

Capítulo 7

La Capa Física

Fundamentos de la teoría de señales

Application
Transport
Network
Link
Physical

La Capa Física

- **Propósito de la capa física (CF):**
 - Transportar un stream de datos de una máquina a otra usando medios físicos.
- **Medios físicos:** p.ej. cable trenzado de cobre, fibra óptica, ondas de radio, ondas microondas, etc.
- En los medios físicos viajan señales.
- Para comprender y evaluar los distintos medios físicos es necesario entender los conceptos fundamentales de la **teoría de señales**.

La Capa Física

- La CF no consiste solo de medios físicos:
 - Los medios físicos **se conectan entre sí** usando dispositivos como codecs, modems, multiplexores, demultiplexores, conmutadores, puentes, enrutadores, puertas de enlace, etc.
 - formándose así **redes complejas de distintos tipos**.
- Para comprender varios de estos dispositivos hay que entender un poco de **teoría de señales**.
- Una vez que comprendamos las propiedades de los distintos medios físicos se pueden estudiar **distintos tipos de redes**:
 - Redes de telefonía pública conmutada, redes de telefonía celular, redes que usan cables de la TV por cable, redes de fibra a la casa.

Capa física

- **Aprenderemos:**
 - **Clasificación de señales**
 - Ondas sinusoidales
 - Señales compuestas
 - Representación gráfica de señales
 - Señales digitales
 - Baudios y bits por segundo

Señales digitales y analógicas

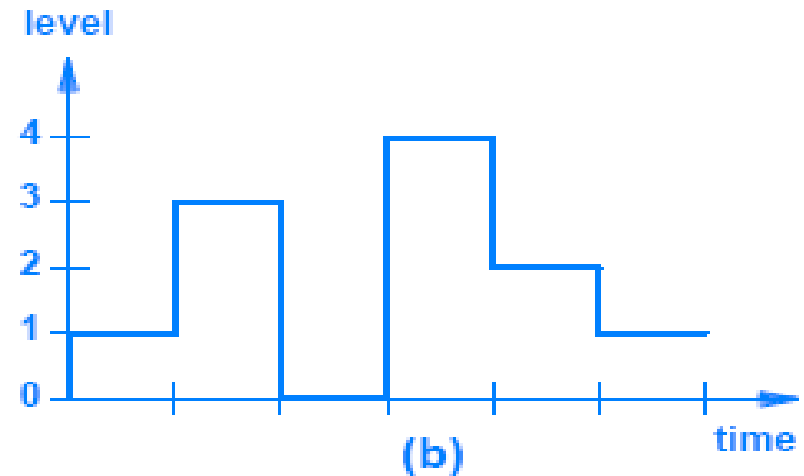
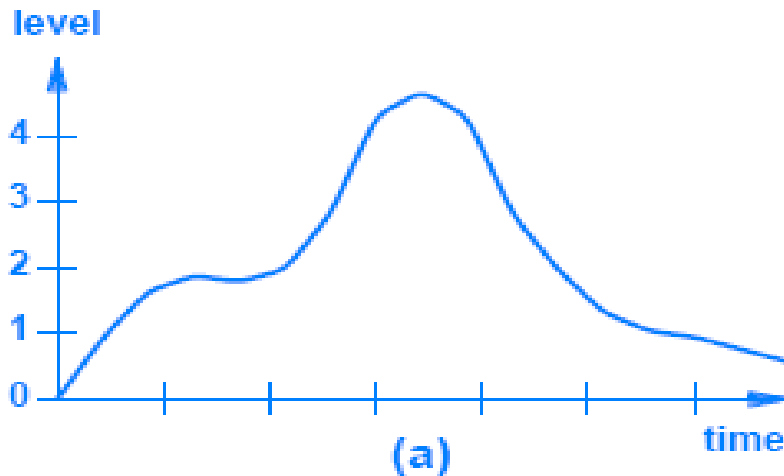


Figure 6.1 Illustration of (a) an analog signal, and (b) a digital signal.

- Para enviar datos se usan señales.
- Las señales se pueden representar usando funciones del tiempo.
- **Tipos de señales:**
 - **Señal analógica**
 - Señal cuya magnitud física (como tensión o corriente eléctrica) varía de forma continua en el tiempo.
 - Caracterizadas por función matemática continua.
 - Ejemplos: voz humana, radio, microondas, intensidad luminosa cuando cambia suavemente.

Señales digitales y analógicas

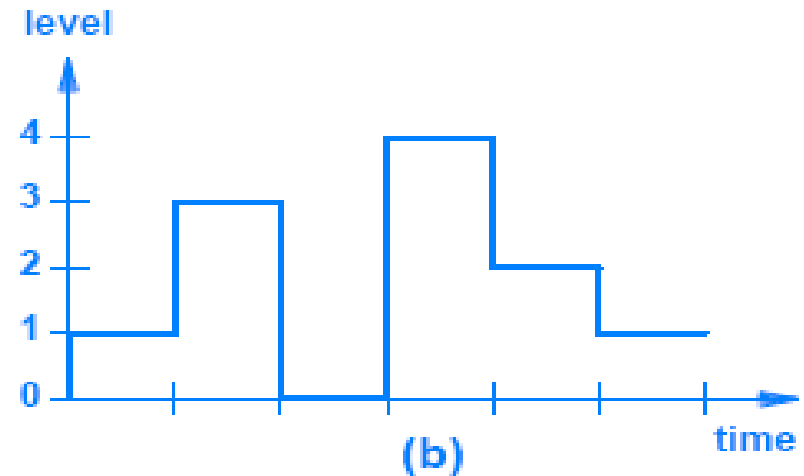
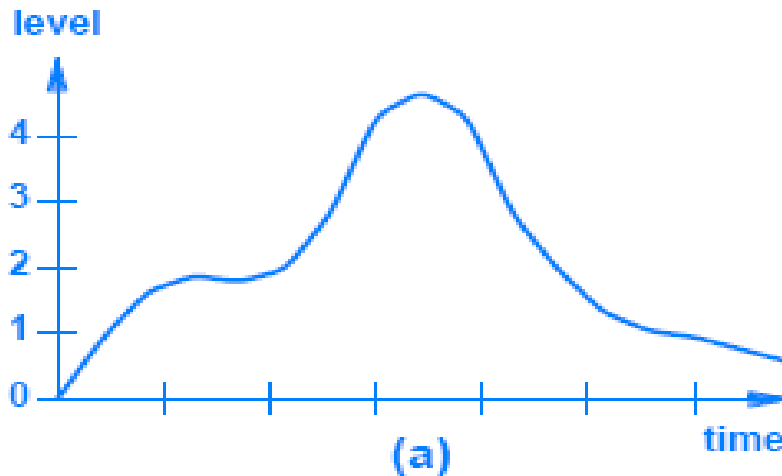


Figure 6.1 Illustration of (a) an analog signal, and (b) a digital signal.

- **Tipos de señales - continuación:**

- **Señal digital:**

- Caracterizada por cambios de niveles (niveles de voltaje).
- La señal solo adopta niveles bien definidos.
- La señal cambia de manera abrupta entre niveles.

Señales

- Otra clasificación de las señales:
 - **periódicas**
 - $s(t+T) = s(t)$ para todo $-\infty < t < \infty$.
 - **aperiódicas** (también **no periódicas**)
- Por ejemplo:
 - Fig. 6.1a de la parte 1 (aperiódica) y Fig. 6.2 filmína siguiente (periódica)

Ondas sinusoidales

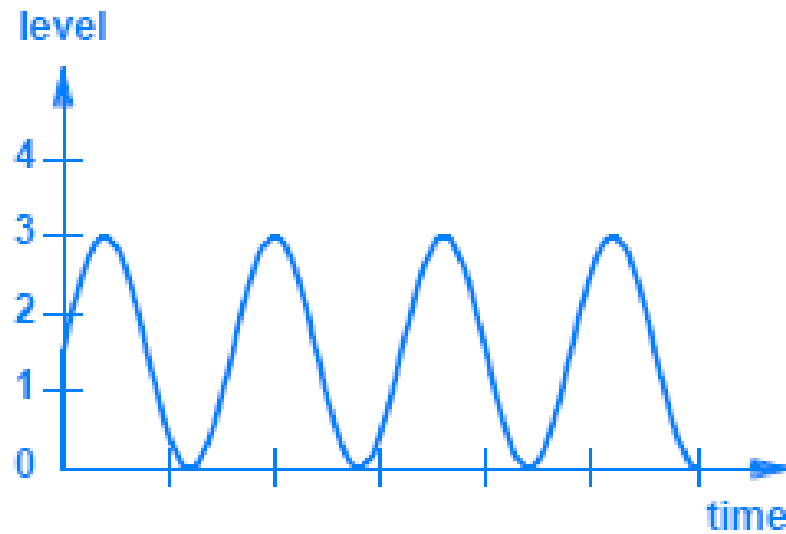


Figure 6.2 A periodic signal repeats.

Capa física

- **Aprenderemos:**
 - Clasificación de señales
 - **Ondas sinusoidales**
 - Señales compuestas
 - Representación gráfica de señales
 - Señales digitales
 - Baudios y bits por segundo

Ondas sinusoidales

- Ahora estudiamos las ondas sinusoidales y sus propiedades.
- **Importancia de las ondas sinusoidales**
 - Son producidas por fenómenos naturales.
 - P. ej: los **tonos audibles** suelen ser ondas sinusoidales.
 - P.ej: vibración de diapasón, vibración de cuerdas de instrumentos musicales.
- Funciones trigonométricas **sinusoidales**
 - Especialmente el **seno**
 - **Onda sinusoidal** es $s(t) = A \sin(2\pi ft + \varphi)$, t número real.

Ondas sinusoidales

- **Propiedades de las ondas sinusoidales:**
 - **Frecuencia** = número de oscilaciones por segundo
 - **Amplitud** = diferencia entre las alturas máxima y mínima
 - **Fase** = cuánto es desplazado el comienzo de la onda sinusoidal a partir de un tiempo de referencia

Ondas sinusoidales

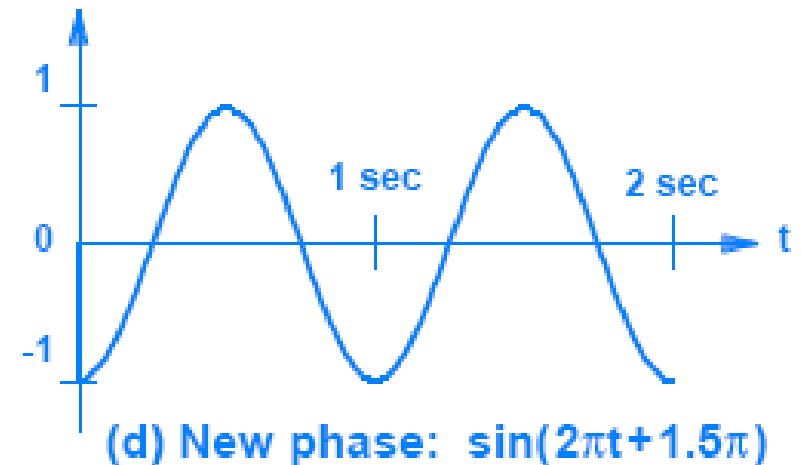
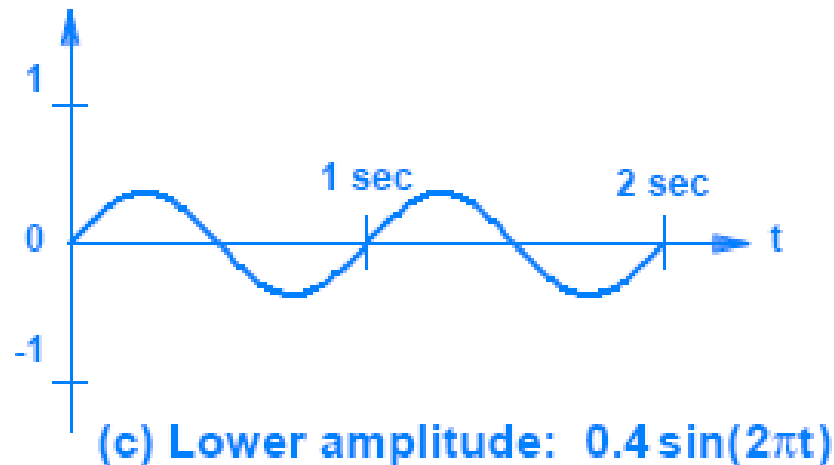
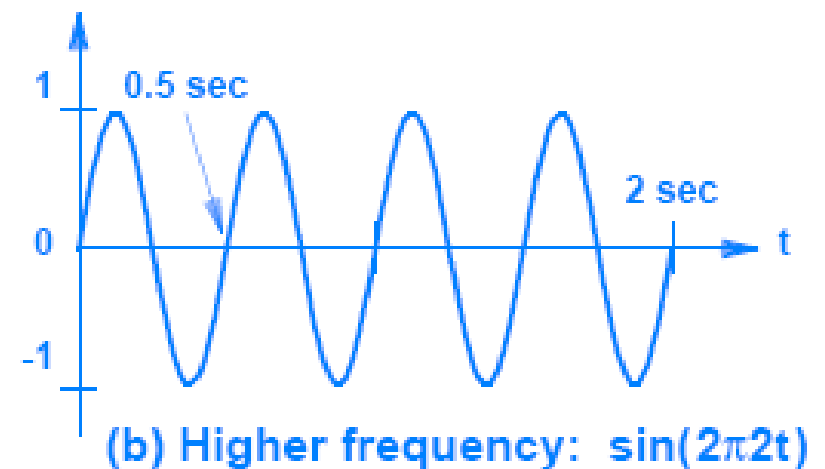
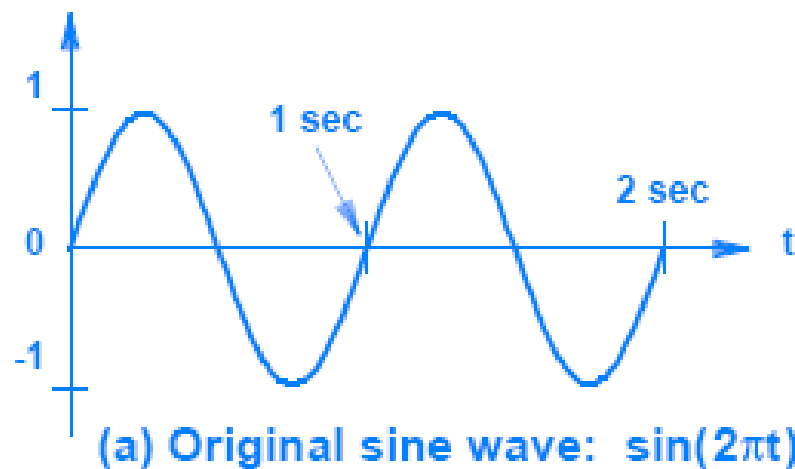


Figure 6.3 Illustration of frequency, amplitude, and phase characteristics.

Ondas sinusoidales

- El **período** (T): tiempo requerido por un ciclo.
- Frecuencia $f = 1/T$.
 - O sea, cantidad de ciclos por segundo.
- **Bajas frecuencias**
 - Fig. 6.3a: $T = 1$ segs y una frecuencia de $1/T$ o 1 Hertz.
 - Fig. 6.3b: $T = 0,5$ segs y una frecuencia es de 2 Hertz.
- Los sistemas de comunicación usan **altas frecuencias** (expresadas en millones de ciclos por segundo - **megahertz** (MHz))

Capa física

- **Aprenderemos:**
 - Clasificación de señales
 - Ondas sinusoidales
 - **Señales compuestas**
 - Representación gráfica de señales
 - Señales digitales
 - Baudios y bits por segundo

Señales compuestas

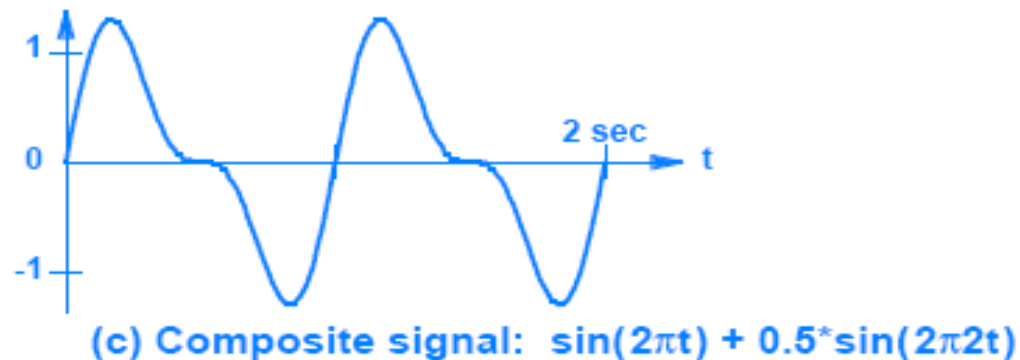
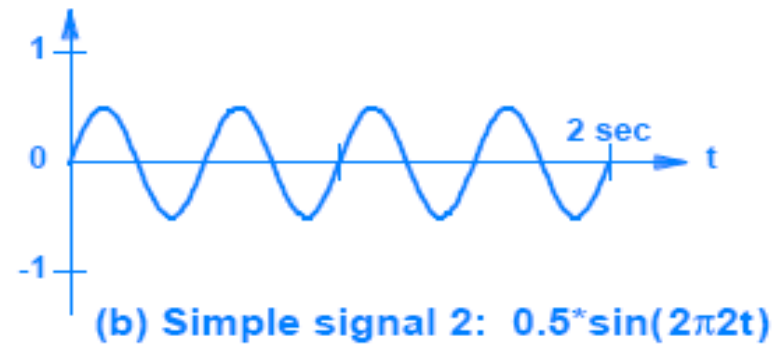
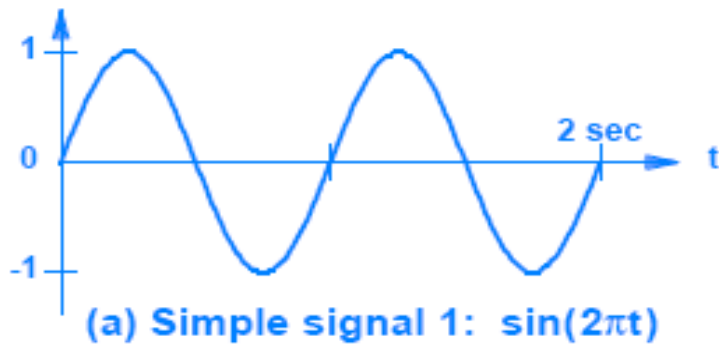


Figure 6.5 Illustration of a composite signal formed from two simple signals.

- Señales **simples** (P.ej. Fig. 6.3): una onda sinusoidal.
- Señales **compuestas** (P.ej. Fig. 6.5):
 - puede descomponerse en un conjunto de ondas sinusoidales simples.
 - Una **señal electromagnética** va a ser compuesta; además va a ser hecha de varias frecuencias.

Señales compuestas

- **Descubrimiento de Fourier**

- Toda señal es hecha a partir de un conjunto de funciones sinusoidales (cada una con frecuencia, amplitud y fase).

Señales compuestas

- Incluso una señal digital puede aproximarse por una suma de funciones sinusoidales.

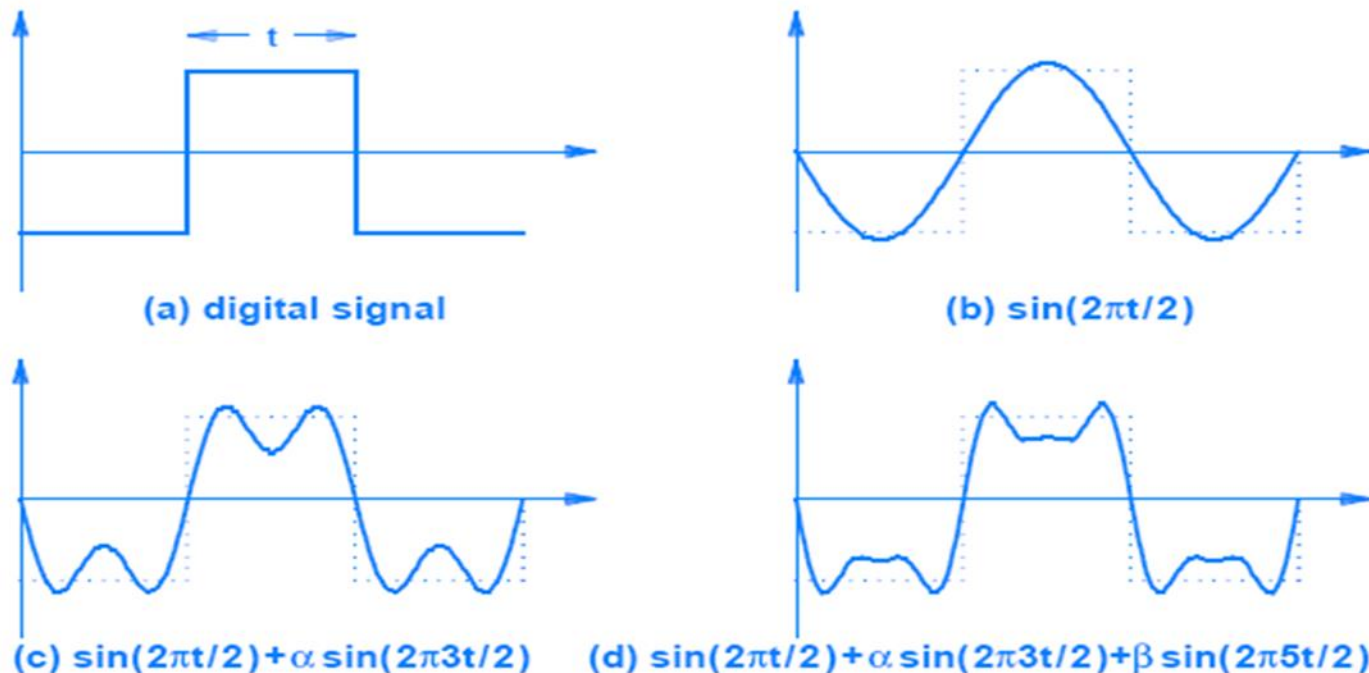


Figure 6.9 Approximation of a digital signal with sine waves.

Señales compuestas

- Si una señal compuesta es periódica, entonces las partes constitutivas son también periódicas
 - La mayoría de los sistemas usan señales compuestas para transportar información.
 - Una señal compuesta es creada en uno de los extremos y el receptor descompone la señal en sus componentes simples.

Capa física

- **Aprenderemos:**
 - Clasificación de señales
 - Ondas sinusoidales
 - Señales compuestas
 - **Representación gráfica de señales**
 - Señales digitales
 - Baudios y bits por segundo

Representaciones gráficas de las señales

- Hay distintas maneras de representar gráficamente las señales.
- **Representación de dominio de tiempo (ya visto)**
 - Grafo de una señal como función del tiempo.
- **Representación de dominio de frecuencia.**
 - **Grafo de domino de frecuencia**
 - Muestra conjunto de ondas sinusoidales simples que constituyen la función compuesta.
 - **$A \sin(2\pi ft)$** es representada por una línea simple de altura **A** que se posiciona en **$x = f$** .

Representación de dominio de frecuencias

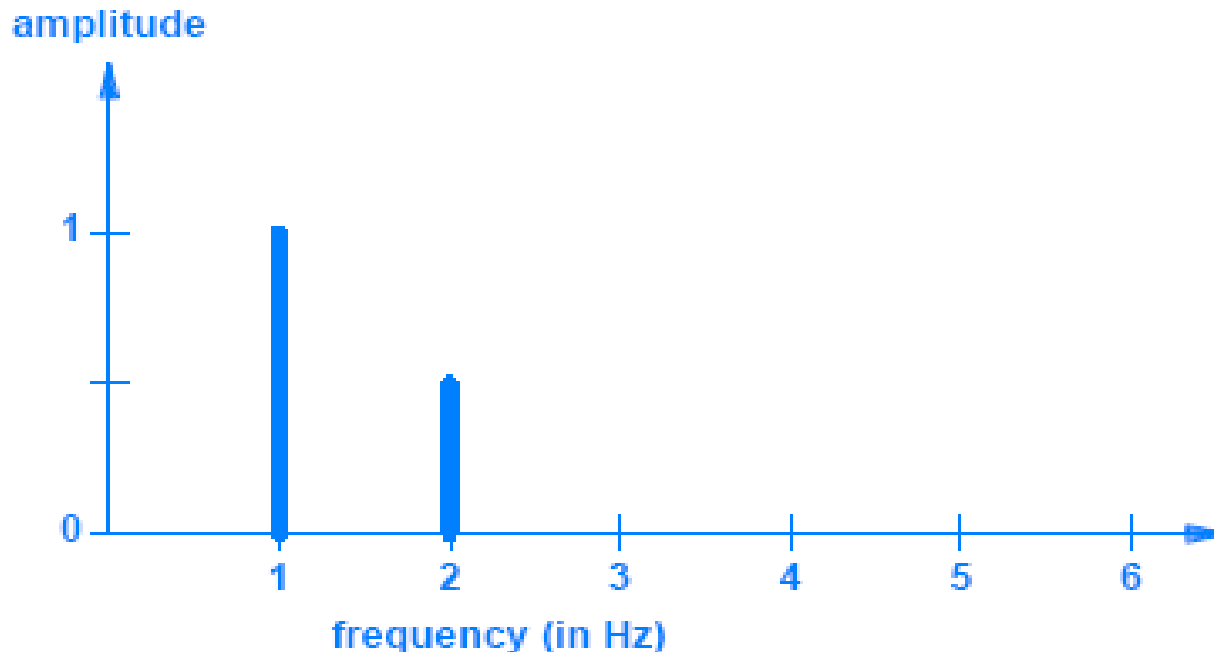


Figure 6.6 Representation of $\sin(2\pi t)$ and $0.5\sin(2\pi 2t)$ in the frequency domain.

Ejemplo: El grafo de dominio de frecuencia de la Fig. 6.6 representa una composición de Fig. 6.5c

Representación de dominio de frecuencias

- Ventajas de la representación de dominio de frecuencia: es muy compacta.
- El **espectro** de una señal = rango de frecuencias que contiene
 - Es el intervalo desde la frecuencia más chica a la frecuencia más grande.
- El **ancho de banda analógica** = ancho del espectro
 - Diferencia entre las frecuencias más alta y la más baja.

Representación de dominio de frecuencias

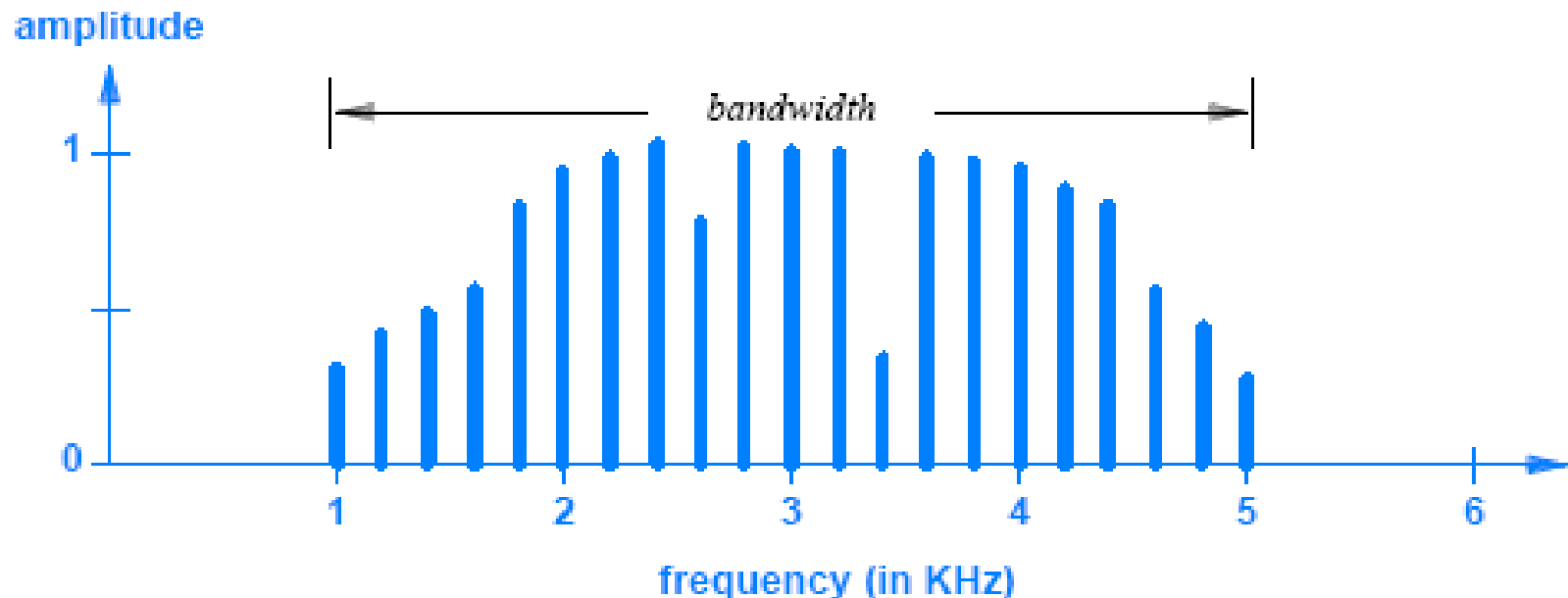


Figure 6.7 A frequency domain plot of an analog signal with a bandwidth of 4 KHz.

- **Ejemplo:** Fig. 6.7
 - Frecuencias en el rango audible por el oído humano.
 - El **ancho de banda** es $5 \text{ KHz} - 1 \text{ KHz} = 4 \text{ KHz}$.

Capa física

- **Aprenderemos:**
 - Clasificación de señales
 - Ondas sinusoidales
 - Señales compuestas
 - Representación gráfica de señales
 - **Señales digitales**
 - Baudios y bits por segundo

Señales digitales

- Las señales digitales usan **voltajes** para representar **valores digitales**
 - Mecanismos de transmisión físicos usan dos o más niveles de voltaje para enviar señales digitales.
 - Cada nivel representa un número binario.
 - Usar **2^n** niveles para representar número de **n** bits.

Señales digitales

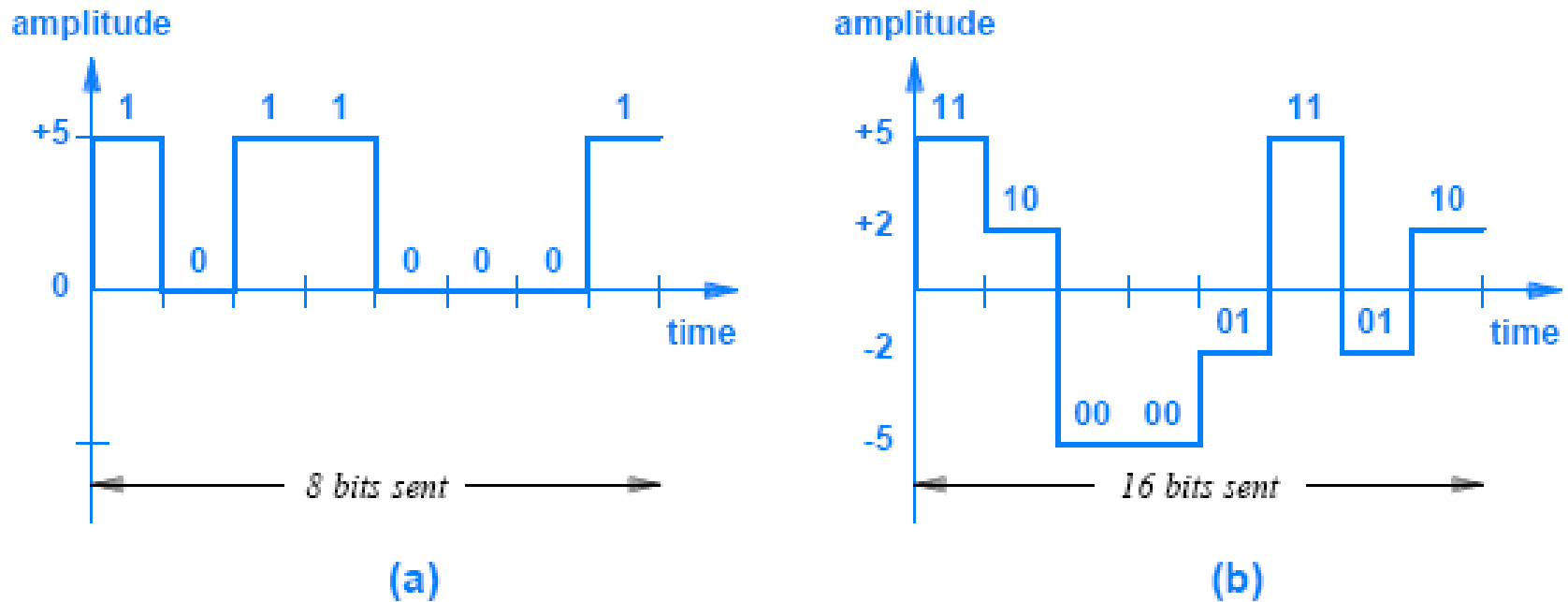


Figure 6.8 (a) A digital signal using two levels, and (b) a digital signal using four levels.

Ejemplo: (a) un voltaje positivo corresponde al **uno lógico** y un voltaje cero corresponde al **cero lógico**. (b) 4 niveles de voltaje: 5 V, -2 V, +2 V, +5 V.

Ruido

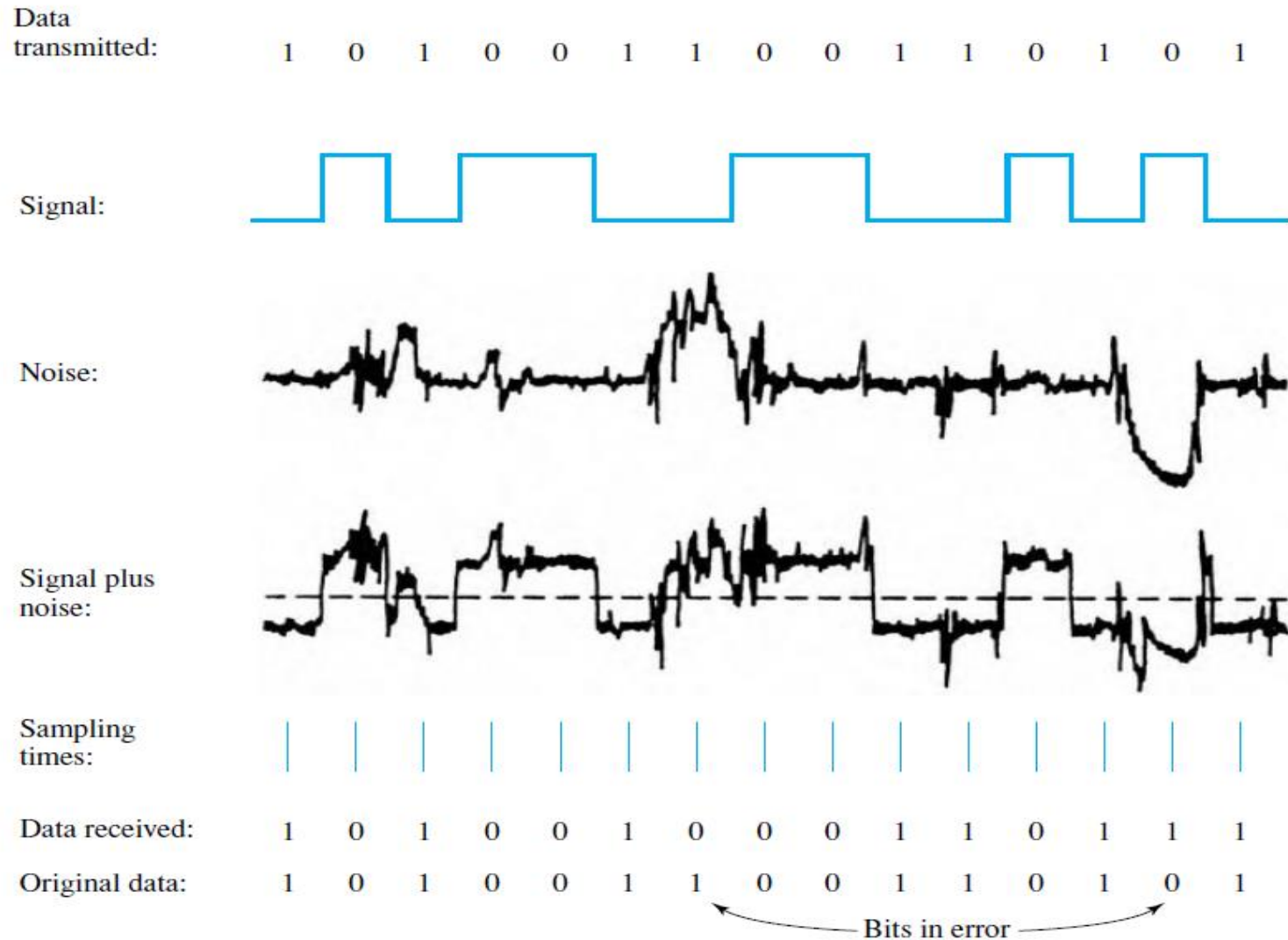
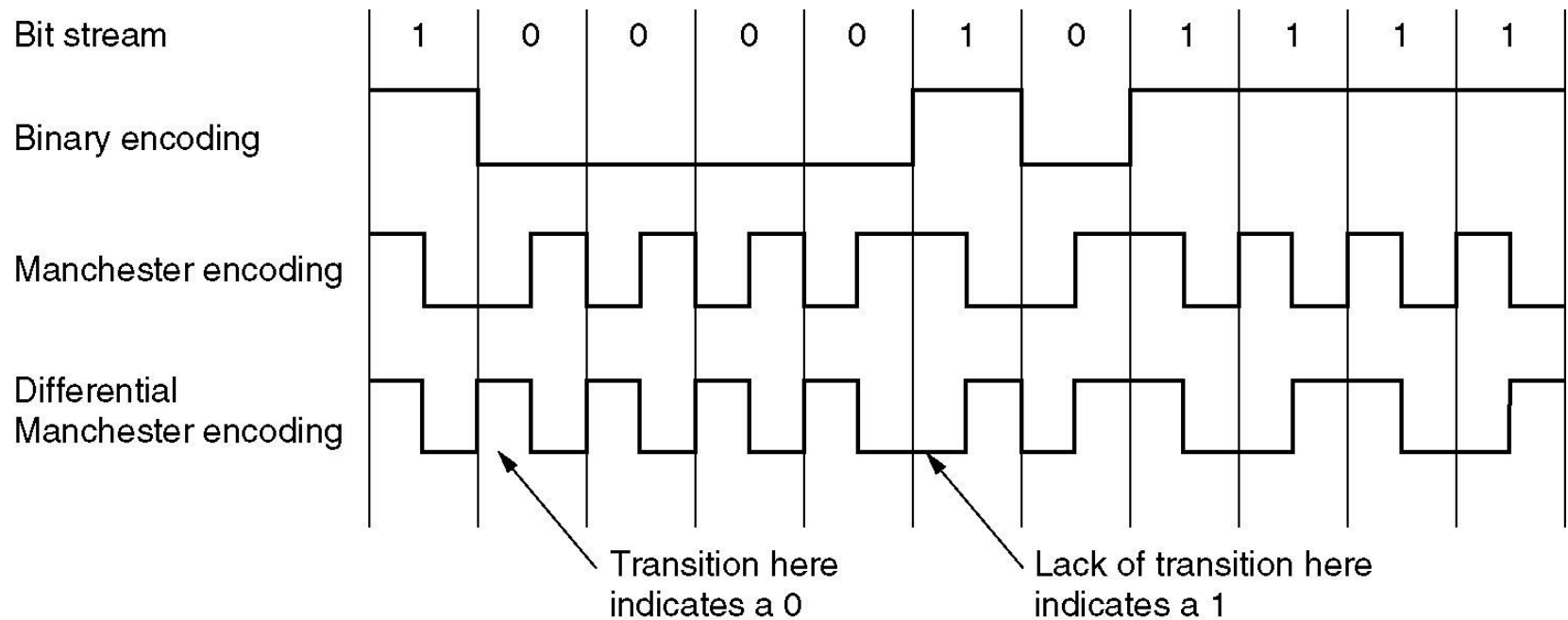


Figure 3.16 Effect of Noise on a Digital Signal

Codificación de Bits en Ethernet

- **Propósito:** Comprender **cómo se trabaja con señales digitales en Ethernet y en Fast Ethernet.**
- **Solución 1: Codificación Manchester**
 - ☐ Cada período de bit se divide en dos intervalos iguales.
 - ☐ Un bit 1 se envía teniendo un voltaje alto en el primer intervalo y bajo durante el segundo.
 - ☐ Un 0 binario es justo lo inverso: primero bajo y después alto.
- **Solución 2: Codificación Manchester Diferencial**
 - ☐ un bit 1 se indica mediante la ausencia de una transición al inicio del intervalo.
 - ☐ Un bit 0 se indica mediante la presencia de una transición al inicio del intervalo.
 - ☐ En ambos casos, también hay una transición a la mitad.
- **Evaluación:** El esquema diferencial requiere equipo más complejo, pero ofrece mejor inmunidad al ruido.

Codificación Manchester



(a) Binary encoding, (b) Manchester encoding,
(c) Differential Manchester encoding.

Codificación de Bits en Ethernet

- Todos los sistemas Ethernet usan codificaciones Manchester.
 - ❑ La señal alta es de 0,85 voltios y la baja de $-0,85$ voltios.
- **100BASE-FX (fast ethernet)**
 - ❑ 2 líneas de fibra óptica : una para recepción (RX) y la otra para transmitir (TX).
 - ❑ La distancia entre una estación y el conmutador es de hasta 2 km.
 - ❑ Los cables 100BaseFX deben conectarse a conmutadores.
 - Los concentradores no están permitidos con 100Base-FX

Codificación de Bits en 100BASE-FX

- **100BASE-FX (cont):**

- ☐ La codificación es mediante el esquema 4B/5B NRZI.
- ☐ Cada 4 bits de datos son codificados en un símbolo con 5 bits de código, tal que cada bit de código contiene un simple elemento de señal. El bloque de código de 5 bits se llama **grupo de código**.
- ☐ Para asegurar sincronización cada bit de código del stream de 4B/5B es tratado como un valor binario y codificado así: un bit 1 se representa con una transición al comienzo del intervalo de bit y un 0 se representa con ninguna transición al comienzo del intervalo de bit.
- ☐ Cada grupo de 5 períodos de reloj da 32 combinaciones, Las 16 primeros se usan para transmitir números entre 0 y 15. Algunos de los 16 valores restantes se usan para control, como el marcado de límites de tramas.
- ☐ Una transición está presente al menos 2 veces para cada 5-code. No más de 3 ceros son permitidos en un 5-code.

TABLE 13.8 4B/5B code groups.

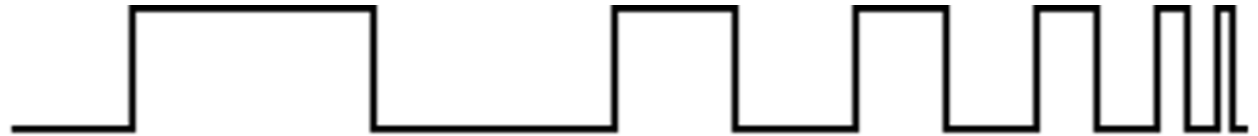
Data input (4 bits)	Code group (5 bits)	NRZI pattern	Interpretation
0000	11110		Data 0
0001	01001		Data 1
0010	10100		Data 2
0011	10101		Data 3
0100	01010		Data 4
0101	01011		Data 5
0110	01110		Data 6
0111	01111		Data 7
1000	10010		Data 8
1001	10011		Data 9
1010	10110		Data A
1011	10111		Data B
1100	11010		Data C
1101	11011		Data D
1110	11100		Data E
1111	11101		Data F
	11111		Idle
	11000		Start of stream delimiter, part 1
	10001		Start of stream delimiter, part 2
	01101		End of stream delimiter, part 1
	00111		End of stream delimiter, part 2
	00100		Transmit error
	other		Invalid codes

Señales digitales vs señales analógicas

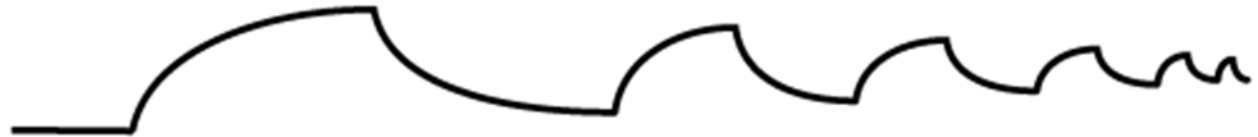
- Las señales digitales generalmente son más baratas que las señales analógicas y son menos susceptibles a interferencias de ruidos.
- Las señales digitales sufren más de **atenuación** (reducción de fuerza de la señal) que las señales analógicas.
 - A frecuencias mayores los pulsos se tornan más redondeados y pequeños.
 - Esta atenuación puede llevar rápidamente a la pérdida de información contenida en la señal.

Atenuación de señales digitales

Voltage at
transmitting end



Voltage at
receiving end



Capa física

- **Aprenderemos:**
 - Clasificación de señales
 - Ondas sinusoidales
 - Señales compuestas
 - Representación gráfica de señales
 - Señales digitales
 - **Baudios y bits por segundo**

Baudios y Bits por Segundo

- Ahora estudiamos cómo se determina la cantidad de bits por segundo de una señal digital.
- **La respuesta depende de los siguientes factores:**
 - Del número de niveles de señal
 - De la cantidad de tiempo que el sistema permanece en un nivel dado antes de moverse al siguiente.
- **Ejemplo:** (Fig. 6.8a) Se envía un bit durante cada uno de los 8 segmentos.

Baudios y Bits por Segundo

- El hardware coloca **límites** en cuán corto el tiempo en un nivel debe ser.
 - Si la señal no permanece en un nivel por suficiente tiempo, el **hardware receptor (p.ej. tarjeta controladora)** va a fallar en detectarlo.
 - La cantidad de veces que una señal puede cambiar por segundo se mide en **baudios**.
 - **Ejemplo**: Si se requiere que la señal permanezca en un nivel por 0,001 seg, decimos que el sistema opera a 1000 baud.
- baud y número de niveles de señal controlan la **tasa de bits**.

Baudios y Bits por Segundo

- Si se tiene 2 niveles de señal y opera a 1000 baud
 - El sistema puede transferir exactamente 1000 bps.
- Si se tiene 1000 baud y 4 niveles de señal
 - El sistema puede transferir 2000 bps.
- Relación entre baudios, niveles de señal y tasa de bits.

$$\text{bits por segundo} = N^{\circ} \text{ baudios} \times \lfloor \log_2(\text{niveles}) \rfloor$$

Bibliografía Adicional

- Las filminas de la 5 a la 23, 26, 27 fueron sacadas del libro:
 - Comer. Computer Networks and Internets. Quinta edición (del 2008).