representaciones implican una misma realidad física.

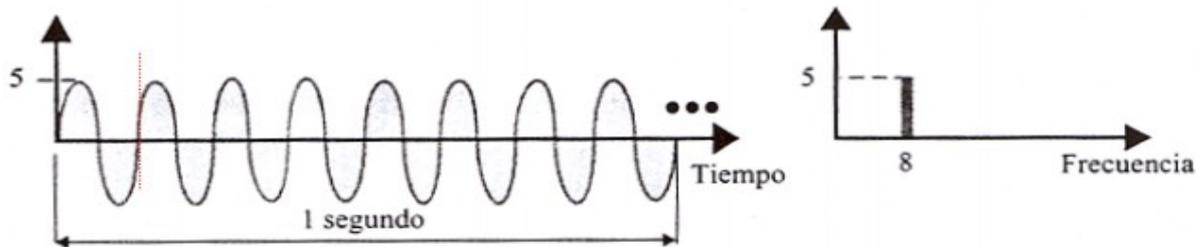
Todas las señales son funciones reales y, por tanto, las transiciones son continuas en el tiempo (aunque puedan ser muy rápidas).

# Transmisión de Datos

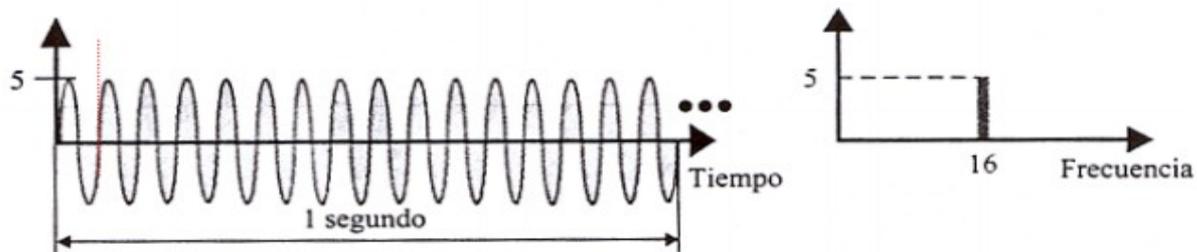
## ■ Representación de Señales: Ejemplo



a. Una señal con frecuencia 0



b. Una señal con frecuencia 8

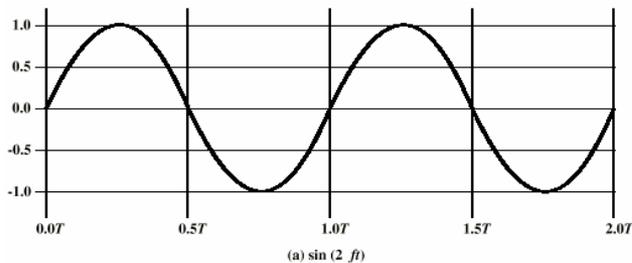


c. Una señal con frecuencia 16

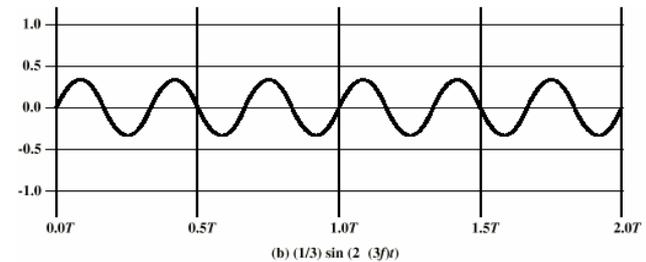
# Transmisión de Datos

## Análisis de Fourier

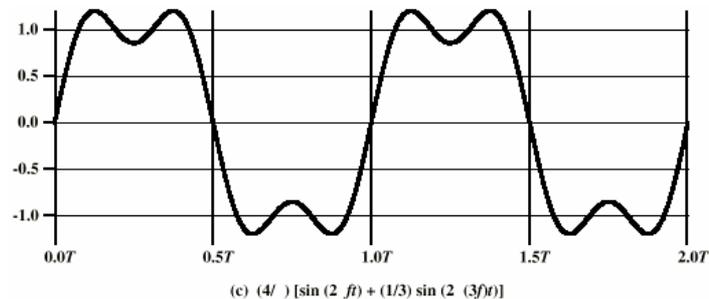
“Cualquier señal periódica está constituida por componentes sinusoidales de diferentes frecuencia, donde cada una posee valores propios de  $A$ ,  $f$  y  $\Phi$ .”



+



=



# Transmisión de Datos

## ■ Análisis de Fourier

- Señales periódicas (suma finita):

$$s(t) = C_0 + C_1 \sin(2\pi f_1 t + \varphi_1) + C_2 \sin(2\pi f_2 t + \varphi_2) + \dots + C_n \sin(2\pi f_n t + \varphi_n)$$

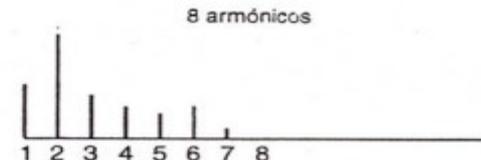
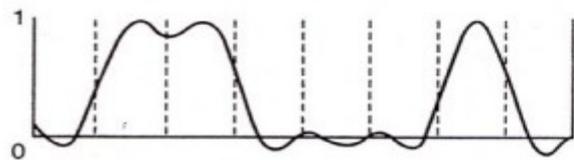
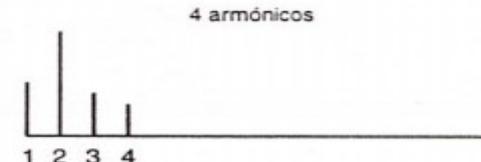
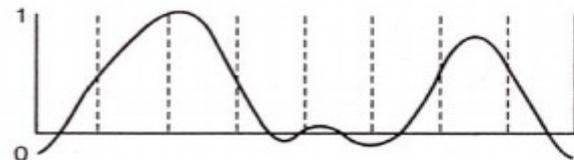
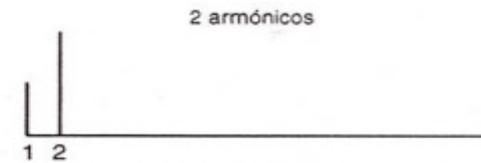
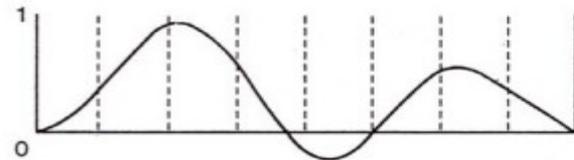
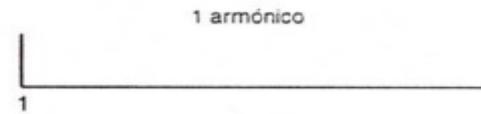
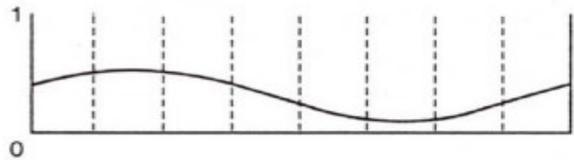
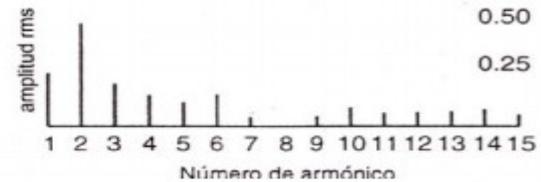
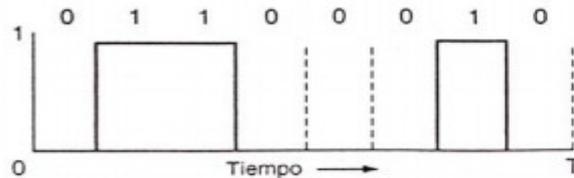
- Señales no periódicas (suma infinita):

$$S(f) = \int s(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad S(f) = \int s(t) e^{j2\pi ft} dt$$

Cuantos más sumandos se consideren, más se parecerá la señal  $s(t)$  a la señal que queremos representar.

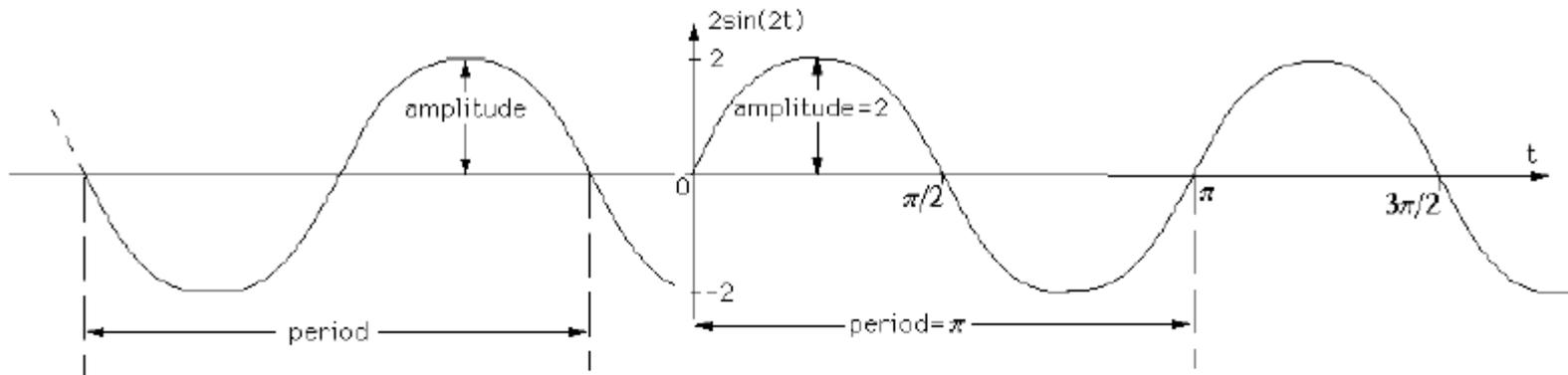
# Transmisión de Datos

## ■ Análisis de Fourier: Ejemplo



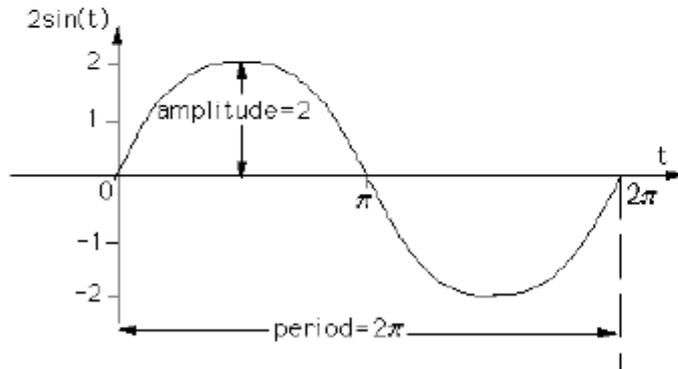
# Transmisión de Datos

## ■ Análisis de Armónicos

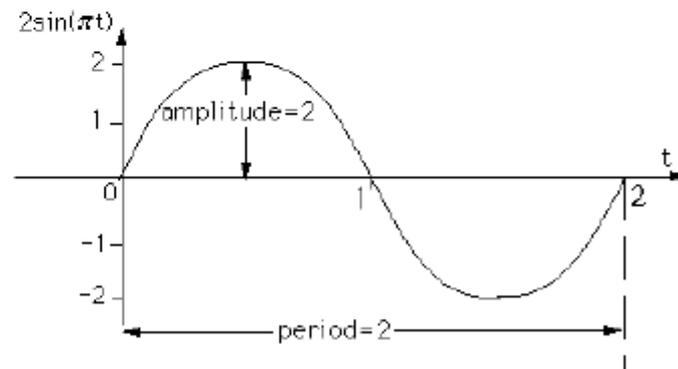


a)  $\sin(t)$

c)  $2\sin(2t)$



b)  $2\sin(t)$



d)  $2\sin(\pi t)$

# Transmisión de Datos

## ■ Análisis de Armónicos



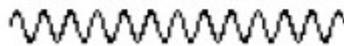
- a square wave can be made by adding...



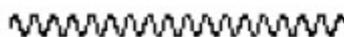
- the fundamental...



- minus 1/3 of the third harmonic



- plus 1/5 of the fifth harmonic...

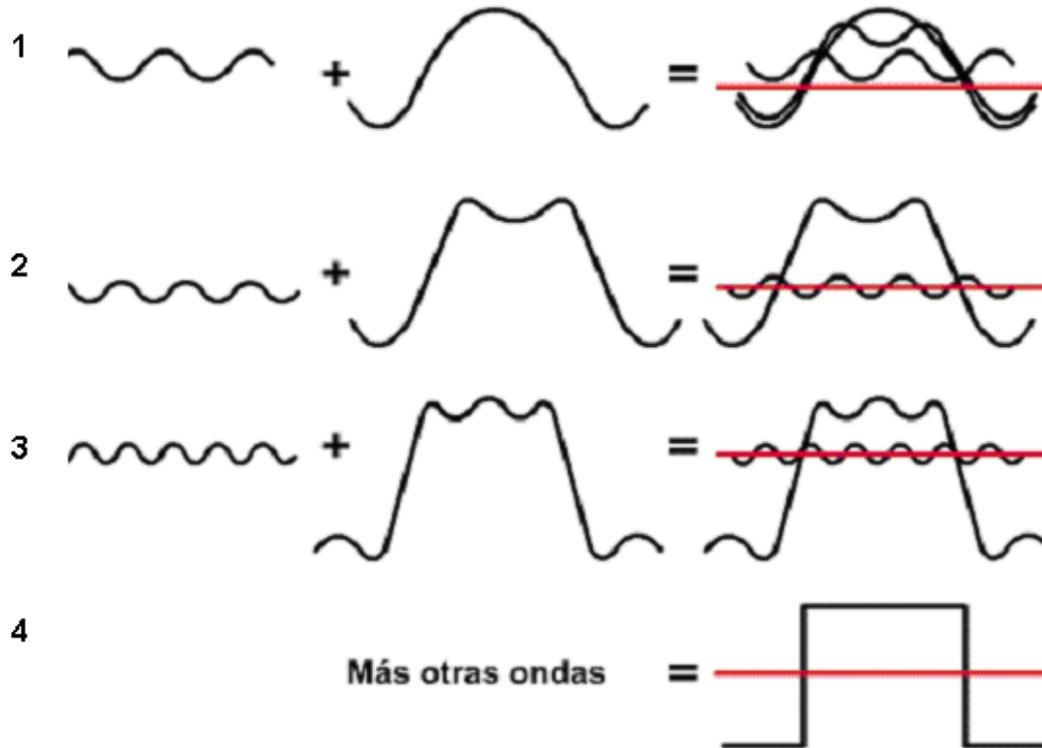


- minus 1/7th of the 7th harmonic...



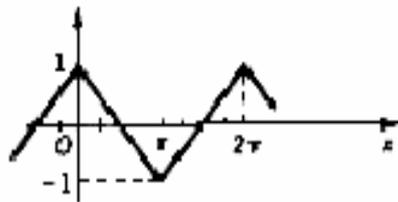
# Transmisión de Datos

## ■ En detalle



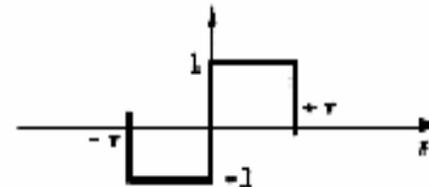
# Transmisión de Datos

## En detalle



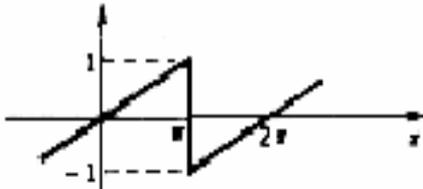
Triangular wave:

$$\frac{8}{\pi^3} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^3} \cos(2n+1)x$$



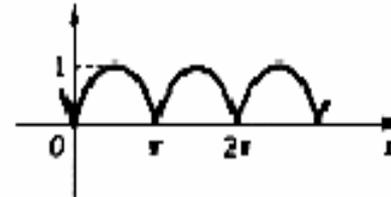
Square wave:

$$\frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{2n+1} \sin(2n+1)x$$



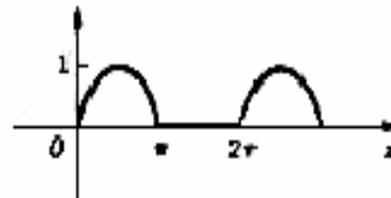
Rectangular sawtooth wave:

$$\frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \frac{1}{n} \sin nx$$



Absolute value sine wave:

$$\frac{2}{\pi} - \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{4n^2-1} \cos 2nx$$



Half sine wave:

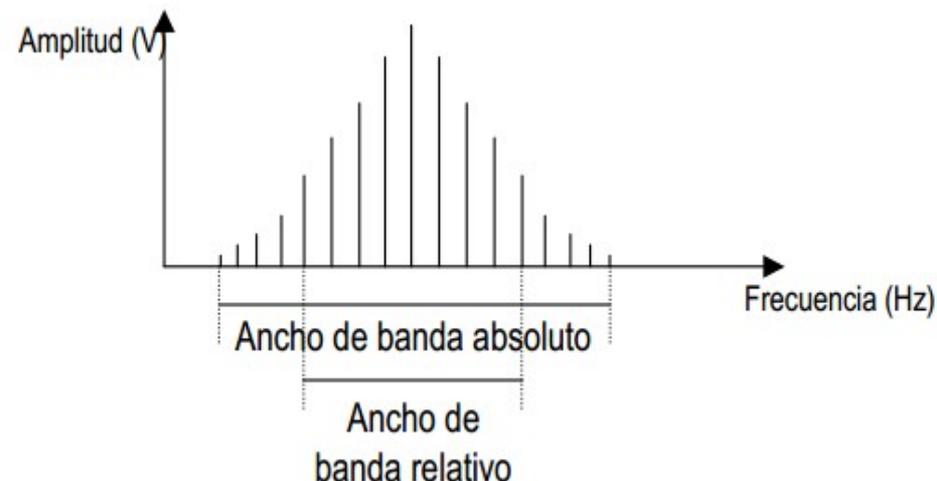
$$\frac{1}{\pi} + \frac{1}{2} \sin x - \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{4n^2-1} \cos 2nx$$

# Transmisión de Datos

## Definiciones

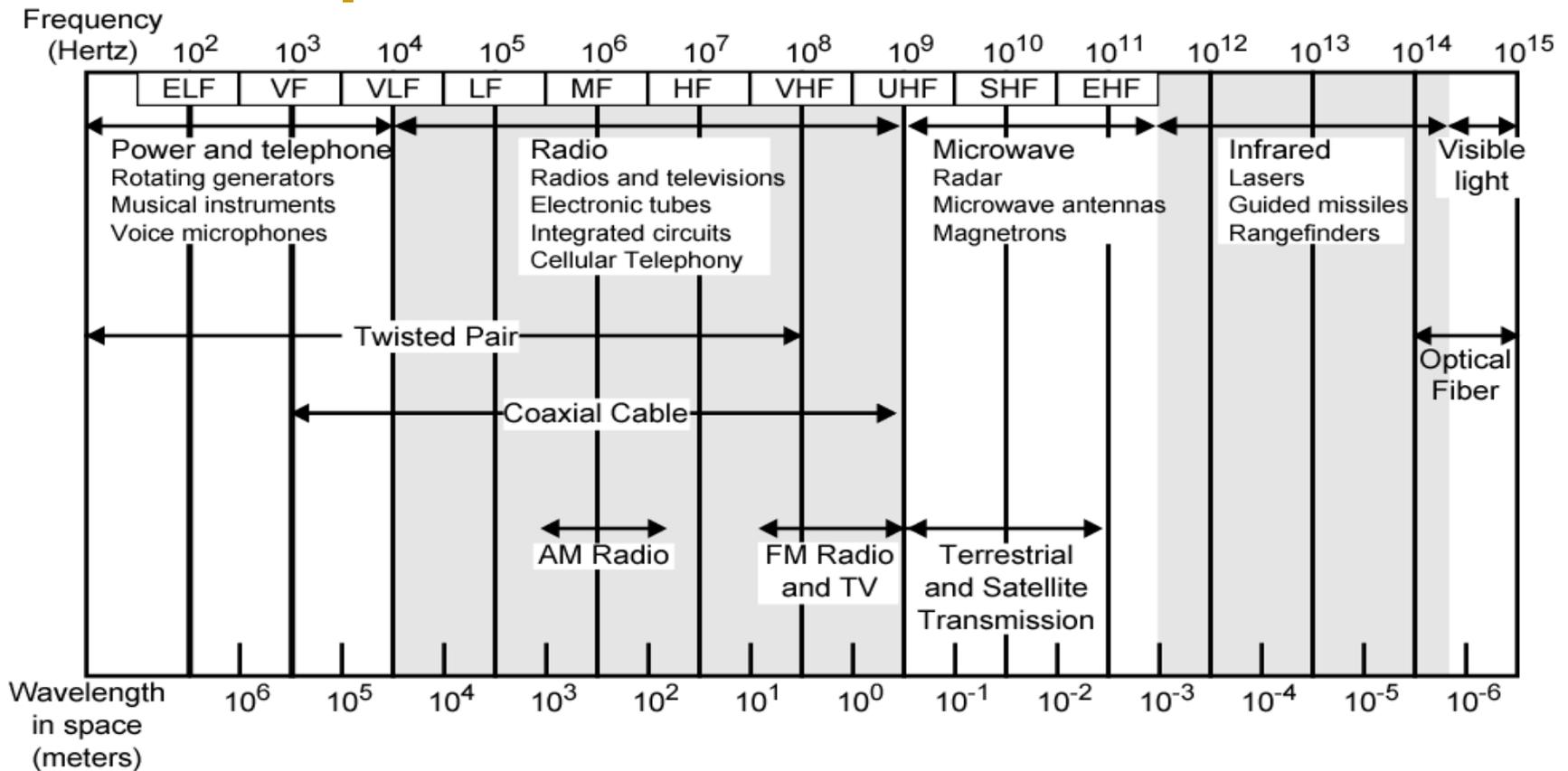
- **Espectro de una señal:** Conjunto de frecuencias que la constituyen.
- **Ancho de banda absoluto:** "Ancho" del espectro,  $f_{\max} - f_{\min}$
- **Ancho de banda efectivo:** "Ancho" del conjunto de frecuencias donde se concentra la mayor energía.

**Ejemplo:** El espectro de un canal telefónico corresponde a las frecuencias entre los 300 y 3400 Hz. Por lo tanto, su ancho de banda es de 3100 Hz ( $3400 - 300$ )



# Transmisión de Datos

## El espectro de frecuencias



ELF = Extremely low frequency  
 VF = Voice frequency  
 VLF = Very low frequency  
 LF = Low frequency

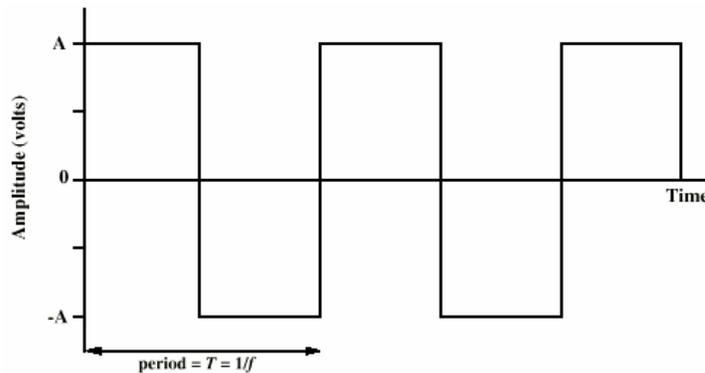
MF = Medium frequency  
 HF = High frequency  
 VHF = Very high frequency

UHF = Ultrahigh frequency  
 SHF = Superhigh frequency  
 EHF = Extremely high frequency

# Transmisión de Datos

Habitualmente, se utiliza el concepto de **ancho de banda** como sinónimo de **velocidad de transmisión**. Formalmente, son conceptos diferentes, pero se encuentran relacionados.

Dada:



Si cada pulso dura  $\frac{1}{2} f \rightarrow$

Velocidad de transmisión =  $2f$  bps

Si  $f = 1$  Hz, cada bit aparece cada 0.5 seg, con lo que obtenemos 2 bps.

**“La relación indica que para obtener una mayor velocidad de transmisión de requiere mayor ancho de banda”**

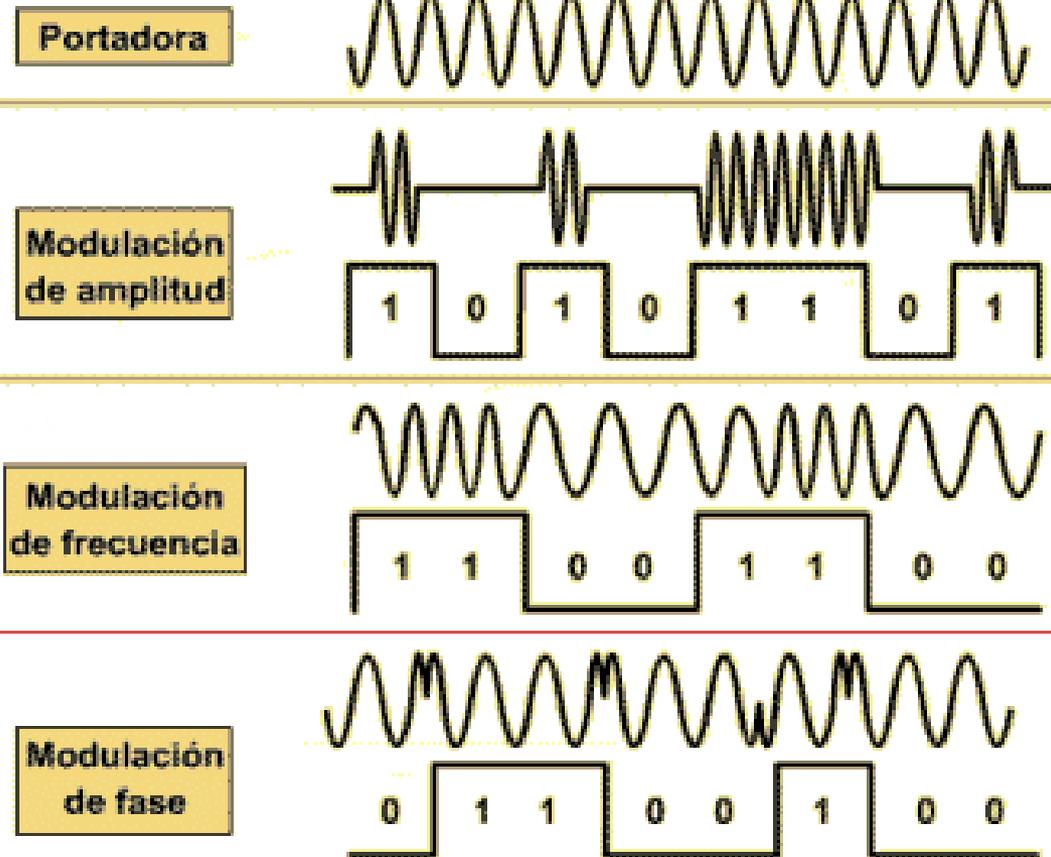
(de forma directa, es decir, sin utilizar técnicas adicionales)

# Transmisión de Datos

## Usando señales analógicas

**Modulación:** Alteración sistemática de algún/os parámetro/s de una onda portadora de acuerdo al mensaje.

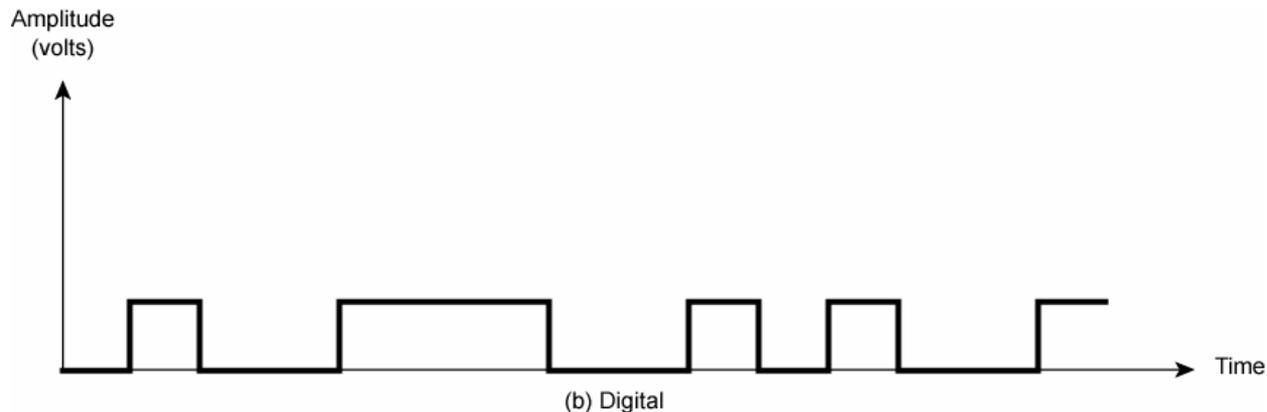
La señal modulada se transmite por un canal analógico. En el extremo receptor se realiza el proceso inverso.



# Transmisión de Datos

## ■ Usando señales digitales

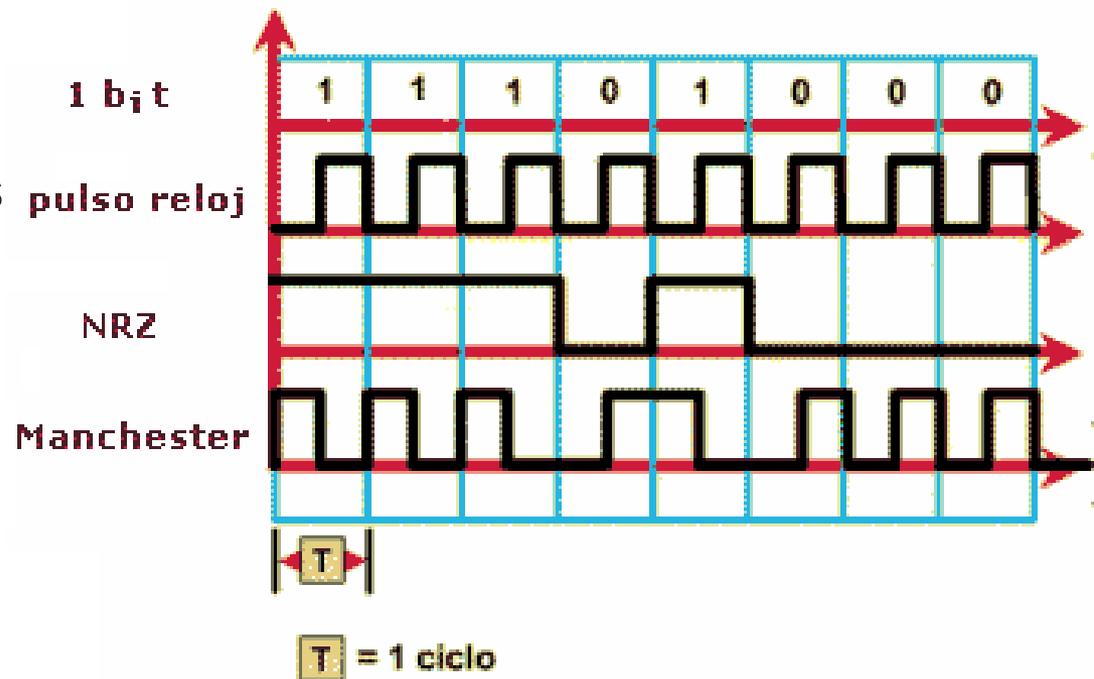
- Se transmiten bits en lugar de una señal continua.
- Las variaciones de voltaje en el tiempo muestran una variación discreta (pulsos)
- Señal típica de la tecnología (no de la naturaleza)
- Está compuesta por varias ondas sinusoidales que forman una onda cuadrada.



# Transmisión de Datos

## Usando señales digitales

**Codificación:** Técnica utilizada a los efectos de preparar los datos entregados por una fuente para que sean transmitidos utilizando un canal digital. Al codificar, los bits se convierten por ejemplo en un pulso eléctrico en un cable, un pulso luminoso en una fibra óptica o un pulso de ondas electromagnéticas en el espacio.



# Transmisión de Datos

## ■ Problemas asociados a las señales

**Atenuación:** Pérdida de energía a medida que se incrementa con la distancia. En el éter, también influyen las condiciones atmosféricas. Requiere la utilización de amplificadores.

**Ruido:** Señales no deseadas que se insertan en la transmisión original.

- **Térmico:** Agitación de electrones. No se puede eliminar.
- **De Intermodulación:** Señales de diferentes frecuencias que comparten el mismo medio.
- **Diafonía:** Acoplamiento entre distintas líneas.
- **Impulsivo:** Perturbaciones electromagnéticas en picos o ráfagas producidas aleatoriamente por el clima o problemas en el sistema de transmisión.

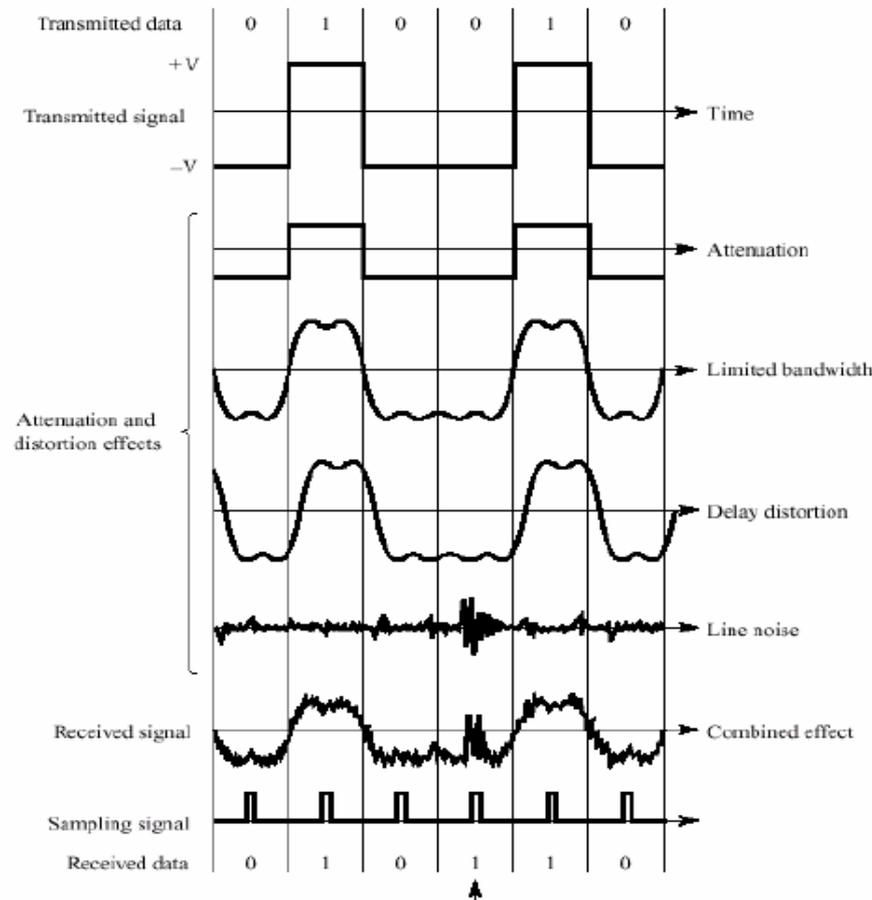
# Transmisión de Datos

## ■ Problemas asociados a las señales

■ Para señales analógicas se utilizan **AMPLIFICADORES** que “inyectan” energía en la señal debilitada.

■ Pero también amplifican el ruido!!!

■ Para señales digitales se utilizan **REPETIDORES**, los cuales interpretan los datos y regeneran la señal debilitada. Esto permite que el ruido y otras distorsiones NO sean acumulativos.

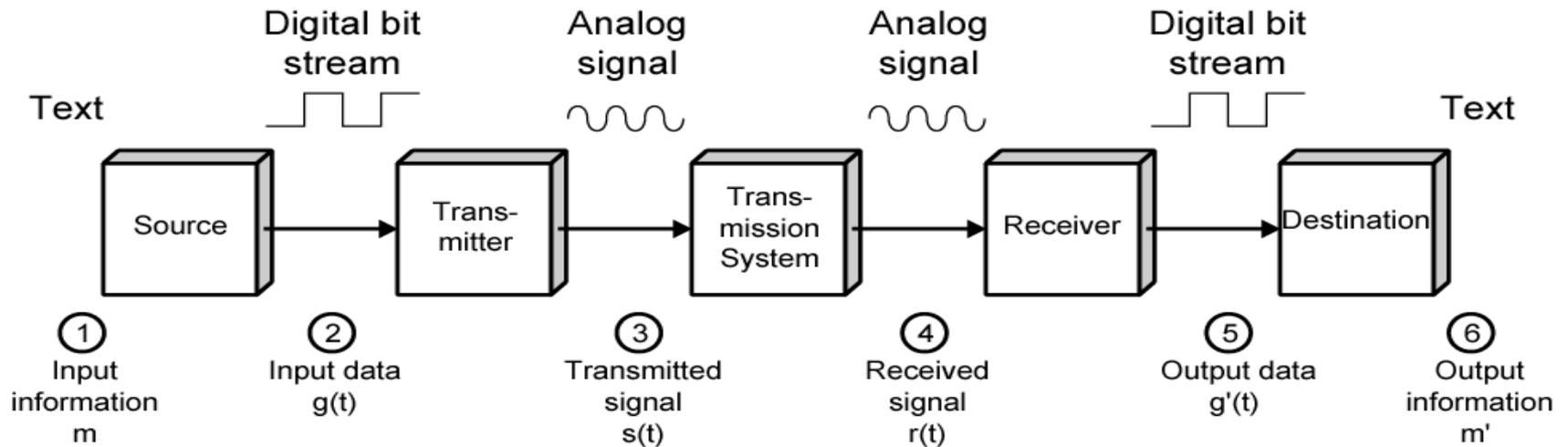


# Transmisión de Datos

- **Hoy predomina la transmisión digital!!!**
  - Una señal digital se puede transmitir a cierta distancia (que asegure que el Rx reconozca 0s y 1s). Luego, un repetidor la regenera tal como la original.
  - **Motivos:**
    - Reducción en el tamaño y costo de los componentes (integración a escala)
    - Calidad (integridad) de los datos
    - Mejor aprovechamiento del espectro (TDM) → Gestión de costos más eficiente
    - Posibilidad de encriptar la información
    - Integración con diversos sistemas de procesamiento de datos

# Transmisión de Datos

## Conversión de datos a señales



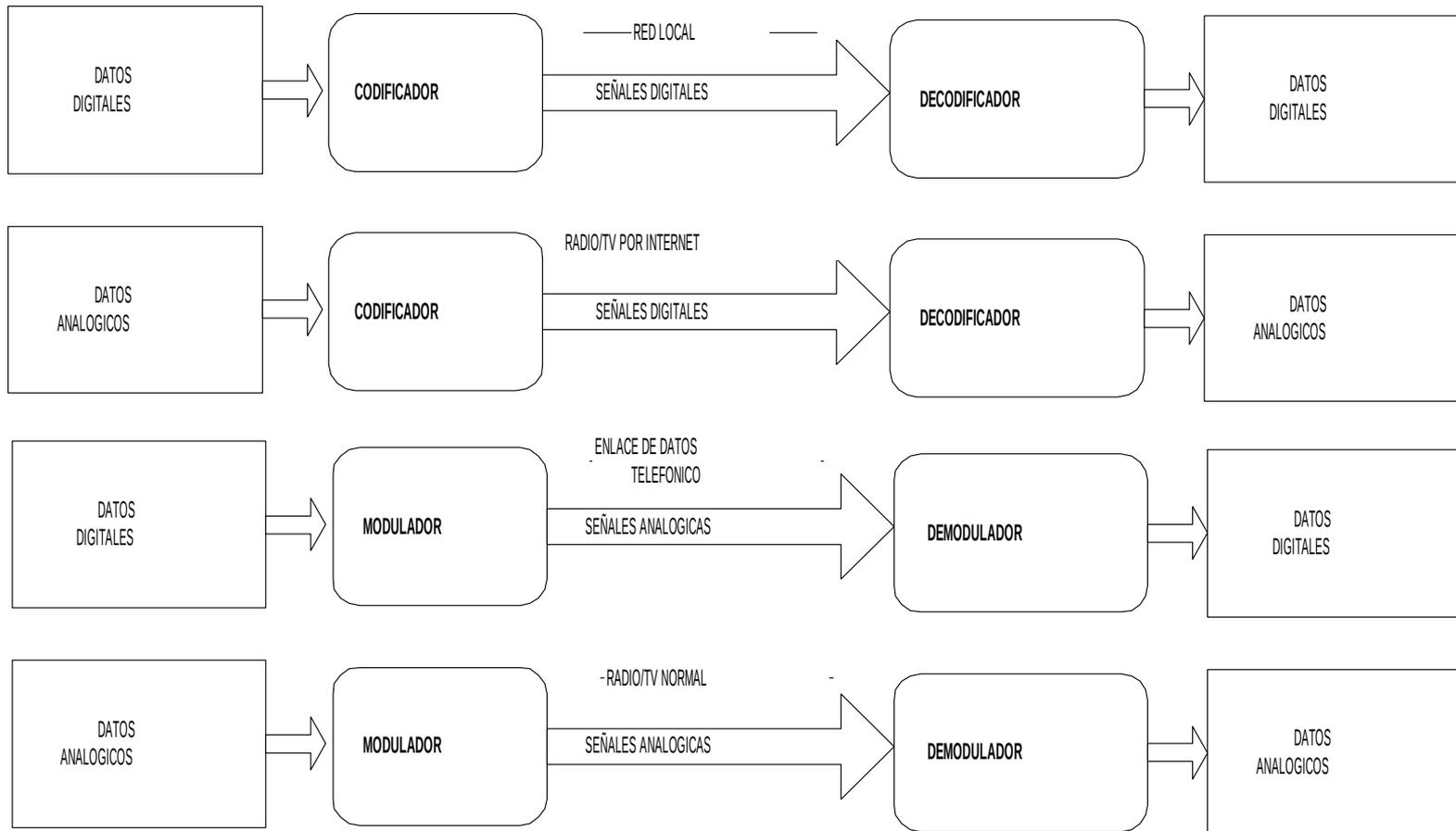
# Transmisión de Datos

## ■ Conversión de datos a señales

- **Digital a Digital:** Representación de bits en sobre una señal digital. Codificación. Por ejemplo, transmisión en una red local.
- **Analógico a Digital:** Representación de datos analógicos en una señal digital. Por ejemplo, el sistema telefónico actual utiliza sistemas digitales para transmitir la voz humana.
- **Digital a Analógico:** Representación de bits en sobre una señal analógica. Modulación. Por ejemplo, la transmisión de datos desde una computadora por una línea de teléfono.
- **Analógico a Analógico:**. Radio (tradicional) AM.

# Transmisión de Datos

## ■ Conversión de datos a señales



# Transmisión de Datos

## ■ Capacidad del Canal

“Corresponde a la velocidad máxima a la que se pueden transmitir datos por un canal”

### Cuestiones

- Los medios poseen propiedades físicas limitadas
- El ancho de banda de un canal “real” es finito
- Siempre existe un nivel de ruido
- Se requiere hacer un uso eficiente del medio sin interferir

**Entonces, se intenta maximizar una función VT (Velocidad de Transmisión) que tenga en cuenta estas cuestiones y una tasa de errores permitida.**

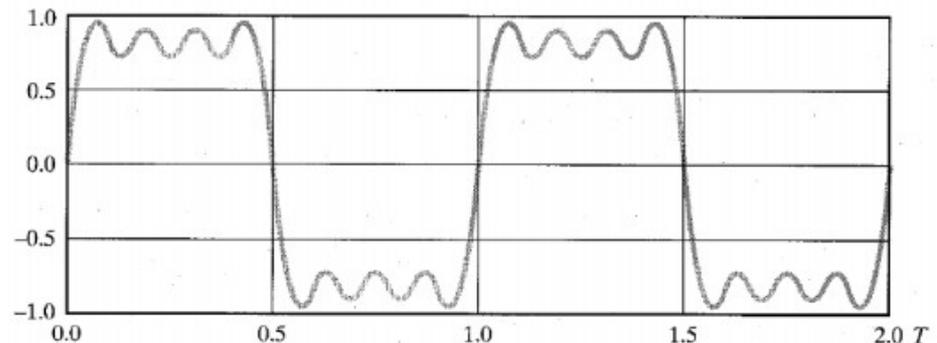
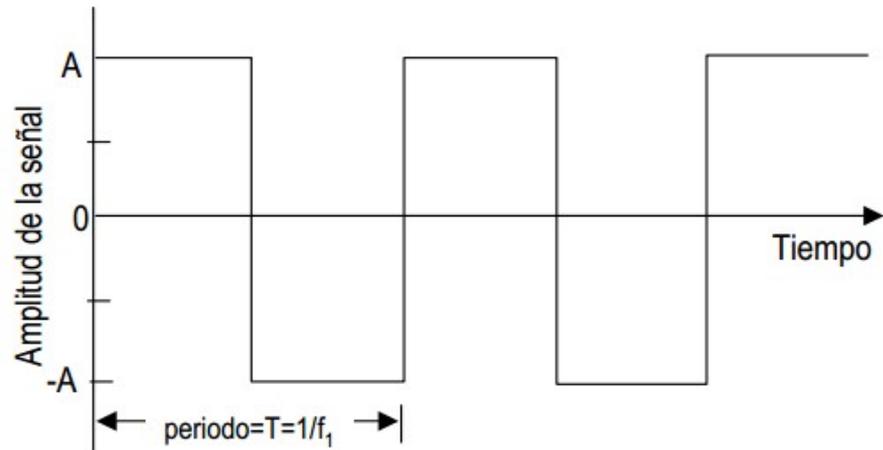
# Transmisión de Datos

## Relación entre $V_t$ y Ancho de Banda

- Supongamos la señal correspondiente a la secuencia 1010101...
- Su desarrollo en serie de Fourier es:

$$s(t) = A \times \frac{4}{\pi} \times \sum_{\substack{K=1 \\ K \text{ impar}}}^{\infty} \frac{\text{sen}(2\pi k f_1 t)}{k}$$

- Limitando el ancho de banda a las 4 primeras componentes:



$$(4/\pi) [\text{sen}(2\pi f_1 t) + (1/3)\text{sen}(2\pi(3f_1)t) + (1/5)\text{sen}(2\pi(5f_1)t) + (1/7)\text{sen}(2\pi(7f_1)t)]$$

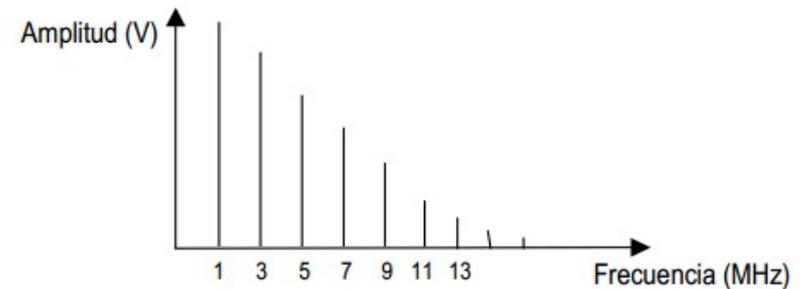
# Transmisión de Datos

## Relación entre $V_t$ y Ancho de Banda

$V_t$  para el caso de esa señal cuadrada:  $V_t = 2/T = 2 f_1$  bps

Si  $f_1 = 1$  MHz:

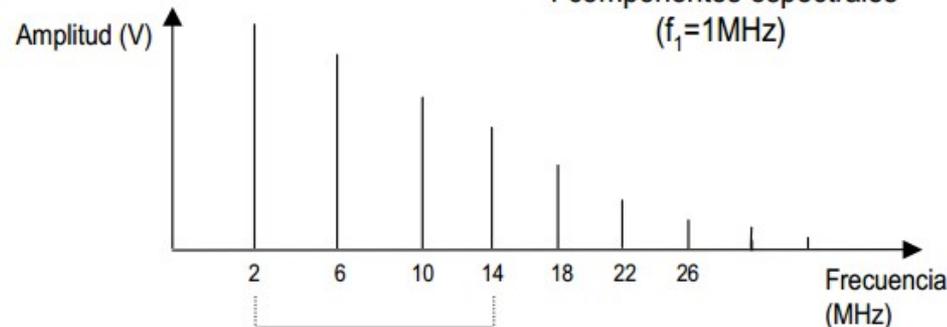
- necesitamos AB = 6 MHz en el canal
- $V_t = 2$  Mbps



4 componentes espectrales  
( $f_1=1$ MHz)

Si  $f_1 = 2$  MHz:

- necesitamos un AB = 12 MHz en el canal
- $V_t$  sería de 4 Mbps

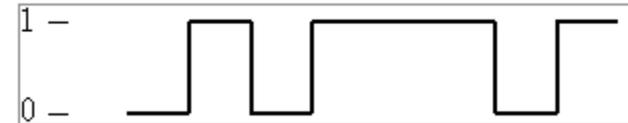


4 componentes espectrales  
( $f_1=2$ MHz)

# Transmisión de Datos

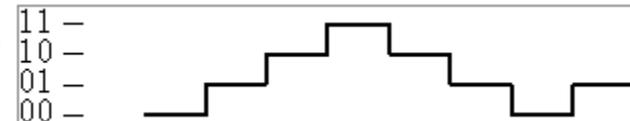
## Nyquist

- Estableció el concepto de “Capacidad de un Canal sin Ruido”
- Dado un ancho de banda B, la velocidad máxima de una señal es 2.B (Velocidad de Modulación, Baudios)
- Si se usan señales binarias (2 niveles de tensión) entonces con B Hz se logran 2B bps
  - Ejemplo, para un canal de voz de 3100 Hz  
→  $C = 2 * 3100$  →  $C = 6200$  bps
- Esta velocidad puede ser incrementada utilizando más de 2 bits por elemento de señal



$$C = 2B \log_2 M$$

- M es la cantidad de niveles de tensión.



# Transmisión de Datos

## ■ Nyquist

- Los niveles corresponden a los distintos estados que puede tomar una línea (niveles de tensión) para representar información.
  - Con 2 niveles se transporta 1 bit por baudio
  - Con 4 niveles se transportan 2 bits por baudio
  - Con 8 niveles se transportan 3 bits por baudio
- Por ejemplo,
  - Para la norma RS-232, que utiliza solo 2 niveles (-15 v y 15 v) resulta  $C = 2B \log_2 2 = 2B$
  - Para la codificación por desplazamiento de fase (phase-shift) que cuenta con 8 niveles posibles resulta  $C = 2B \log_2 8 = 6B$
  - En el ejemplo de la línea telefónica ( $B = 3100$  Hz) , si se utiliza phase-shift se obtiene:  **$C = 2 \cdot 3100 \log_2(8) = 18.600$  bps**

# Transmisión de Datos

## ■ Shannon

- Considera la presencia de errores
- A mayor velocidad los bits son más “cortos” por lo que un patrón de ruido (unque constante) afectará más bits
- Plantea la relación señal/ruido
  - $\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \log_{10}(\text{señal} / \text{ruido})$  (en decibeles)
- Redefine la capacidad máxima (libre de errores) de un canal como:
  - $C = B \log_2(1 + \text{SNR})$
- Este el máximo límite teórico y solo tiene en cuenta el ruido térmico

# Transmisión de Datos

## ■ Shannon

### ○ Ejemplos:

- Para un canal de 1000 Hz, con SNR = 255, resulta  
 $C = 1000 * \log_2(1 + 255) = 8.000 \text{ bps} \approx 8 \text{ Kbps}$
- Suponga que se transmite sobre el canal de 3100 Hz, con una relación señal ruido de **30 dB**

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 30 \text{ dB}$$

$$\rightarrow 10 \log_{10}(s/r) = 30$$

$$\rightarrow \log_{10}(s/r) = 3$$

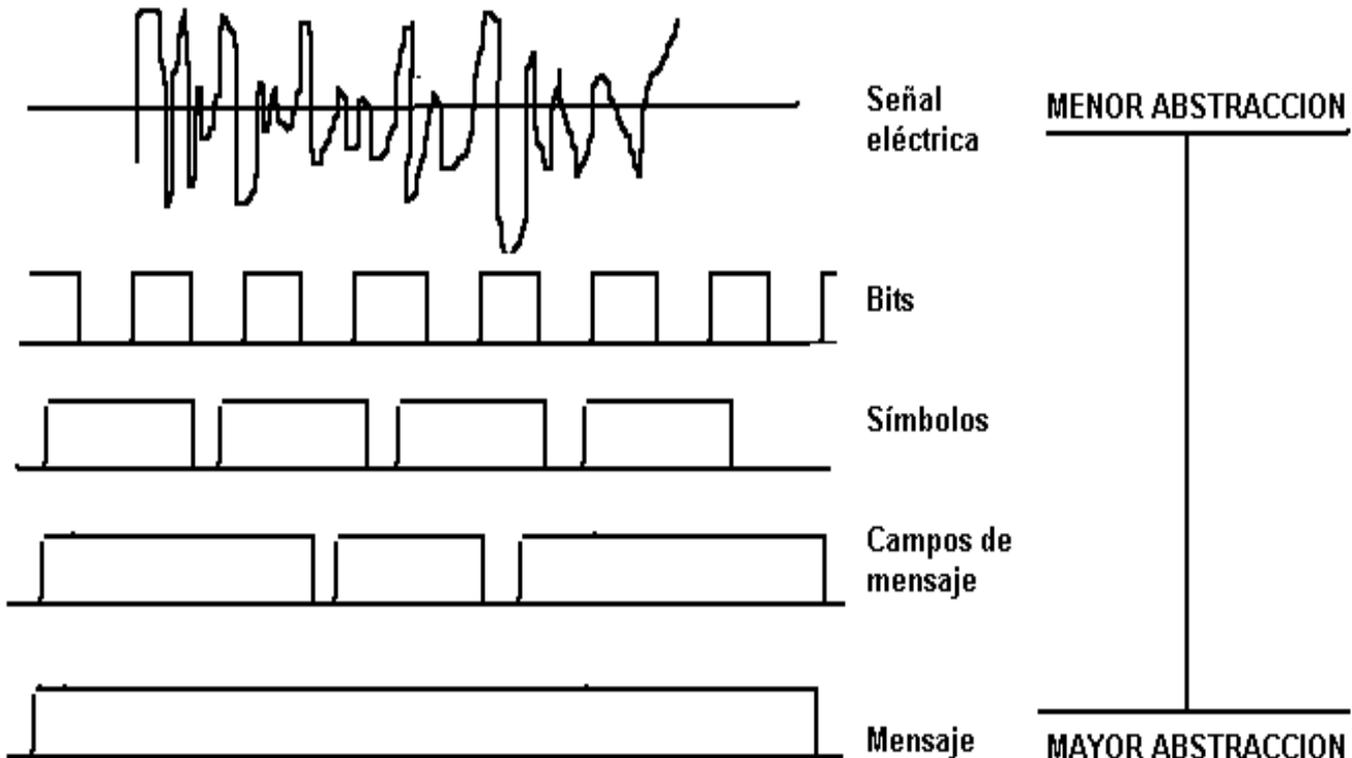
$$\rightarrow \text{SNR} = 10^3 = 1000$$

$$C = 3100 * \log_2(1 + 1000) = 30.894 \text{ bps}$$

# Transmisión de Datos

## En definitiva...

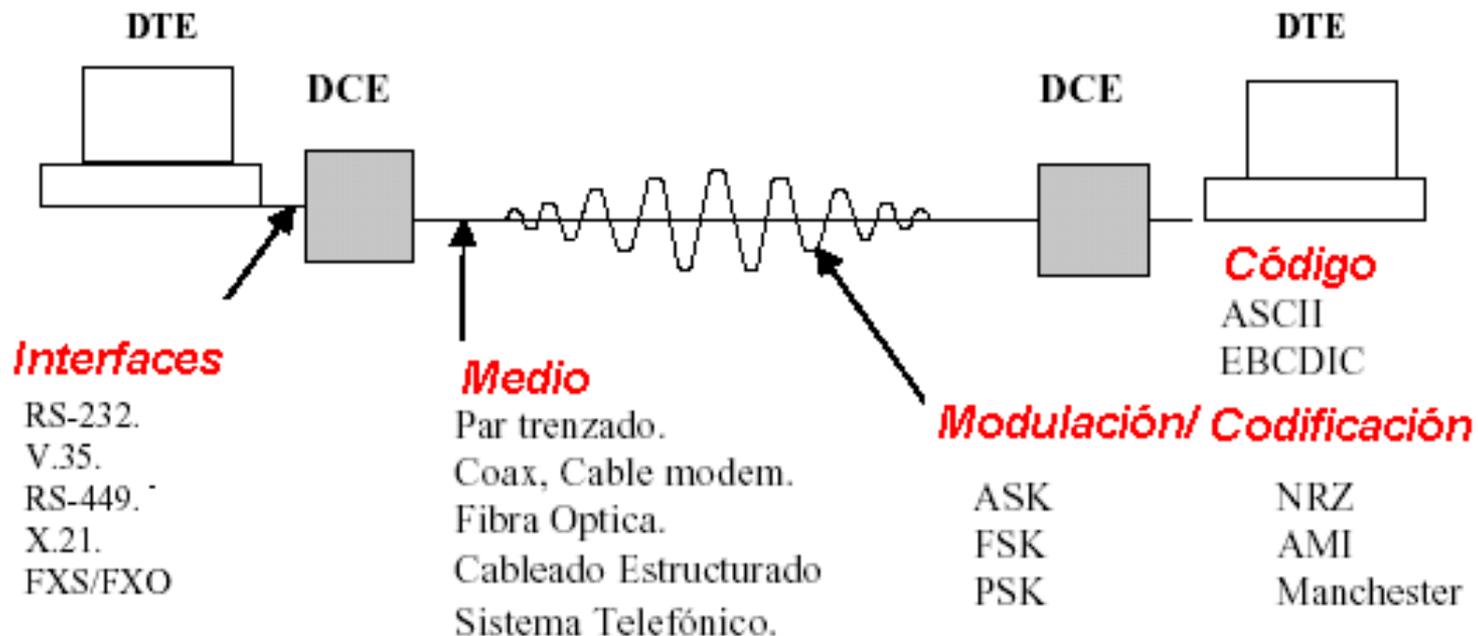
- Para poder transmitir la información:



# Transmisión de Datos

## En definitiva...

- Para lograr un enlace (vínculo) entre dispositivos:

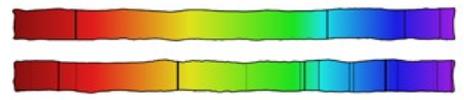


# Humor...

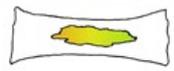
## EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

ESTAS ONDAS VIAJAN A TRAVÉS DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO. ANTERIORMENTE ERAN PORTADAS POR EL ÉTER, QUE FUE RETIRADO DEL SERVICIO EN 1897 POR RECORTES DE PRESUPUESTO.

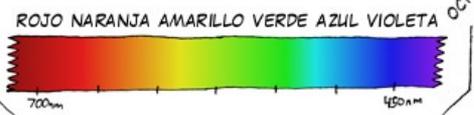
### ESPECTRO DE ABSORCIÓN:



DODOTIS®:



TAMPAX®:



### OTRAS ONDAS:

