

**3. Señales, codificación y modulación**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Contenido**

- a. Señales digitales
- b. Conversión digital a digital
- c. Conversión analógico a digital
- d. Conversión digital a analógico
- e. Conversión analógico a analógico

---

---

---

---

---

---

---

---

**a. Señales digitales**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Para ser transmitidos, los datos deben ser transformados en señales electromagnéticas**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Los datos pueden ser analógicos o digitales  
Los datos analógicos son continuos y toman valores continuos.  
Los datos digitales toman estados discretos y toman valores discretos.**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Las señales analógicas pueden tener un rango de infinito número de valores; las señales digitales solo tienen un número limitado de valores.**

---

---

---

---

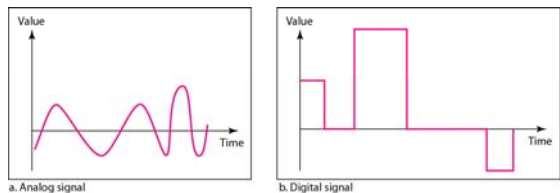
---

---

---

---

**Comparación entre señal analógica y digital**




---

---

---

---

---

---

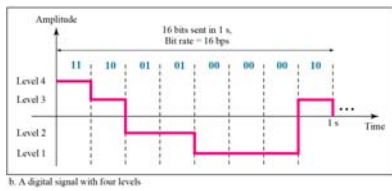
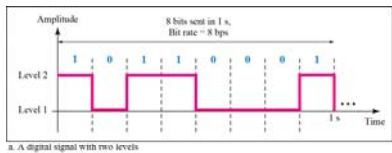
---

---

---

---

**Dos señales digitales: una con 2 niveles de señal y otra con 4 niveles de señal**




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Ejemplo:**

Una señal digital tiene 8 niveles. ¿Cuántos bits son necesarios por nivel? Calculemos el número de bit con esta fórmula:

$$\text{Number of bits per level} = \log_2 8 = 3$$

Cada nivel de señal representa 3 bits

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Ejemplo**

Un canal de voz digitalizado, esta hecho por la digitalización de una señal de voz de un ancho de banda de a 4 KHz. Necesitamos muestrear la señal dos veces en su más alta frecuencia (dos muestras por Hertz).

Asumimos que cada muestras requiere 8 bits. ¿Cuál es la velocidad de transmisión requerida?

**Solución**

La velocidad de transmisión puede ser calculada por:

$$2 \times 4000 \times 8 = 64,000 \text{ bps} = 64 \text{ kbps}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Ejemplo**

¿Cuál es la velocidad de transmisión requerida para un canal de televisión de alta definición (HDTV)?

**Solución**

HDTV usa señales digitales para difundir señales de televisión de video de alta definición.

La pantalla de televisión HDTV tiene una relación de 1:9. Hay 1920 x 1080 pixels por pantalla, y la pantalla es renovada 30 veces por segundo. Cada pixel de color esta representado por 24 bits.

$$1920 \times 1080 \times 30 \times 24 = 1,492,992,000 \text{ or } 1.5 \text{ Gbps}$$

Las estaciones de TV reducen esta velocidad entre 20 y 40 Mbps a través de compresión.

---

---

---

---

---

---

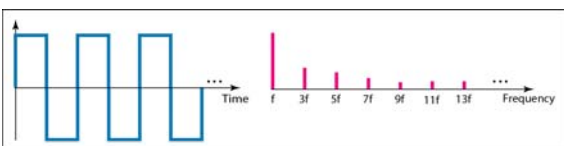
---

---

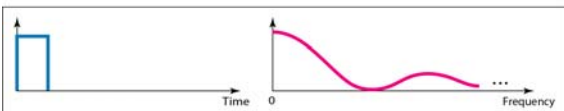
---

---

**Dominio de tiempo y frecuencia de señales digitales periódicas y no periódicas**



a. Time and frequency domains of periodic digital signal



b. Time and frequency domains of nonperiodic digital signal

---

---

---

---

---

---

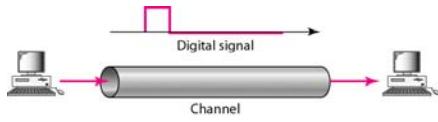
---

---

---

---

**Transmisión banda base**



---

---

---

---

---

---

---

---

**El incremento de niveles de una señal puede reducir la confiabilidad del sistema.**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Relación entre velocidad de transmisión, ancho de banda y número de niveles**

$$V_{tx} = 2BW \times \log_2 L$$

Donde:

$V_{tx}$  = velocidad de transmisión

$BW$  = ancho de banda

$L$  = número de niveles de señal usados para representar a los datos

---

---

---

---

---

---

---

---

**Ejemplo**

Considere un canal sin ruido con un ancho de banda de 3000 Hz, que transmite una señal de dos niveles de señal.

La máxima velocidad de transmisión es calculada como:

$$\text{BitRate} = 2 \times 3000 \times \log_2 2 = 6000 \text{ bps}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

**Ejemplo**

Consideremos el mismo canal sin ruido, transmitiendo una señal con cuatro niveles (por cada nivel, enviamos dos bits)

La máxima velocidad de transmisión es:

$$\text{BitRate} = 2 \times 3000 \times \log_2 4 = 12,000 \text{ bps}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

**Ejemplo**

Se necesita enviar 265 kbps sobre un canal no ruidoso con un ancho de banda de 20 kHz. ¿Cuántos niveles de señal serán requeridos?

**Solución**

Podemos usar la fórmula:

$$265,000 = 2 \times 20,000 \times \log_2 L$$

$$\log_2 L = 6.625 \quad L = 2^{6.625} = 98.7 \text{ levels}$$

Como esta no es una potencia de 2, requerimos incrementar el número de niveles ó reducir la velocidad de transmisión. Si tenemos 128 niveles, la velocidad será de 280 kbps. Si usamos 64 niveles, la velocidad será de 240 kbps

---

---

---

---

---

---

---

---

**Capacidad de Shannon**

$$C = BW \times \log_2 \left[ \frac{S}{N} + 1 \right]$$

Donde:

C = capacidad del canal en bit/second

BW = ancho de banda

S/N = relación de señal a ruido (numérica, no en dB)

---

---

---

---

---

---

---

---

**Example**

Calculemos la máxima velocidad de transmisión teórica de una canal telefónico regular (no par metálico). Un canal telefónico normalmente tiene un ancho de banda de 3000 Hz. La relación S/R es usualmente 3162. Para este canal la capacidad esta dada por:

$$C = B \log_2 (1 + \text{SNR}) = 3000 \log_2 (1 + 3162) = 3000 \log_2 3163 = 3000 \times 11.62 = 34,860 \text{ bps}$$

Esto significa que la mas alta velocidad de transmisión es de 34.860 kbps. Si deseamos enviar mayor velocidad, tenemos que incrementar el ancho de banda o mejorrar la relación S/N

---

---

---

---

---

---

---

---

**Ejemplo**

La relación S/N a menudo se brinda en decibelios (dB).  
 Asumiendo que la S/N (dB) = 36 y el ancho de banda del canal es de 2 MHz.  
 La capacidad teórica máxima del canal se puede calcular como:

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \text{SNR} \implies \text{SNR} = 10^{\text{SNR}_{\text{dB}}/10} \implies \text{SNR} = 10^{3.6} = 3981$$

$$C = B \log_2 (1 + \text{SNR}) = 2 \times 10^6 \times \log_2 3982 = 24 \text{ Mbps}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

La capacidad de Shannon nos da el límite superior: la fórmula de Nyquist nos indica cuantos niveles son necesarios

---

---

---

---

---

---

---

---

b. Conversión digital a digital

---

---

---

---

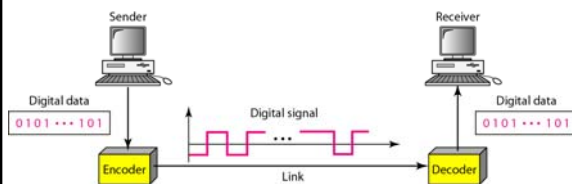
---

---

---

---

### Codificación y decodificación de línea



---

---

---

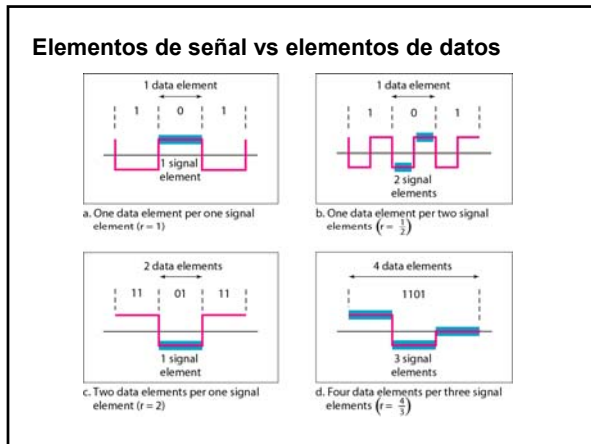
---

---

---

---

---




---

---

---

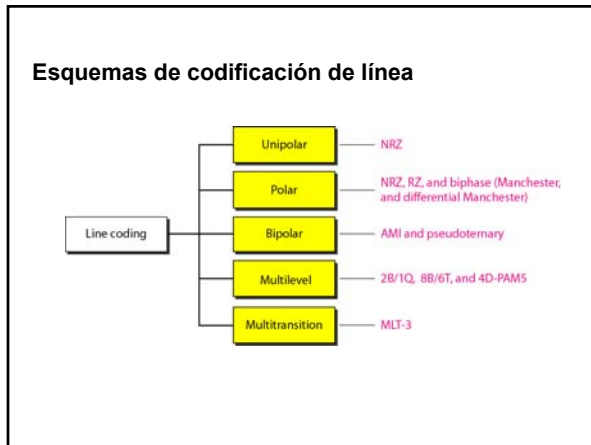
---

---

---

---

---




---

---

---

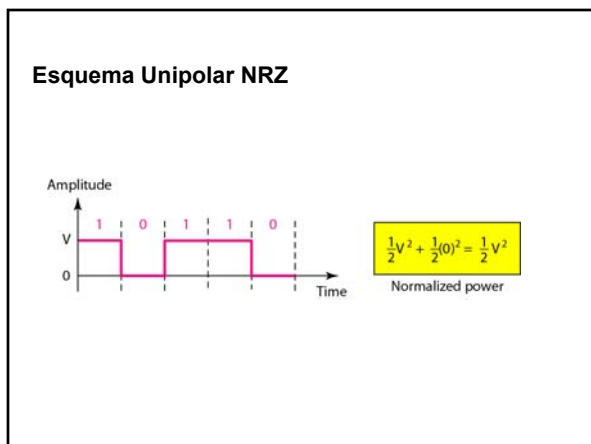
---

---

---

---

---




---

---

---

---

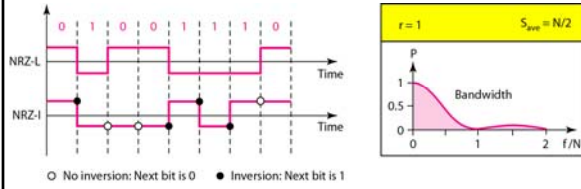
---

---

---

---

### Esquemas Polar NRZ-L y NRZ-I




---

---

---

---

---

---

---

---

**Los esquemas NRZ-L y NRZ-I tienen el problema de la componente DC.**

---

---

---

---

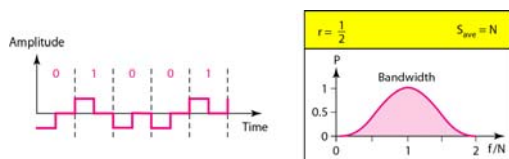
---

---

---

---

### Esquema RZ Polar




---

---

---

---

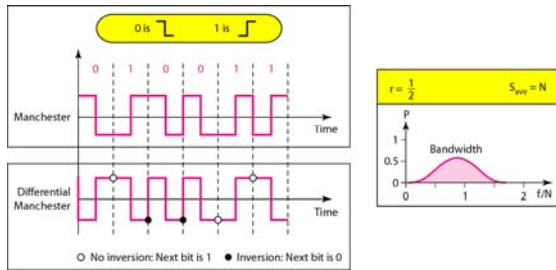
---

---

---

---

**Polar bifase: Manchester y Manchester diferencial**




---

---

---

---

---

---

---

---

**En las codificaciones Manchester y Manchester diferencial, la transición en el medio del bit se usa para sincronización.**

---

---

---

---

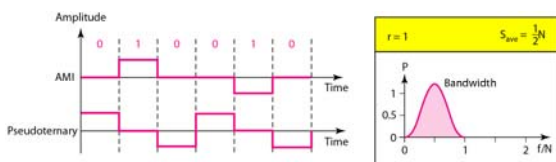
---

---

---

---

**Esquemas Bipolares: AMI y pseudoternario**




---

---

---

---

---

---

---

---

En los esquemas  $mBnL$ , un patrón de  $m$  elementos de datos es codificado como un patrón de  $n$  elementos de señal en el cual  $2^m \leq L^n$ .

---

---

---

---

---

---

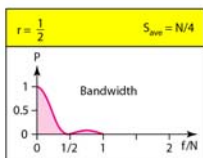
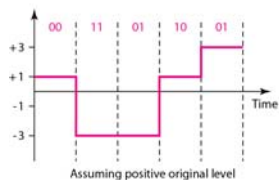
---

---

**Multinivel: esquema 2B1Q**

Next bits	Previous level:	
	positive	negative
00	+1	-1
01	+3	-3
10	-1	+1
11	-3	+3

Transition table




---

---

---

---

---

---

---

---

**Sumario de los esquemas de los códigos de línea**

Category	Scheme	Bandwidth (average)	Characteristics
Unipolar	NRZ	$B = N/2$	Costly, no self-synchronization if long 0s or 1s, DC
	NRZ-L	$B = N/2$	No self-synchronization if long 0s or 1s, DC
Unipolar	NRZ-1	$B = N/2$	No self-synchronization for long 0s, DC
	Biphase	$B = N$	Self-synchronization, no DC, high bandwidth
Bipolar	AMI	$B = N/2$	No self-synchronization for long 0s, DC
	2B1Q	$B = N/4$	No self-synchronization for long same double bits
Multilevel	8B6T	$B = 3N/4$	Self-synchronization, no DC
	4D-PAM5	$B = N/8$	Self-synchronization, no DC
Multiline	MLT-3	$B = N/3$	No self-synchronization for long 0s

---

---

---

---

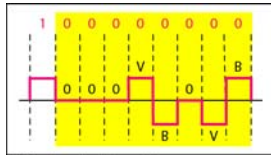
---

---

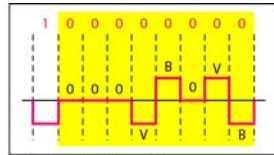
---

---

**Dos casos de la técnica B8ZS**



a. Previous level is positive.



b. Previous level is negative.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**B8ZS sustituye 8 ceros consecutivos con 000VB0VB.**

---

---

---

---

---

---

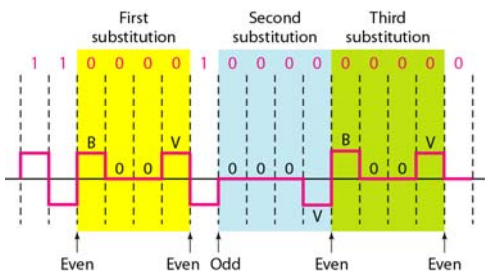
---

---

---

---

**Diferentes situaciones en la técnica HDB3**




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**HDB3 sustituye cuatro ceros consecutivos con 000V ó B00V dependiendo del número de pulsos no ceros después de la última sustitución.**

---

---

---

---

---

---

---

---

**c. Conversión analógico a digital**

---

---

---

---

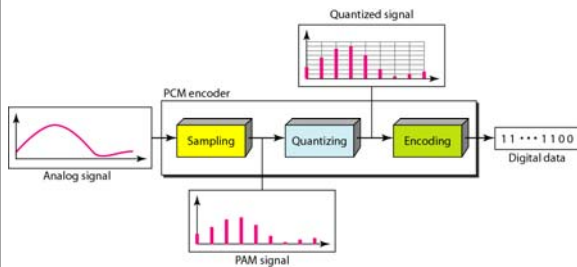
---

---

---

---

**Componentes de un codificador PCM**



---

---

---

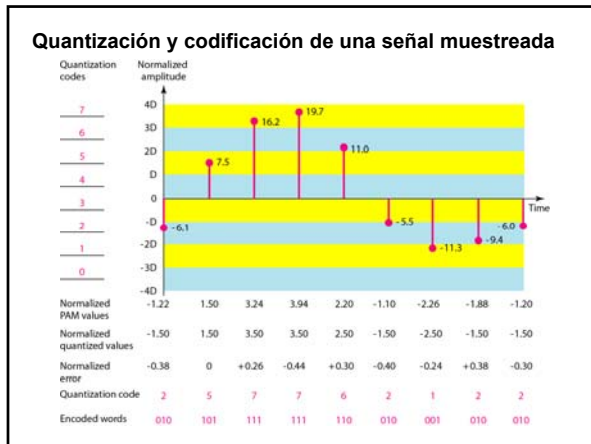
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

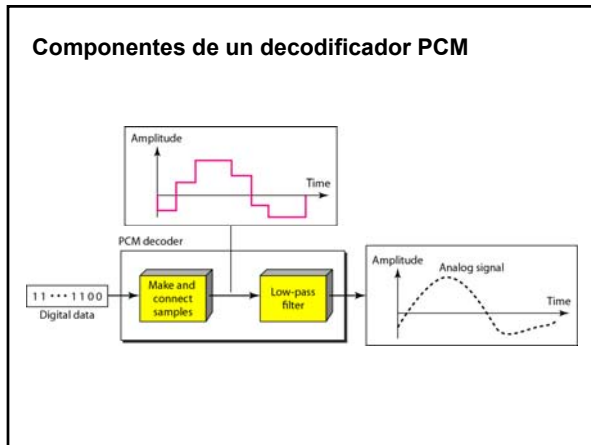
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

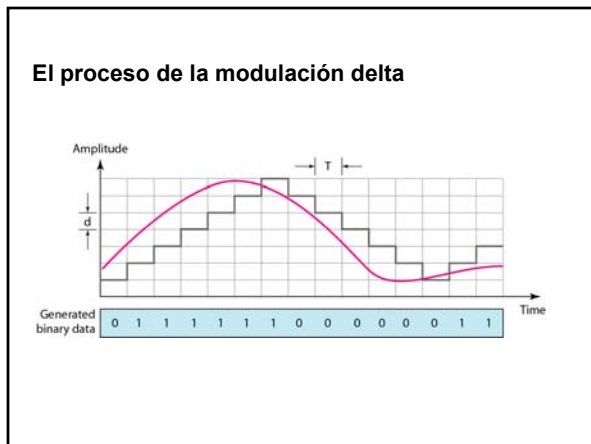
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

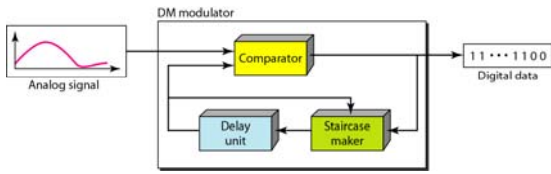
---

---

---

---

### Componentes de la modulación Delta



---

---

---

---

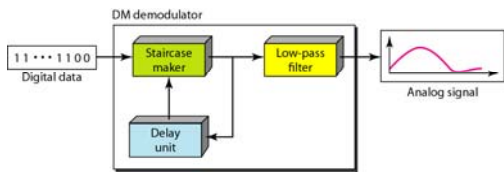
---

---

---

---

### Componentes de la demodulación Delta



---

---

---

---

---

---

---

---

### d. Conversión digital a analógico

---

---

---

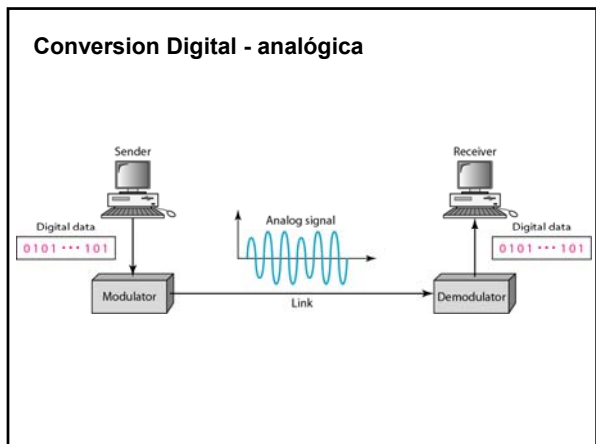
---

---

---

---

---




---

---

---

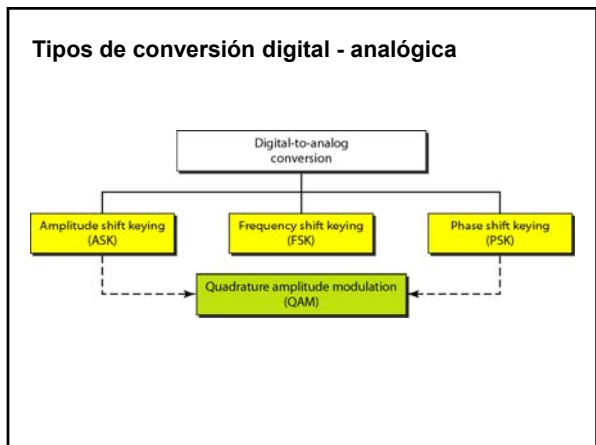
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

**La velocidad de transmisión ( $V_{tx}$ ) es el número de bits/seg. La velocidad de modulación ( $V_m$ ) ó velocidad de símbolos, es el número de cambios de señal en la línea por segundo. En la transmisión analógica de datos digitales, la velocidad de modulación es igual o menor que la velocidad de transmisión.**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Relación entre Velocidad de transmisión y Velocidad de modulación**

La relación entre velocidad de transmisión (N) y velocidad de modulación (symbol) (S) es:

$$S = \frac{1}{T} \quad N = S \log_2 L \quad r = \log_2 L$$

Donde:

T = periodo de la señal digital transmitida

S = velocidad de modulación (symbol) en symbols/seg

N = velocidad de transmisión en bits/seg

r = número de elementos de datos transportado por un elemento de señal en la línea

L = número de cambios significativos en la línea

---

---

---

---

---

---

---

---

**Ejemplo**

Una señal analógica tiene una  $V_{tx} = 8000$  bps y una  $V_m = 1000$  baud. ¿Cuántos elementos de datos transporta cada elemento de señal? ¿Cuántos elementos de señal ó cambios en la línea serán necesarios?

**Solución**

En este ejemplo,  $V_m = 1000$ ,  $V_{tx} = 8000$ . Los valores de r y L son desconocidos. Haremos primero el valor de r luego L.

$$S = N \times \frac{1}{r} \quad \rightarrow \quad r = \frac{N}{S} = \frac{8000}{1000} = 8 \text{ bits/ baud}$$

$$r = \log_2 L \quad \rightarrow \quad L = 2^r = 2^8 = 256$$

---

---

---

---

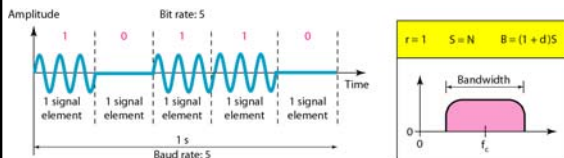
---

---

---

---

**ASK (amplitude shift keying)**




---

---

---

---

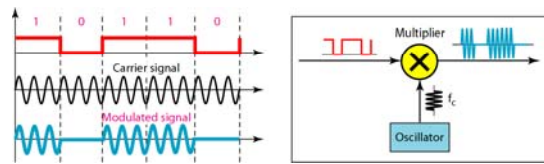
---

---

---

---

### Implementación del ASK




---

---

---

---

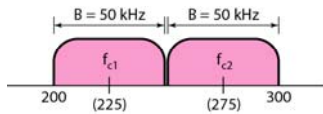
---

---

---

---

### Ancho de banda del ASK full duplex




---

---

---

---

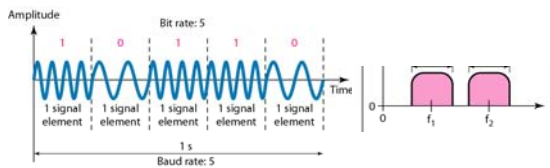
---

---

---

---

### FSK - frequency shift keying




---

---

---

---

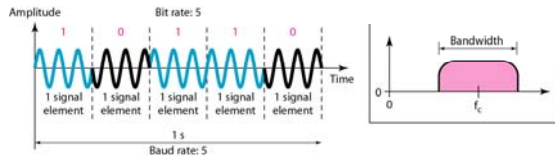
---

---

---

---

**PSK - phase shift keying**




---

---

---

---

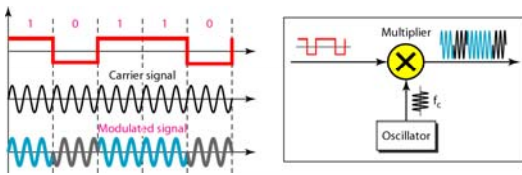
---

---

---

---

**Implementación de BPSK**




---

---

---

---

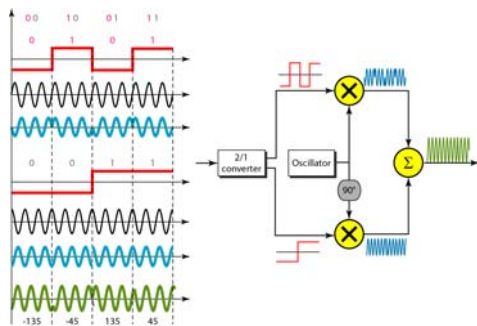
---

---

---

---

**QPSK y su implementación**




---

---

---

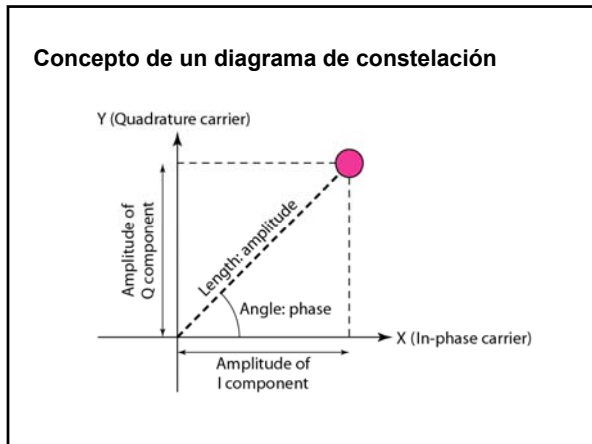
---

---

---

---

---




---

---

---

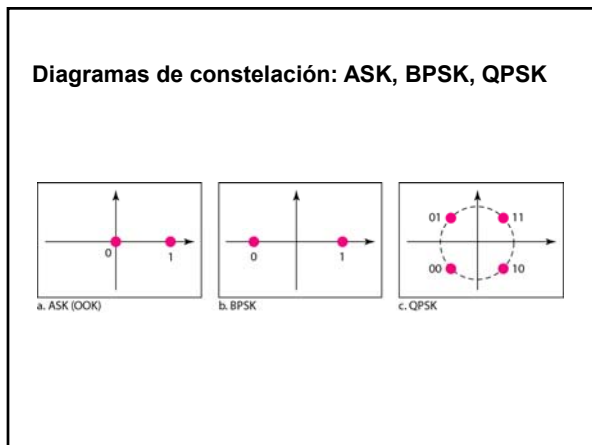
---

---

---

---

---




---

---

---

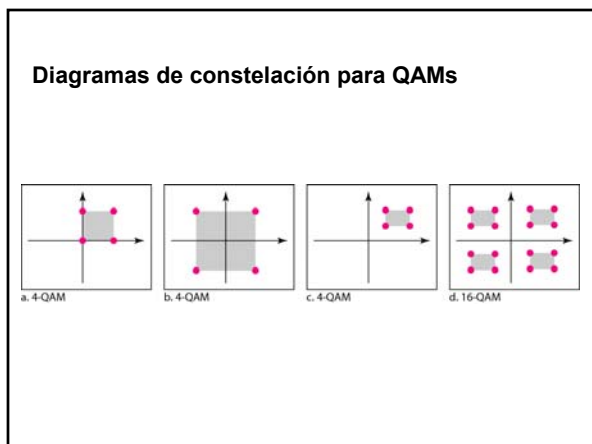
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

**e. Conversión analógico a analógico**

---

---

---

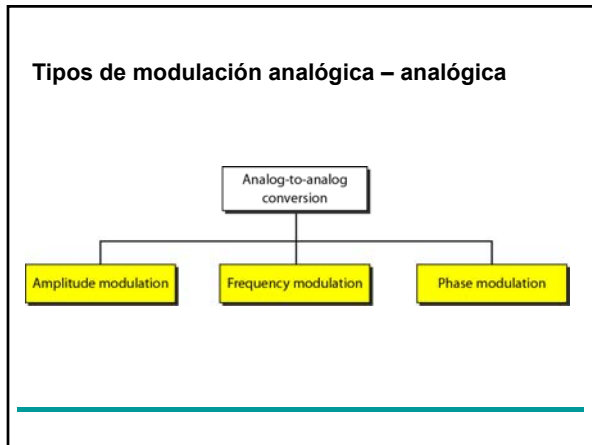
---

---

---

---

---



---

---

---

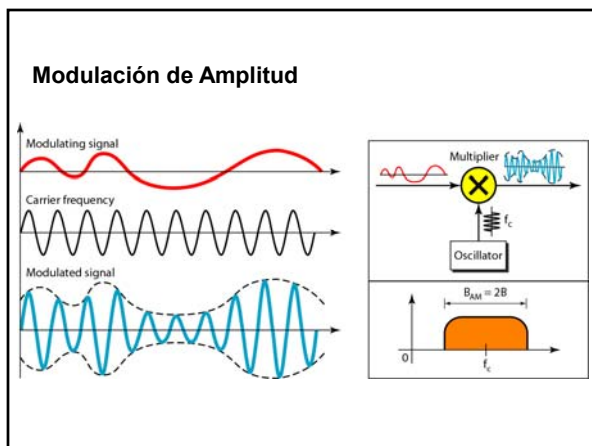
---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

---

---

---

El ancho de banda total requerido por la modulación AM puede ser determinado por el ancho de banda de la señal de audio:  $B_{AM} = 2B$ .

---

---

---

---

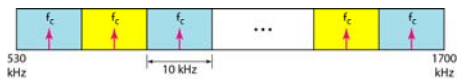
---

---

---

---

#### Asignación de la banda AM




---

---

---

---

---

---

---

---

El ancho de banda requerido por la modulación FM puede ser determinado por el ancho de banda de la señal de audio:  $B_{FM} = 2(1 + \beta)B$

---

---

---

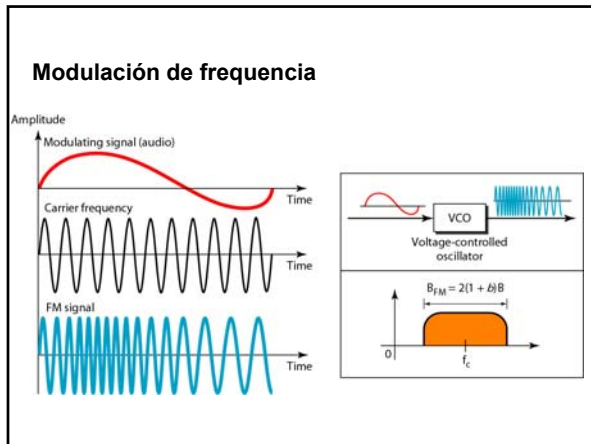
---

---

---

---

---




---

---

---

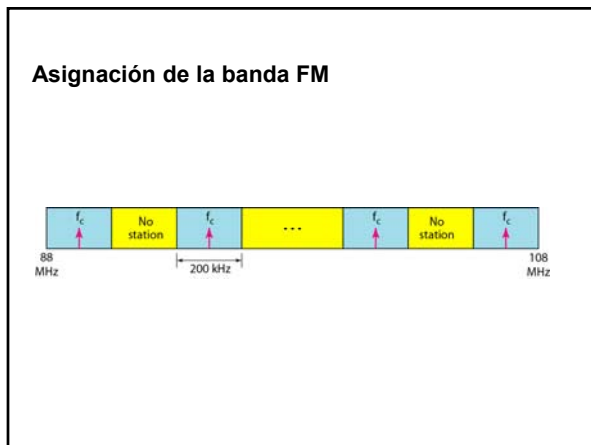
---

---

---

---

---




---

---

---

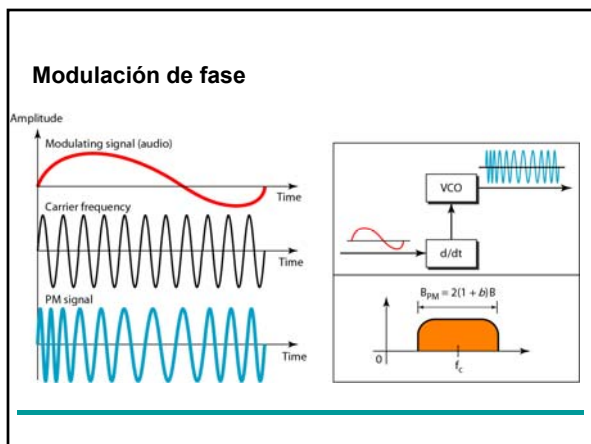
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---