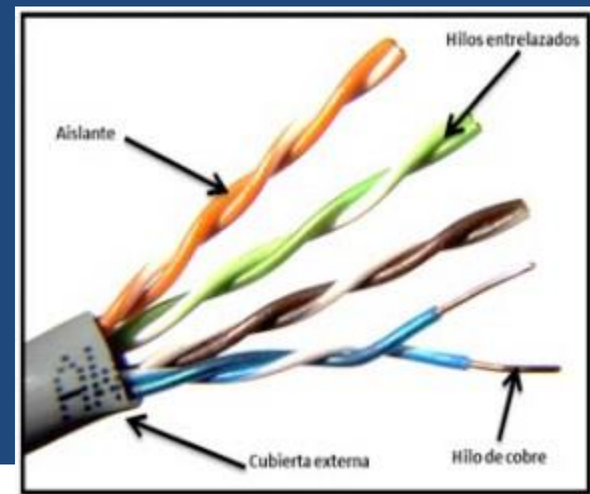
FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA TRANSMISIÓN DE DATOS

ÍNDICE:

PAR TRENZADO



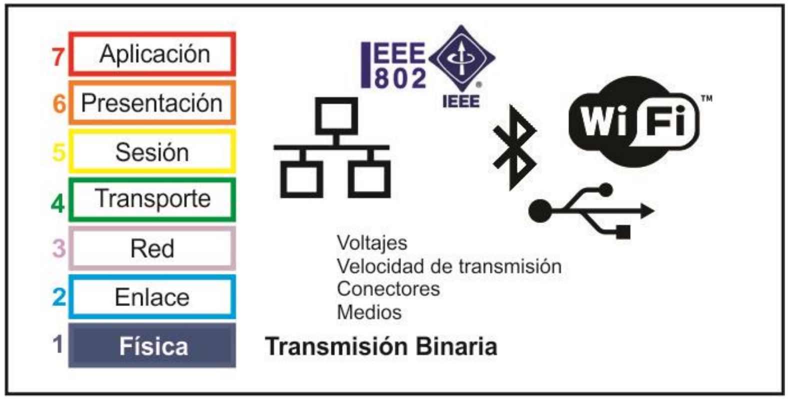
FIBRA ÓPTICA

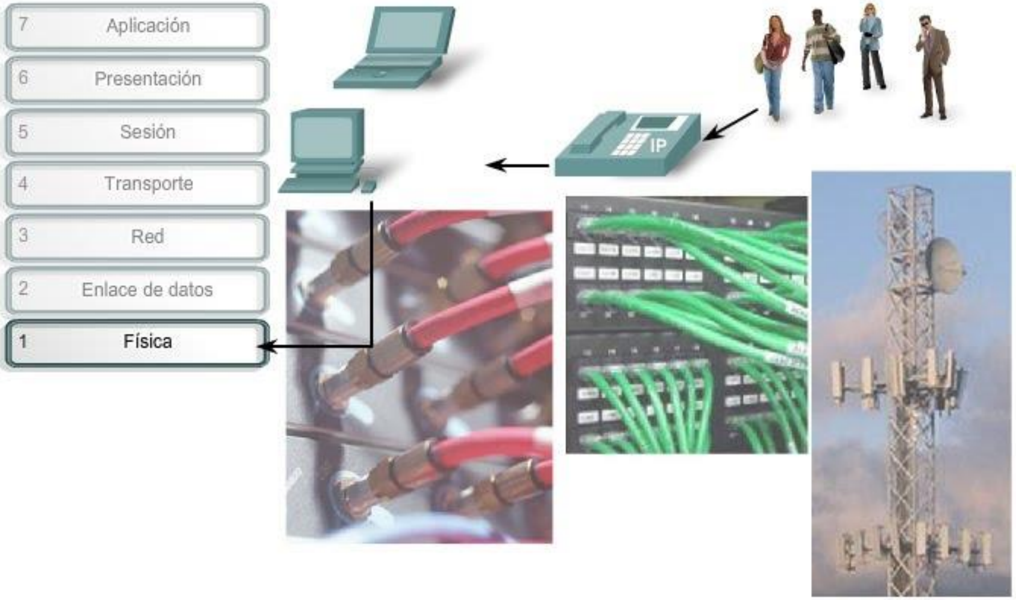
1 – INTRODUCCIÓN.

- La capa 1 o capa física del modelo OSI define las características físicas de la señal que se transmite desde una máquina a otra, es decir:

✓ Valores de voltajes y corrientes.
✓ Rango de frecuencias de transmisión.
✓ Esquemas de codificación de los bits.
✓ Medios de transmisión y sus conectores.

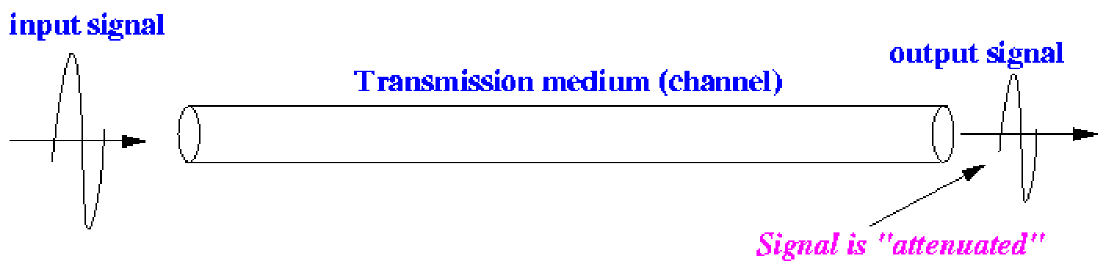
- Todas estas variables determinan la velocidad de los datos en un medio físico determinado.





La capa Física interconecta nuestras redes de datos.

2 - ANCHO DE BANDA (Bandwidth).



- Es el rango de frecuencias transmitidas en un canal de transmisión.

- En la práctica, el Ancho de Banda se considera que abarca hasta la frecuencia en que la potencia de la señal cae a la mitad de la potencia de la señal enviada, como se ve en la figura, desde f1 hasta f2.

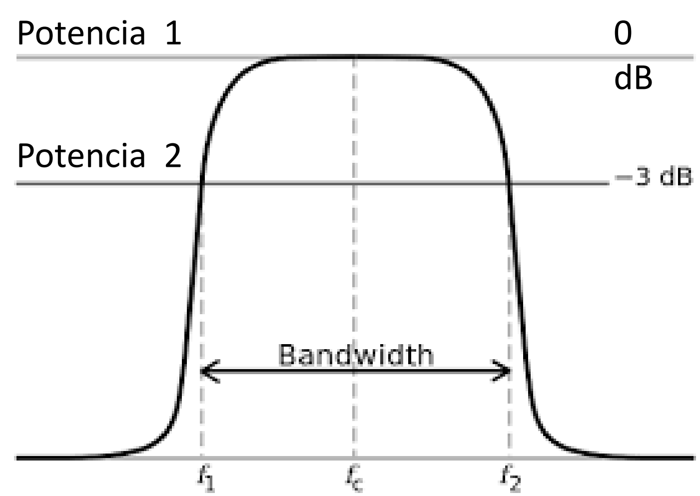
- Expresado en decibeles, la mitad de potencia corresponde a una atenuación de 3 decibeles:

Decibel = 10 * log (Potencia)

3 dB = 10 * log (P1/P2)

3 dB = 10 * log (2)

- Potencia 1 (watts) = 2 * Potencia 2 (watts)



3 - REPRESENTACIÓN DE SEÑALES: SERIES DE FOURIER

- En el siglo XIX, el matemático francés Jean-Baptiste Fourier demostró que una señal periódica puede representarse por una suma de senos y cosenos llamada serie de Fourier.

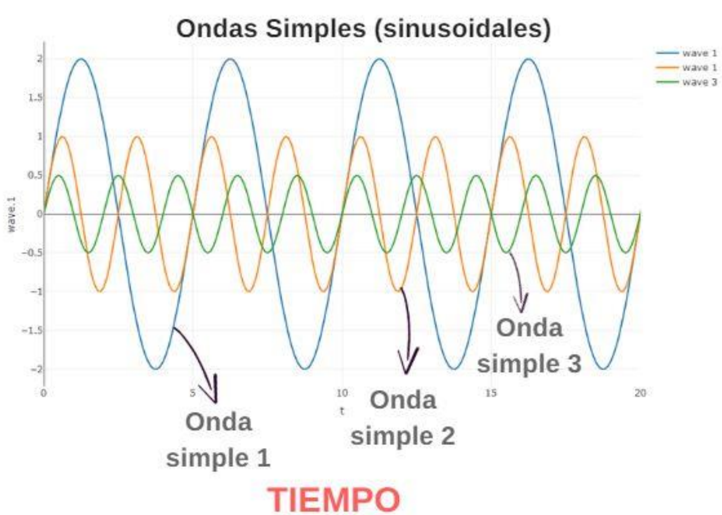
- Supongamos una señal periódica g(t):

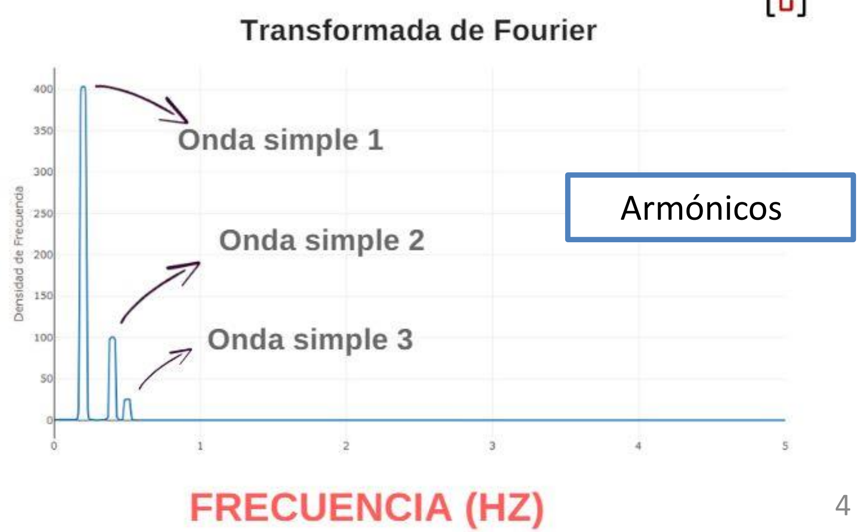
$$\boxed{g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi n f t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi n f t)}$$

Donde:

$$a_n = \frac{2}{T}\int_0^T g(t)\sin(2\pi n f t)\,dt \qquad b_n = \frac{2}{T}\int_0^T g(t)\cos(2\pi n f t)\,dt \qquad c = \frac{2}{T}\int_0^T g(t)\,dt$$

- La energía de la señal resulta proporcional a: $\sqrt{a_n^2 + b_n^2}$



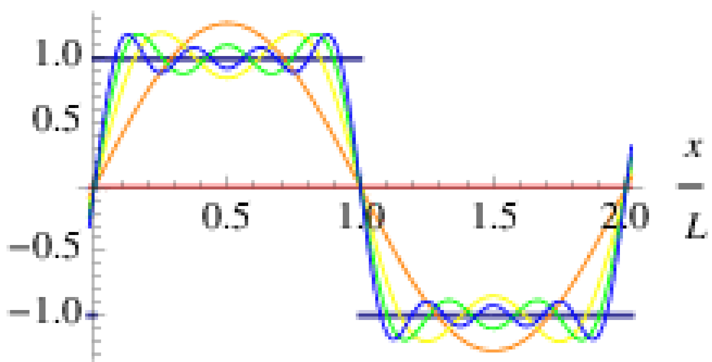


3 – SERIES DE FOURIER (continuación)

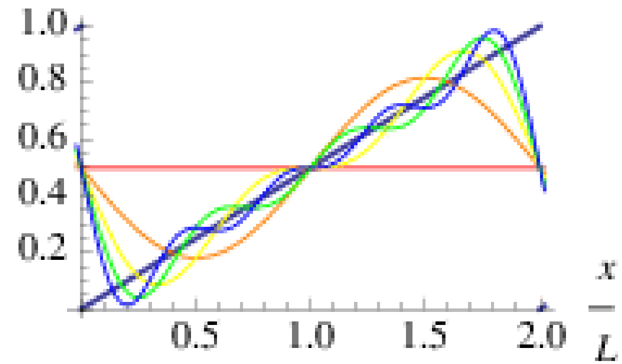
- Una señal con una duración finita, (limitada en tiempo), puede pensarse como una función que se vuelve a repetir como una función periódica, y por lo tanto, puede representarse por una serie de Fourier.

Referencia :
- **Azul** (trazo grueso): Onda resultante final.
- Rojo: frecuencia más baja, armónica fundamental, fo.
- Amarillo: 3º armónico, (f = 3. fo)
- Verde: 5º armónico, (f = 5. fo)
- Azul (trazo fino): 7º armónico

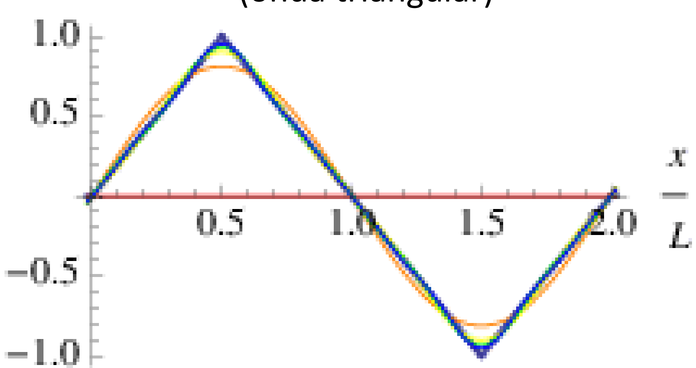
square wave
(onda cuadrada)



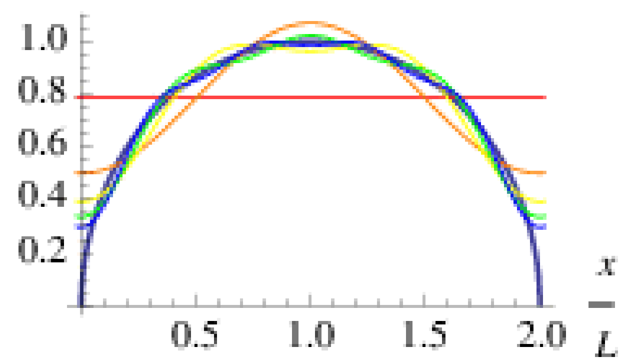
sawtooth wave
(onda diente de sierra)



triangle wave
(onda triangular)



semicircle
(onda semicircular)



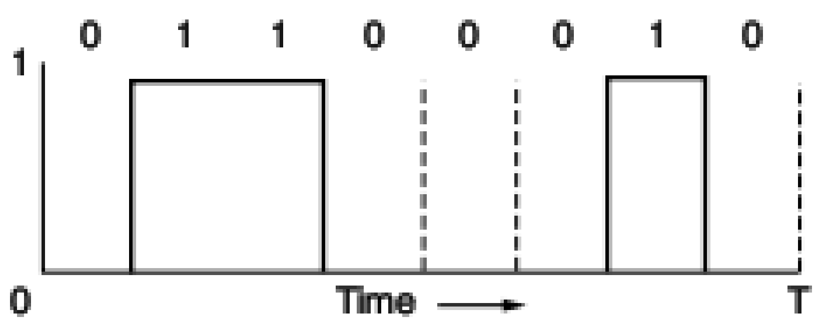
4 – EJEMPLO.

- Transmitimos la letra “b” en código ASQII de 8 bits. Los bits a transmitir serán entonces: 01100010, según se observa en la figura de abajo, con pulsos cuadrados o rectangulares.

- Los coeficientes de Fourier resultan en este caso:

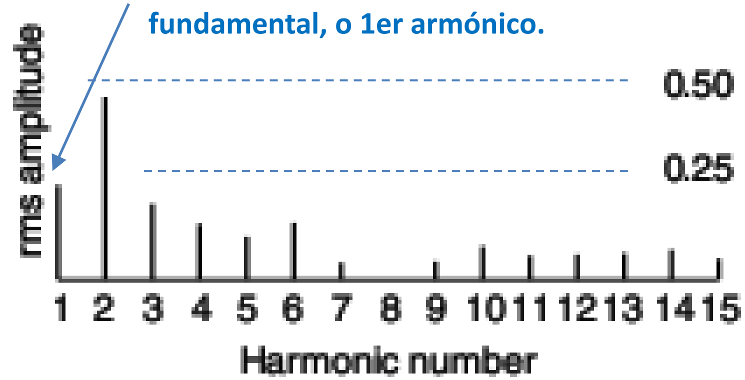
$$\begin{cases} a_n = \dfrac{1}{\pi n}[\cos(\pi n/4) - \cos(3\pi n/4) + \cos(6\pi n/4) - \cos(7\pi n/4)] \\[2ex] b_n = \dfrac{1}{\pi n}[\sin(3\pi n/4) - \sin(\pi n/4) + \sin(7\pi n/4) - \sin(6\pi n/4)] \\[2ex] c = 3/4 \end{cases}$$

- En la figura observamos la señal cuadrada a transmitir en el tiempo, y a su derecha los coeficientes de Fourier para las primeras 15 armónicas.



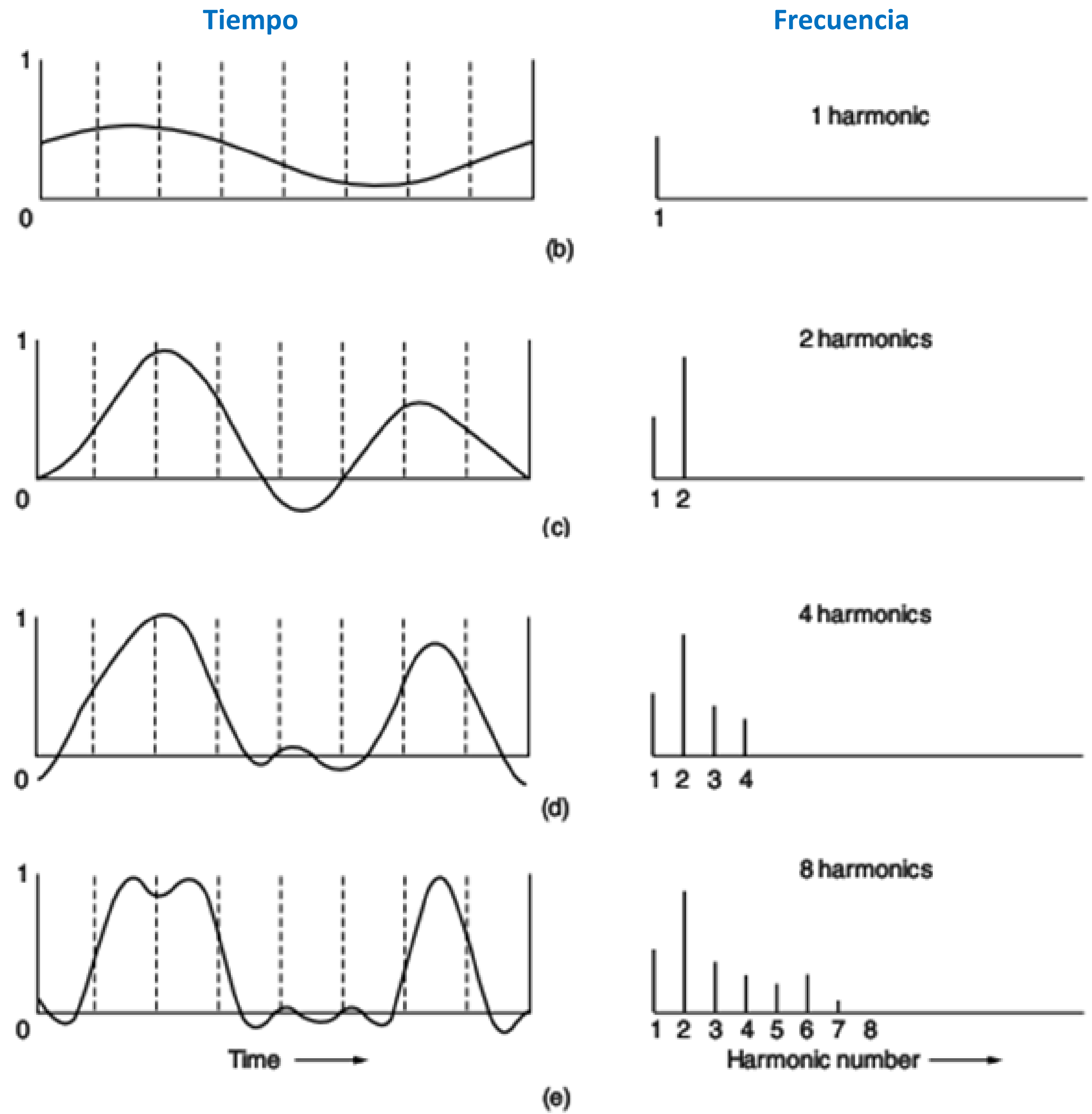
Período: T = 1/fo

fo es la menor frecuencia, frecuencia fundamental, o 1er armónico.



4 – EJEMPLO (continuación).

- En las figuras se muestran distintas aproximaciones de la misma señal, recortando el número de armónicas.
- Esto es lo que sucede en la realidad, en un medio de transmisión, por ejemplo en un cable coaxil, o en un par trenzado. Cada medio de transmisión tiene un ancho de banda diferente, es decir, un rango de frecuencias mínima y máxima que puede transmitir con atenuación menor al 50%.
- En figura (b), sólo tenemos una sola frecuencia, la frecuencia fundamental, y la señal ya no se entiende que es.
- En la figura (d), la señal está representada por 4 frecuencias, es decir, ancho de banda = 4. fo
- En Figura (e), tenemos la señal representada por 8 frecuencias., (el ancho de banda = 8. fo



fo es la menor frecuencia, frecuencia fundamental, o 1er armónica.

5 – ANCHO DE BANDA Y VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN.

- Un buen ancho de banda nos garantiza que los pulsos llegan al receptor sin deformarse. En el ejemplo de la figura de abajo, necesitamos un ancho de banda de (15 fo) para que la señal llegue casi perfecta al receptor.

- fo = Frecuencia fundamental.

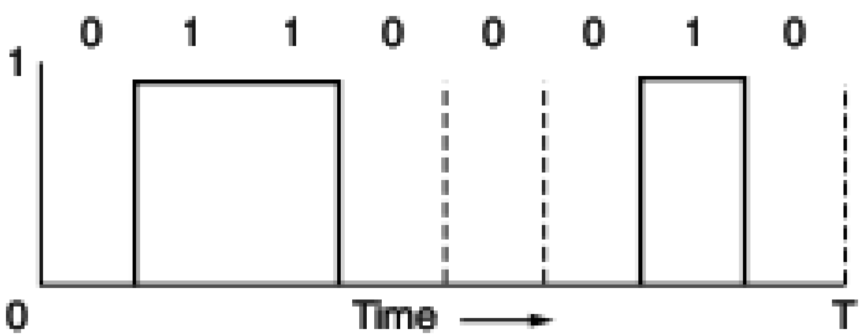
- To = 1/fo = Período de la señal, es decir, el tiempo que necesito para enviar los 8 caracteres ASQII de la letra “b”.

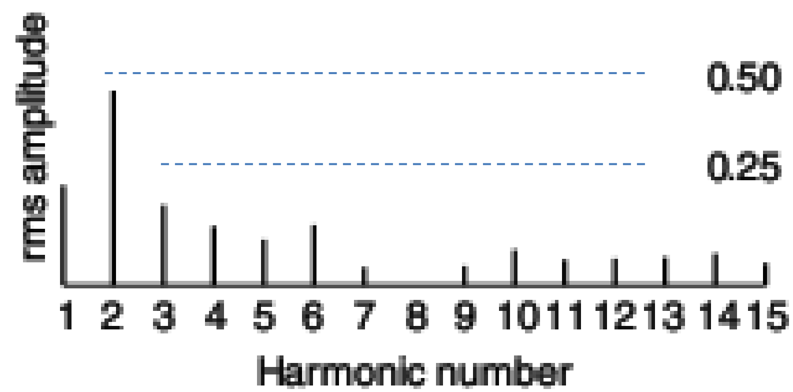
➢ Si queremos transmitir una letra ASQII cada 1 milisegundo:

To = 1 ms. → fo = 1 KHz → Ancho de banda = 15 KHz (suficiente para el teclado de una PC).

➢ Si queremos transmitir los datos 1000 veces más rápido, necesitamos más ancho de banda:

To = 1 µs. → fo = 1 MHz → Ancho de Banda = 15 MHz.





5 – ANCHO DE BANDA Y VELOCIDAD (continuación)

- Si queremos transmitir esta señal por el canal de voz telefónico, (ancho de banda = 3 KHz), llegarían las armónicas que se observan en la última columna de la tabla, según la velocidad de transmisión.

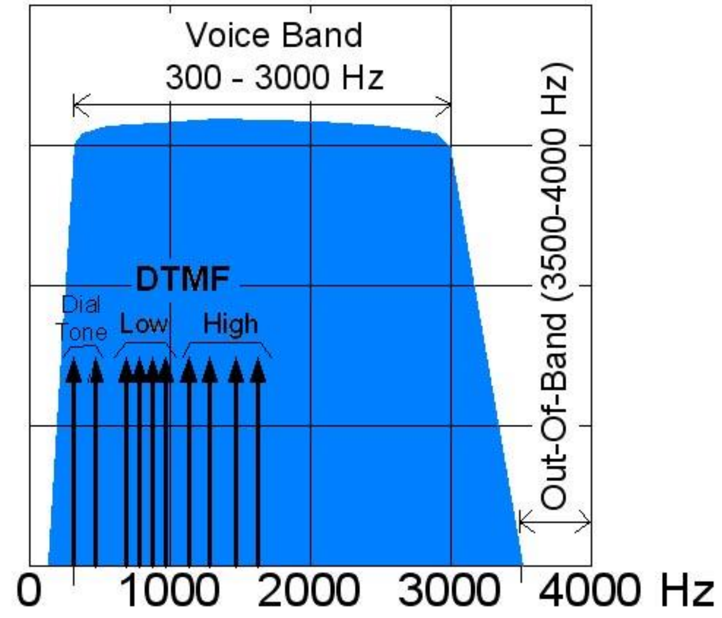
- La velocidad máxima no sólo depende del ancho de banda. También depende del sistema de codificación de los bits, como más adelante veremos.

- Según a qué velocidad queremos transmitir los bits, será el valor del período de la onda y por lo tanto su inversa, la frecuencia. Cuánto mayor velocidad, menor período de la armónica fundamental, y menos armónicas podremos transmitir en un ancho de banda determinado.

- Es decir, que limitar el Ancho de Banda, nos limita también la velocidad de transmisión de los datos. Porque es imposible reconstruir una señal en el receptor si sólo recibimos 1 ó 2 armónicas.

El Ancho de Banda y la Velocidad de los bits están relacionados pero estrictamente no son lo mismo.
El Ancho de Banda se mide en Hertz (Hz).
La velocidad se mide en bits por segundo (bps).

canal de voz telefónico (3 KHz)



Bps	T (msec)	First harmonic (Hz)	# Harmonics sent
300	26.67	37.5	80
600	13.33	75	40
1200	6.67	150	20
2400	3.33	300	10
4800	1.67	600	5
9600	0.83	1200	2
19200	0.42	2400	1
38400	0.21	4800	0

6 - VELOCIDAD MÁXIMA EN UN CANAL SIN RUIDO ELÉCTRICO.

- **Nyquist:** En 1924 un ingeniero de AT&T, Henry Nyquist, probó que una señal con ancho de banda “B” puede ser reconstruida tomando (2*B) muestras por segundo, de esa señal, (teorema de Nyquist, o teorema del muestreo).

- O expresado de otro modo, si la señal tiene V niveles distintos, un canal de datos sin ruido tiene una máxima velocidad dada por:

$$\boxed{\text{maximum data rate} = 2B \log_2 V \text{ bits/sec}}$$

Donde: B: es el ancho de banda del canal.
V: es la cantidad de niveles discretos diferentes que tiene la señal, (niveles de voltaje).

➢ Ejemplo: En un canal de voz telefónico, (ancho de banda = 3 KHz), no podrían transmitirse bits a más de 6 Kbps. O si la tasa de muestreo de una señal es 6 KHz, no puedo reconstruir señales que abarquen más de 3 KHz de ancho de banda.

si AB = 3 KHz → fs > 6 KHz.
si fs = 6 KHz → AB < 3 KHz

Donde: AB = ancho de banda.
fs = frecuencia de muestreo.

- Con señales multinivel, por ejemplo con 8 niveles distintos: Máx.Bit-rate = 2 . 3 KHz . Log_2 8 = 2 . 3 KHz . 3 = 18 Kbps.

- Con 64 niveles distintos de señal, resulta: Máximo Bit-rate = 2 . 3 KHz . Log_2 64 = 2 . 3 KHz . 6 = 36 Kbps.

- Con 512 niveles distintos, resulta: Máximo Bit-rate = 2 . 3 KHz . Log_2 512 = 2 . 3 KHz . 9 = 54 kbps.

- Ésta es la técnica que empleaban los viejos modems “dial-up”, para lograr una velocidad de 56 kbps en 3 KHz de ancho de banda. Empleaban señales de voltaje multinivel para cada símbolo transmitido. (Más adelante veremos algunos ejemplos de estos esquemas de codificación).

Sampling Theorem

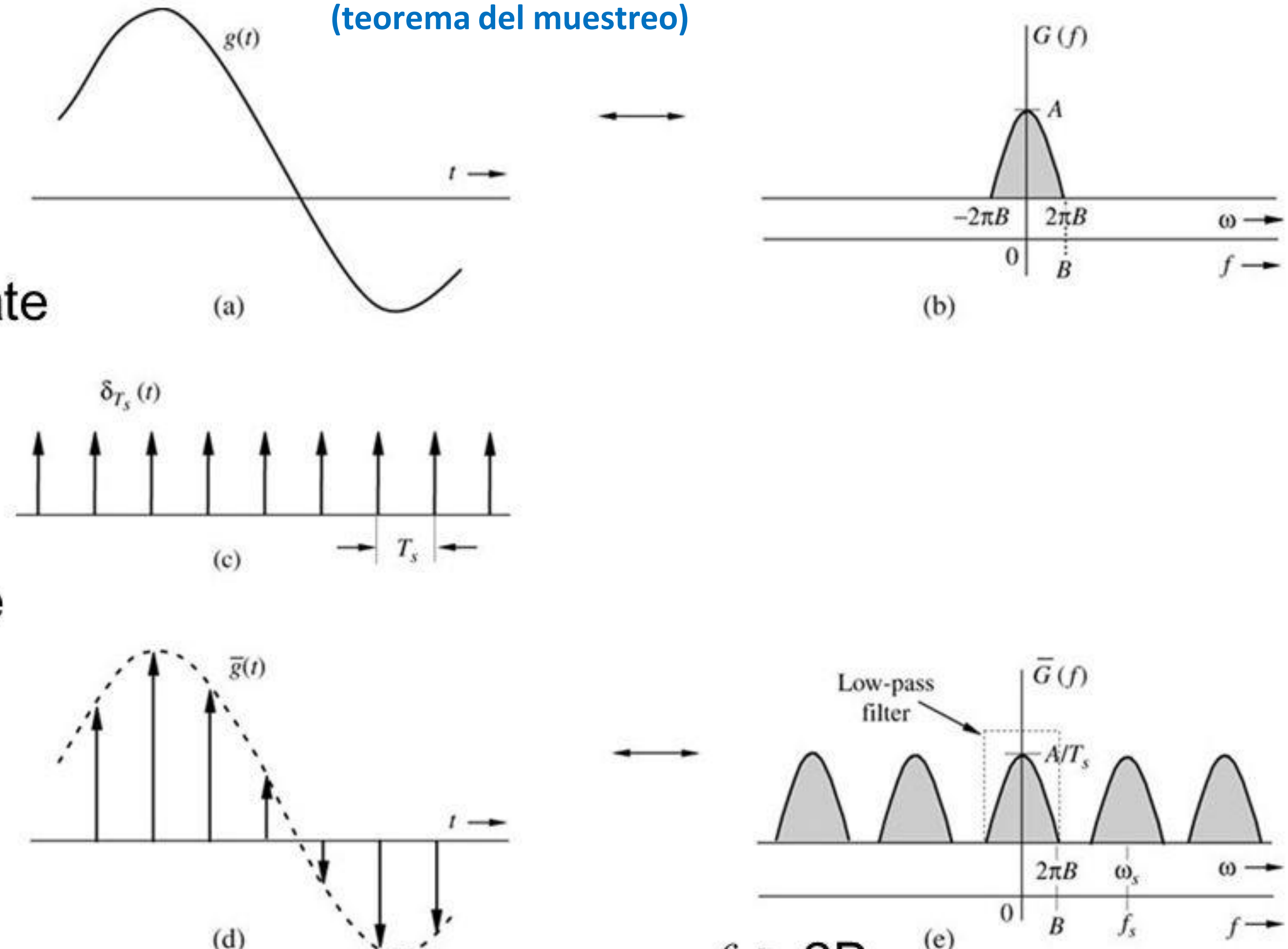
(teorema del muestreo)

Sampling Rate

$f_s = 1/T_s$

Nyquist Rate

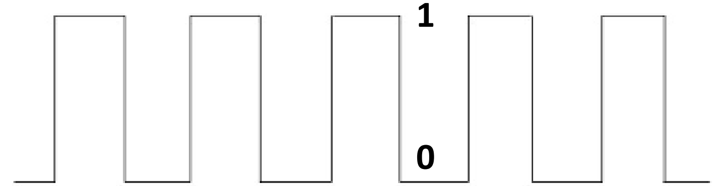
$f_s = 2B$



$f_s > 2B$

4

7 – SEÑALES MULTINIVEL



2 niveles (bits)

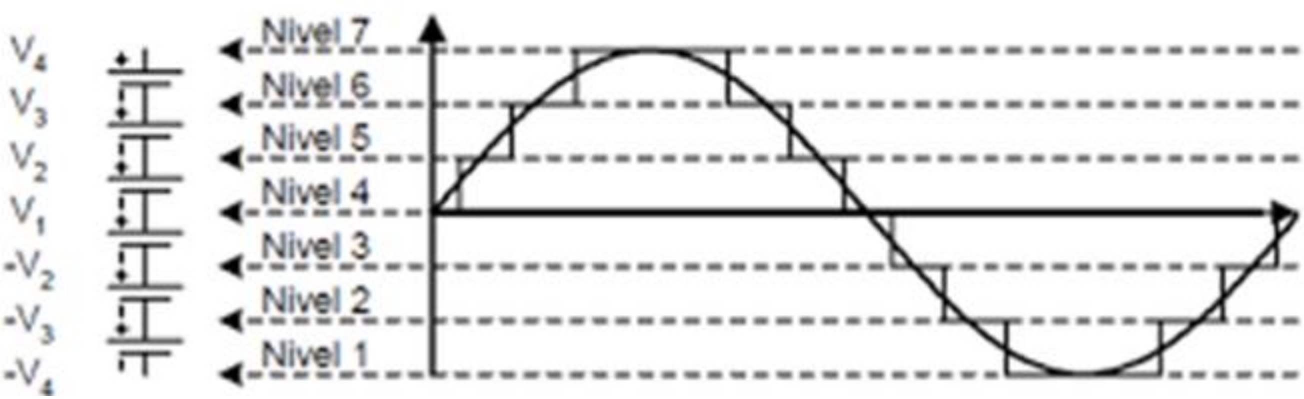
- Cuando la señal tiene 2 niveles, hablamos de bits.
  Cuando tiene más de 2 niveles, hablamos de símbolos.

- En la figura de abajo se observa una señal multinivel, de 7 niveles de voltajes distintos. Y un ejemplo de codificación para 7 niveles. Para representar en binario 7 niveles necesitamos 3 bits, (Usualmente se utilizan 8 niveles en lugar de 7, ya que $2^3 = 8$):

- Si un modem utiliza estos símbolos en un canal telefónico, su velocidad máxima es:

  Vel máx. = 2. B. $\log_2$ V = 2. 3000 Hz. $\log_2$ 8 = 6000 símbolo/s. 3 (bit/símbolo) = 18 Kbps

- Obviamente, el receptor tiene que ser capaz de decodificar bien estos 7 niveles distintos.



NIVEL	BITS	SÍMBOLO
Nivel 1 =	001 =	símbolo 1.
Nivel 2 =	010 =	símbolo 2.
Nivel 3 =	011 =	símbolo 3.
Nivel 4 =	100 =	símbolo 4.
Nivel 5 =	101 =	símbolo 5.
Nivel 6 =	110 =	símbolo 6.
Nivel 7 =	111 =	símbolo 7.

8 - VELOCIDAD MÁXIMA EN UN CANAL RUIDOSO.

- **Shannon:** En 1948, Claude Shannon extendió el trabajo de Nyquist para un canal con ruido eléctrico aleatorio, en una publicación que constituye hoy en día el trabajo más importante de la Teoría de la Información:

$$\boxed{\text{maximum number of bits/sec} = B \log_2 (1 + S/N)}$$

Donde: **B** es el ancho de banda del canal.
S es la potencia de la señal.
N es la potencia de ruido eléctrico presente en el canal.
(S/N = SNR = Signal to Noise Ratio = Relación señal a ruido . Normalmente se expresa en decibeles).

- **Capacidad:** A la velocidad máxima de un canal se le denomina también CAPACIDAD de un canal.

bandwidth of the channel

$$\boxed{C = B \log_2 (1+S/N)}$$

Channel capacity in bits/s

signal-to-noise ratio

8 - VELOCIDAD MÁXIMA EN CANALES RUIDOSOS (continuación).

➢ <u>Ejemplo:</u> Transmisión ADSL (valores reales aproximados):

- Ancho de Banda del par trenzado: 1 MHz.
- Relación señal a ruido: 40 dB = 10.000 veces
  (es decir, si la señal es de 10 V, el ruido sería menor a 1 mV).

- Capacidad = $B \cdot \log_2 (1 + S/N)$

$$= 1\ \text{MHz} \cdot \log_2 (1 + 10000)$$

$$\simeq 13{,}28\ \text{Mbps}$$

(ADSL podría llegar hasta 13 Mbps).

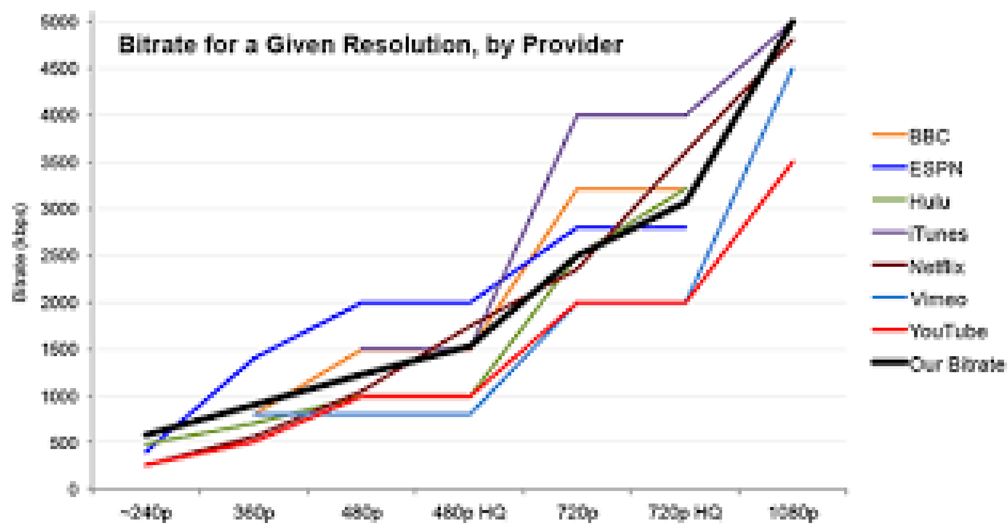
Examples of Channels

Channel	Bandwidth	Bit Rates
Telephone voice channel	3 kHz	33 kbps
Copper pair	1 MHz	1-6 Mbps
Coaxial cable	500 MHz (6 MHz channels)	30 Mbps/ channel
5 GHz radio (IEEE 802.11)	300 MHz (11 channels)	54 Mbps / channel
Optical fiber	Many TeraHertz	40 Gbps / wavelength

- La demanda de velocidad es cada vez mayor para brindar mejor calidad de imagen.

the-home-cinema-guide.com

Media Type	Bit Rate (Mbps)
Standard Audio CD	1.4
Standard-definition TV	3.5
720p mkv File	8
High-definition TV	8-15
Standard-definition DVD	9.6
1080p mkv File	12
Blu-ray Disc	20-40



9 – BIBLIOGRAFÍA

- “Redes de computadoras”. 5ª edición. Prentice Hall.
  - Andrew S. Tanenbaum (Vrije Universiteit – Amsterdam).
  - David J. Wetherall (University of Washington – Seattle).

- “Digital and Analog Communication Systems”. 1979. John Wiley and Sons Inc.
  - K. Sam Shanmugam (University of Kansas).

- “Communication Systems”. 3ª edición, 1994. John Wiley and Sons Inc.
  - Simon Haykin (McMaster University).

- “Sistemas de comunicaciones electrónicas”. 4ª edición, 2003. Pearson Education.
  - Wayne Tomasi (DeVry Institute of Technology. Phoenix, Arizona).

- “Teoría de la información y codificación”. 2ª edición, 2002. Universitas.
  - Víctor Hugo Sauchelli (Universidad Nacional de Córdoba).