

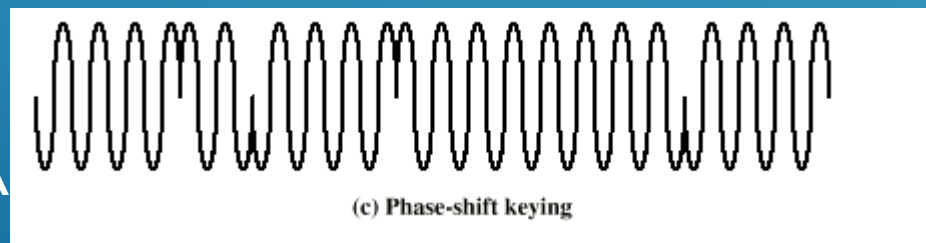
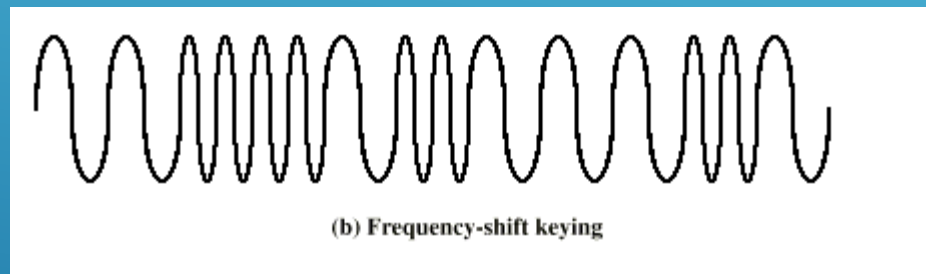
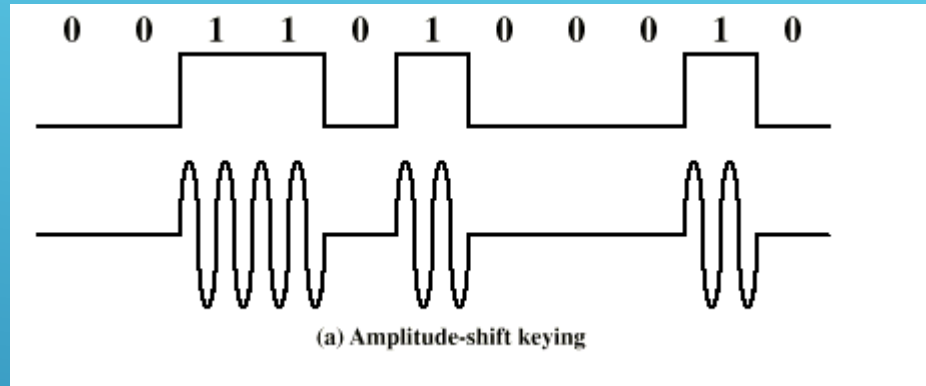


**UTN – FRBA**

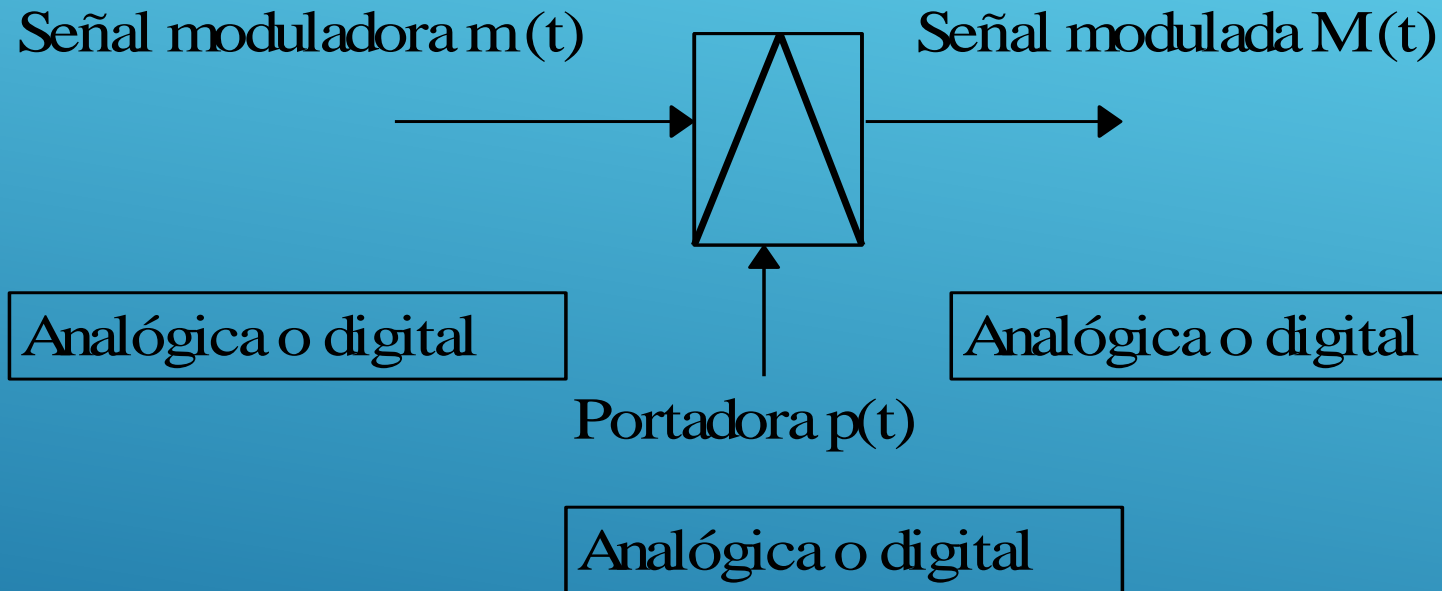
**COMUNICACIONES**



**UNIDAD TEMÁTICA N° 8**  
**MODULACIÓN**



# ESQUEMA BÁSICO DE MODULACIÓN



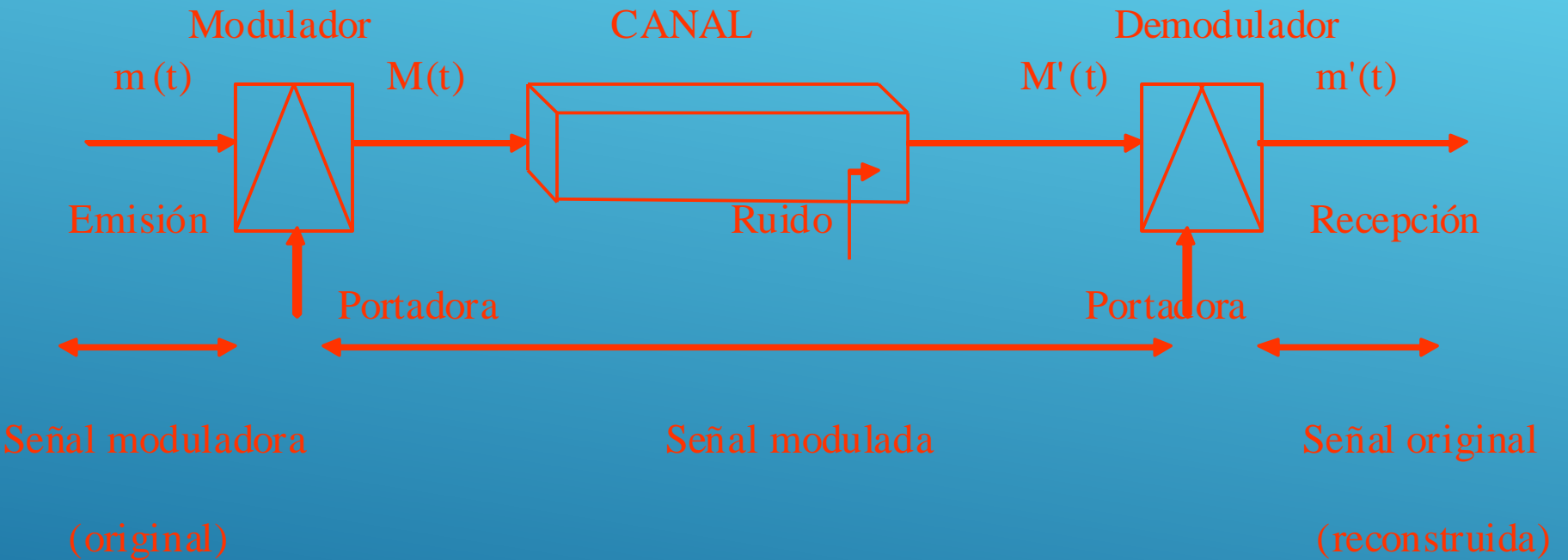
# MODULACION

La modulación es un proceso que consiste en transformar una señal (que representa información) en otro tipo de señal adecuada para su transmisión por un medio de comunicación, sin modificar sustancialmente la información que ella representaba.

Mediante un Modulador, una señal llamada portadora  $p(t)$  es transformada por una señal llamada moduladora  $m(t)$ , obteniéndose como producto una señal que se conoce como modulada  $M(t)$ .

La operación de recuperación de la señal original es llevada a cabo por un demodulador.

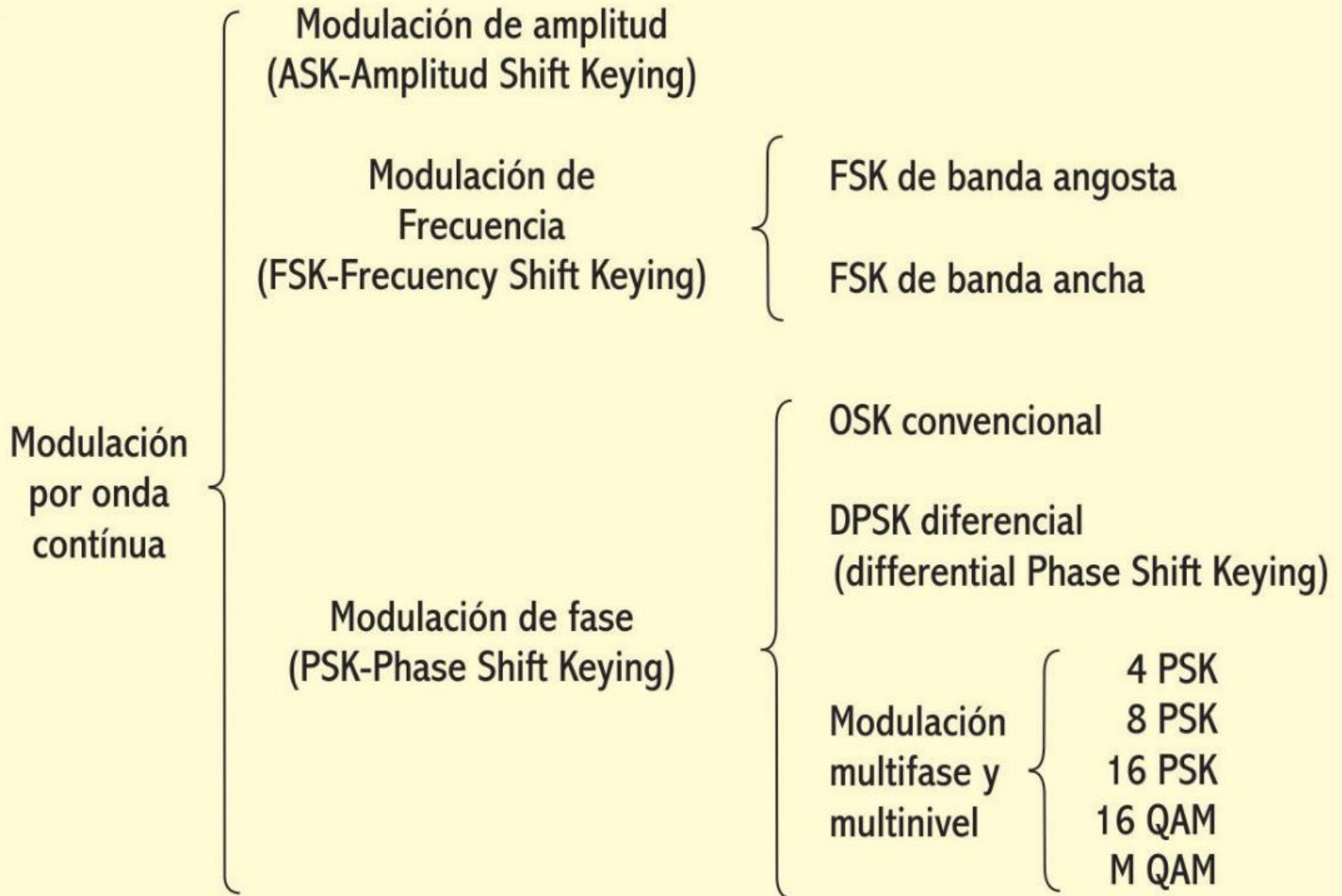
# ESQUEMA DE UNA TRANSMISIÓN MODULADA

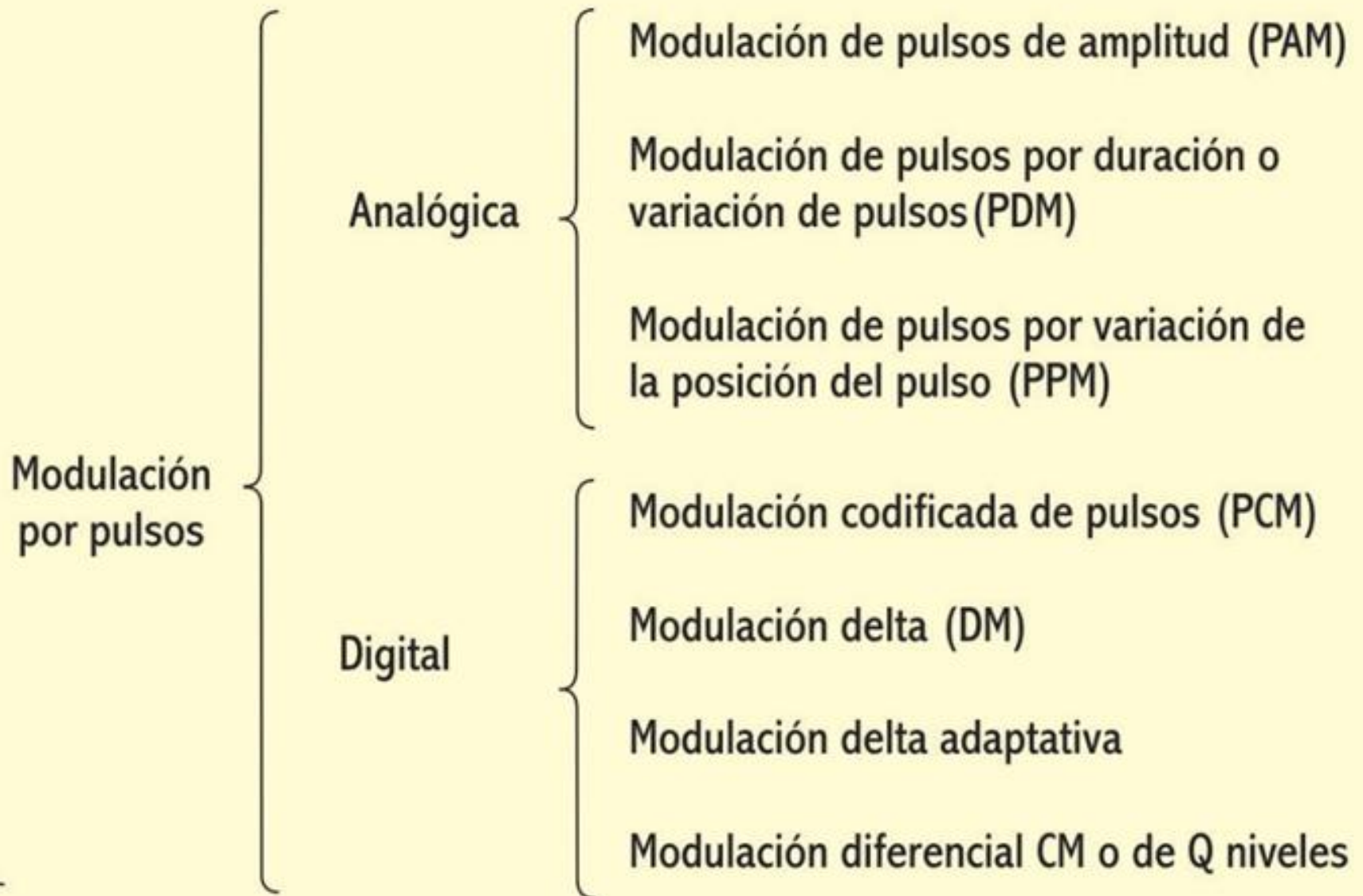


# TIPOS DE MODULACION

Tipo de modulación	Moduladora	Portadora	Modulada	Nombre de la modulación
Continua analógica	Analógica	Analógica	Analógica	AM FM PM
Continua analógica	Digital	Analógica	Analógica	ASK FSK PSK      DPSK M-PSK   M-QAM
Por pulsos analógica	Analógica	Digital	Analógica	PAM PDM PPM
Por pulsos digital	Digital	Digital	Digital	PCM (MIC) DPCM DELTA DELTA ADAPTIVA

# TIPOS DE MODULACION

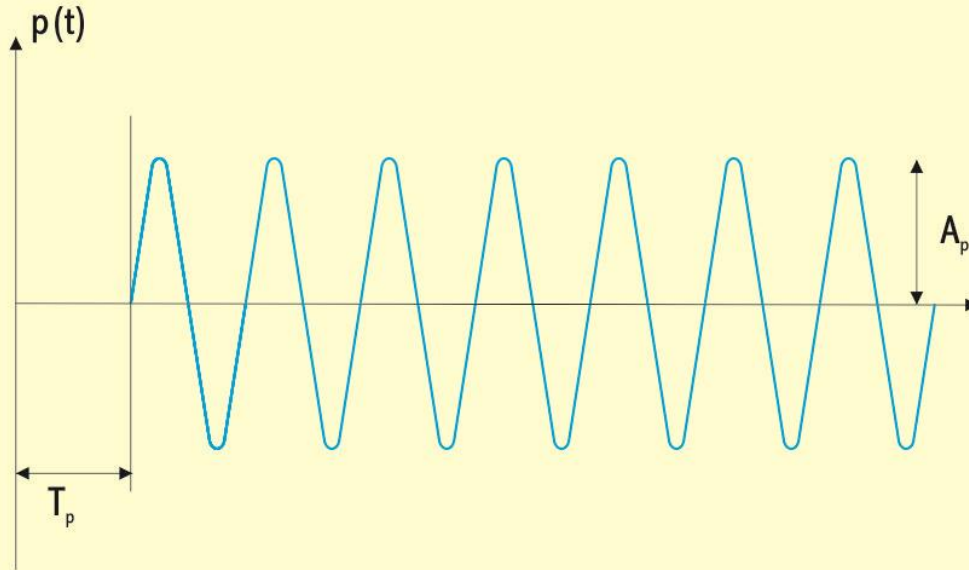






# MODULACIÓN POR ONDA CONTINUA

PORTADORA  $p(t) = A_p \sin(\omega_p t + \theta_p)$



$$f_p = \frac{1}{T_p} = \text{frecuencia de la portadora}$$

$A_p$  = amplitud máxima de la portadora

$T_p$  = período de la portadora

$\omega_p = 2\pi f_p$  = pulsación de la portadora

$\theta_p$  = fase de la portadora

$p(t)$  = Amplitud instantánea de la portadora

CON LA MODULACIÓN SE MODIFICAN ALGUNO DE LOS SIGUIENTES PARÁMETROS:

- AMPLITUD
- FRECUENCIA
- FASE

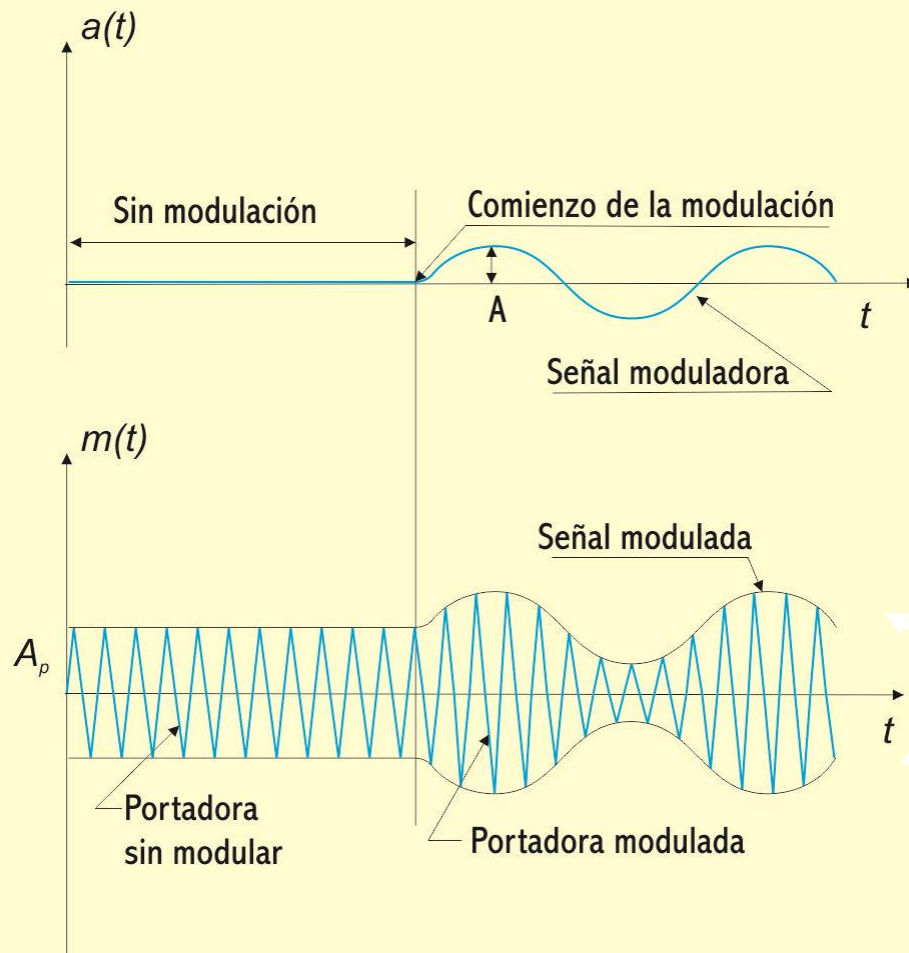
# AM

MODULADORA

$$a(t) = A \sin(\omega_a t + \theta_a)$$

$$p(t) = P \sin(\omega_p t + \theta_p)$$

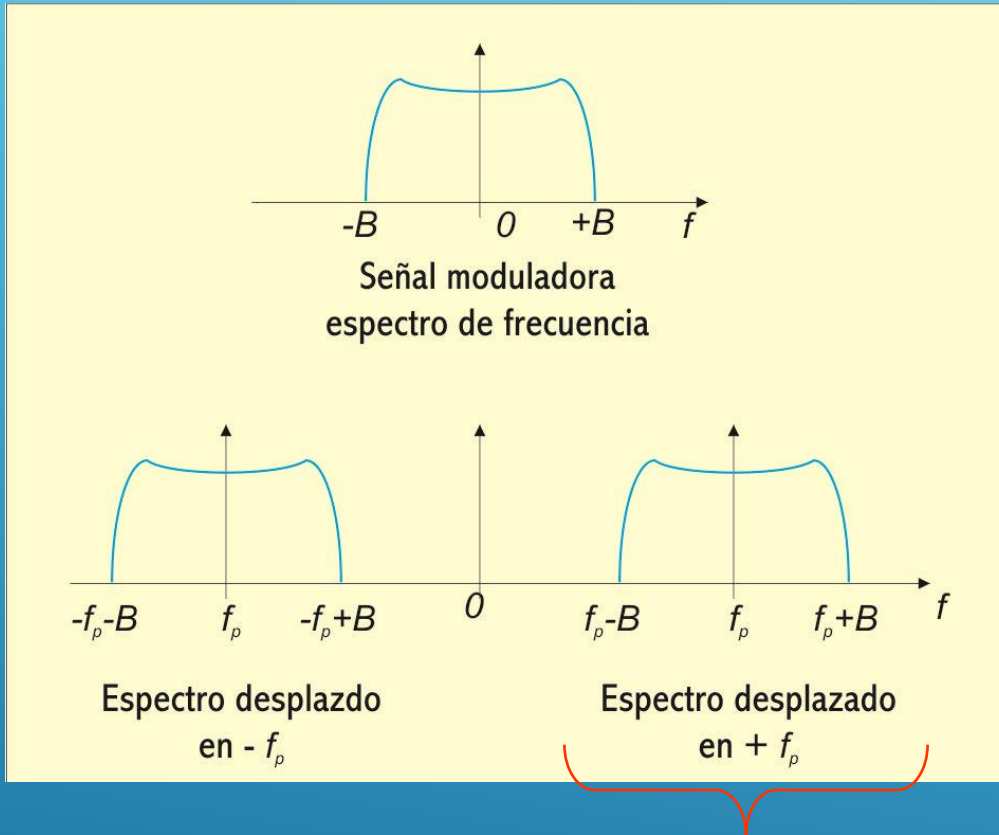
$$\omega_a \ll \omega_p$$



Envolvente de modulación

## AM

### Aplicando los Teoremas de traslación de frecuencia y de la modulación



- DBL C/PORTADORA
- BLU C/ PORTADORA
- DBL INDEPENDIENTE
- BLU C/ PORT REDUCIDA
- BLU C/PORT SUPRIMIDA

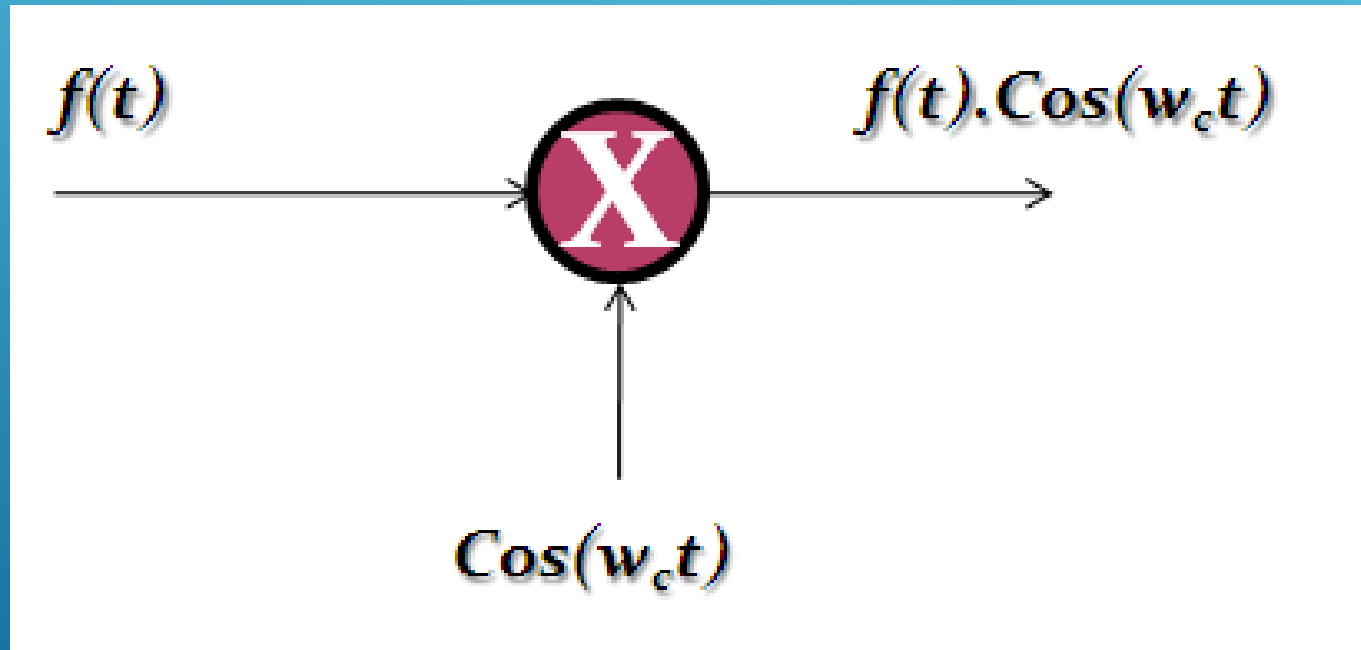
**ANCHO DE BANDA  
(AB)**

$$AB_{DBL} = 2B$$

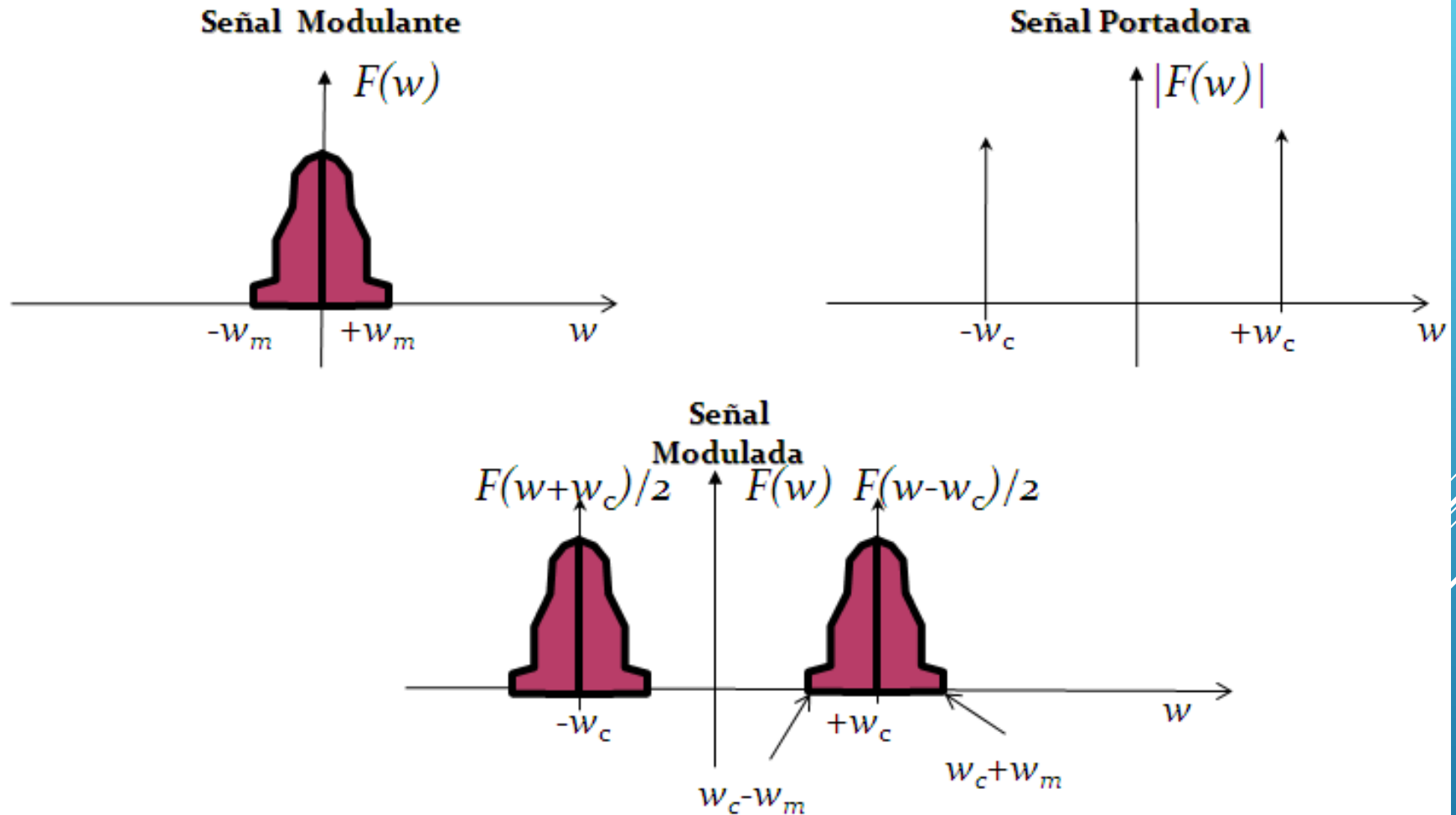
$$AB_{BLU} = B$$

# Traducción en frecuencia


El teorema de traslación en frecuencia, establece que la multiplicación de una señal  $f(t)$  por una señal sinusoidal de frecuencia  $\omega_c$ , traslada su espectro de frecuencia en  $\pm \omega_c$  radianes.



Gráficamente, se puede tener el análisis espectral:



# DESPLAZAMIENTO DE AMPLITUD (ASK)

- ▶ Valores representados por diferentes amplitudes de portadora
  - ▶ Usualmente, una amplitud es cero
    - ▶ Se usa con presencia y ausencia de portadora
  - ▶ Susceptible de repentinos cambios de ganancia
  - ▶ Poco eficiente
  - ▶ Hasta 1200 bps en líneas de calidad telefónica
  - ▶ Usada en fibra óptica
- 
- A series of white diagonal lines of varying lengths and thicknesses, located in the bottom right corner of the slide, creating a modern, abstract graphic element.

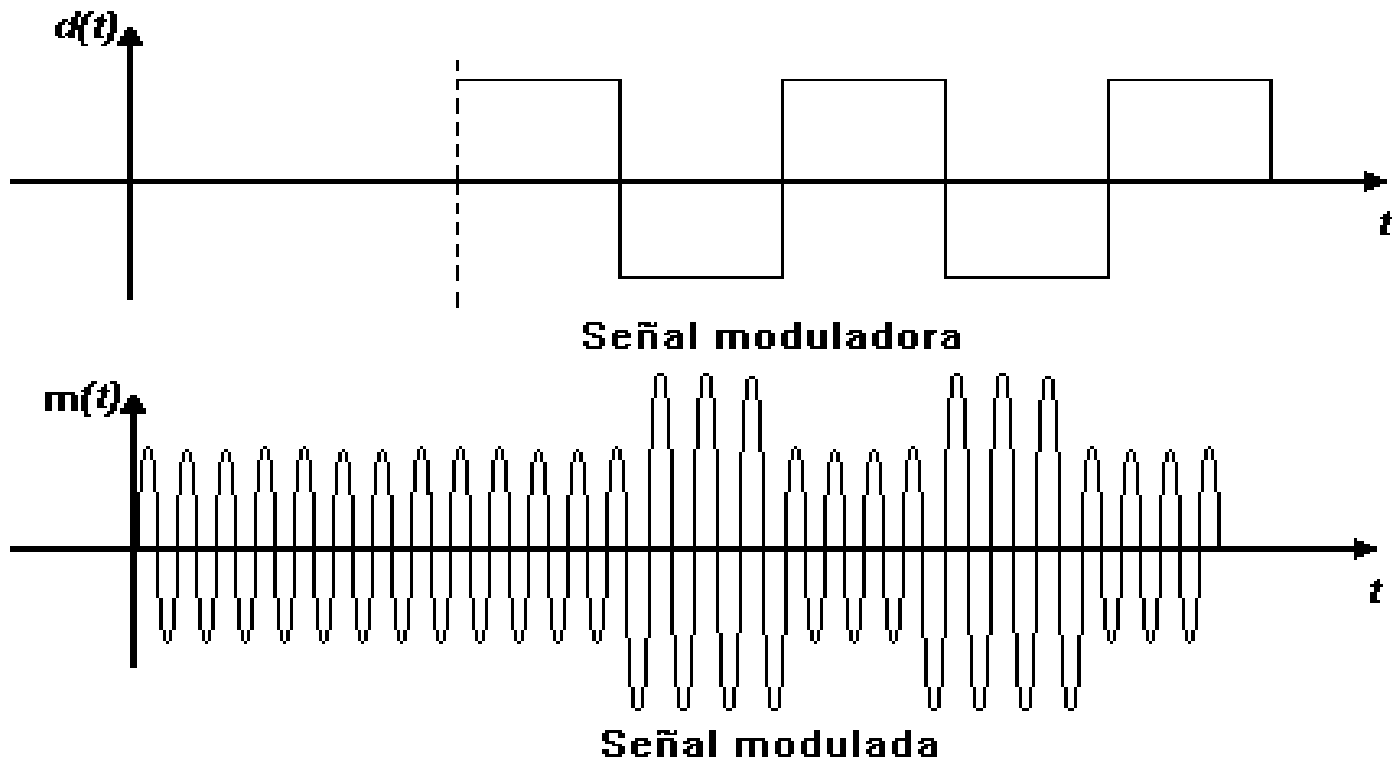
# ASK

$$s(t) = A \cos(2\pi f_c t) \quad 1 \text{ binario}$$

$$s(t) = 0 \quad 0 \text{ binario}$$
A series of three parallel white diagonal lines in the bottom right corner of the slide.

# ASK

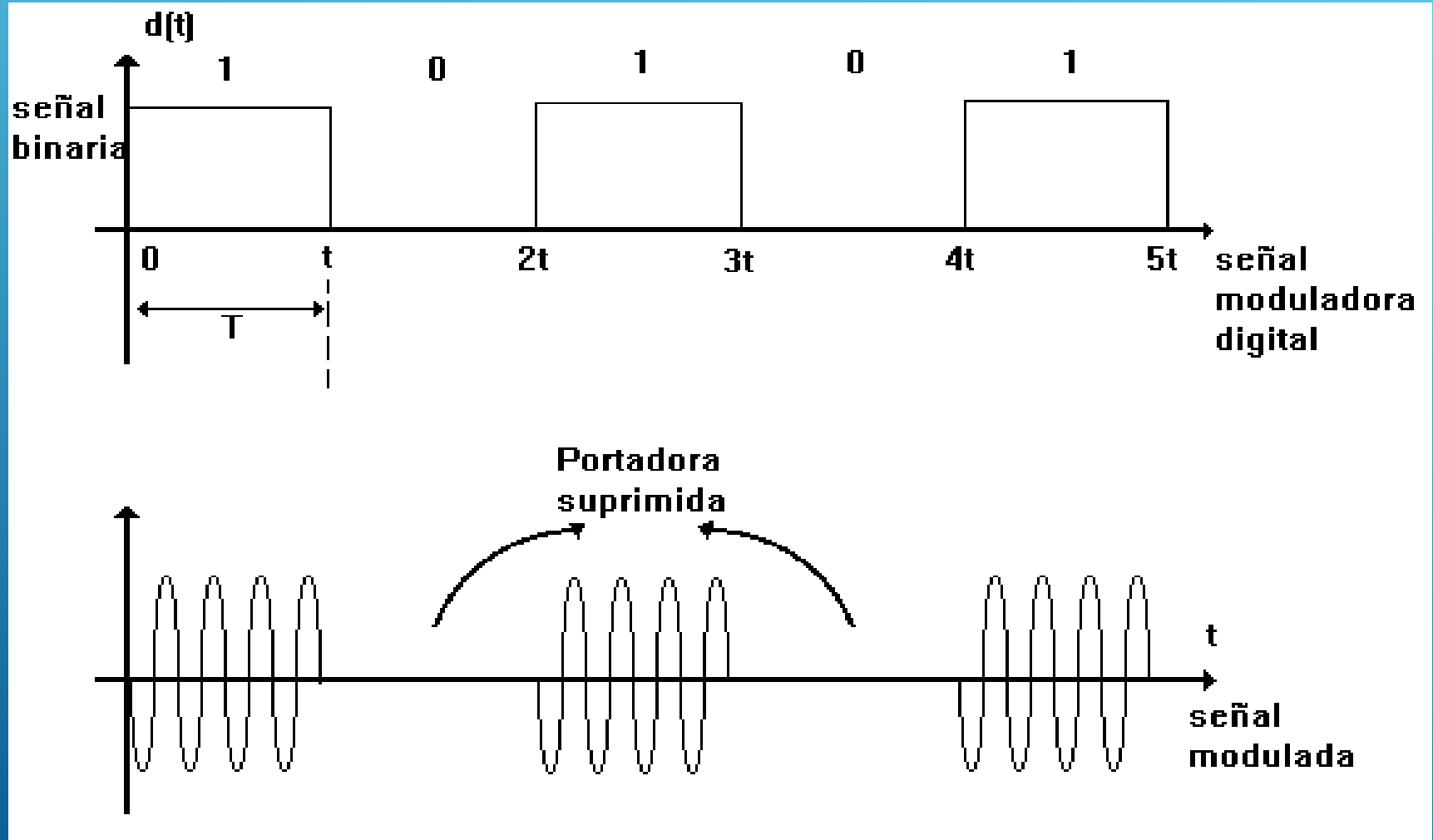
## VARIACION DE NIVEL DE PORTADORA






# ASK

## POR SUPRESION DE PORTADORA

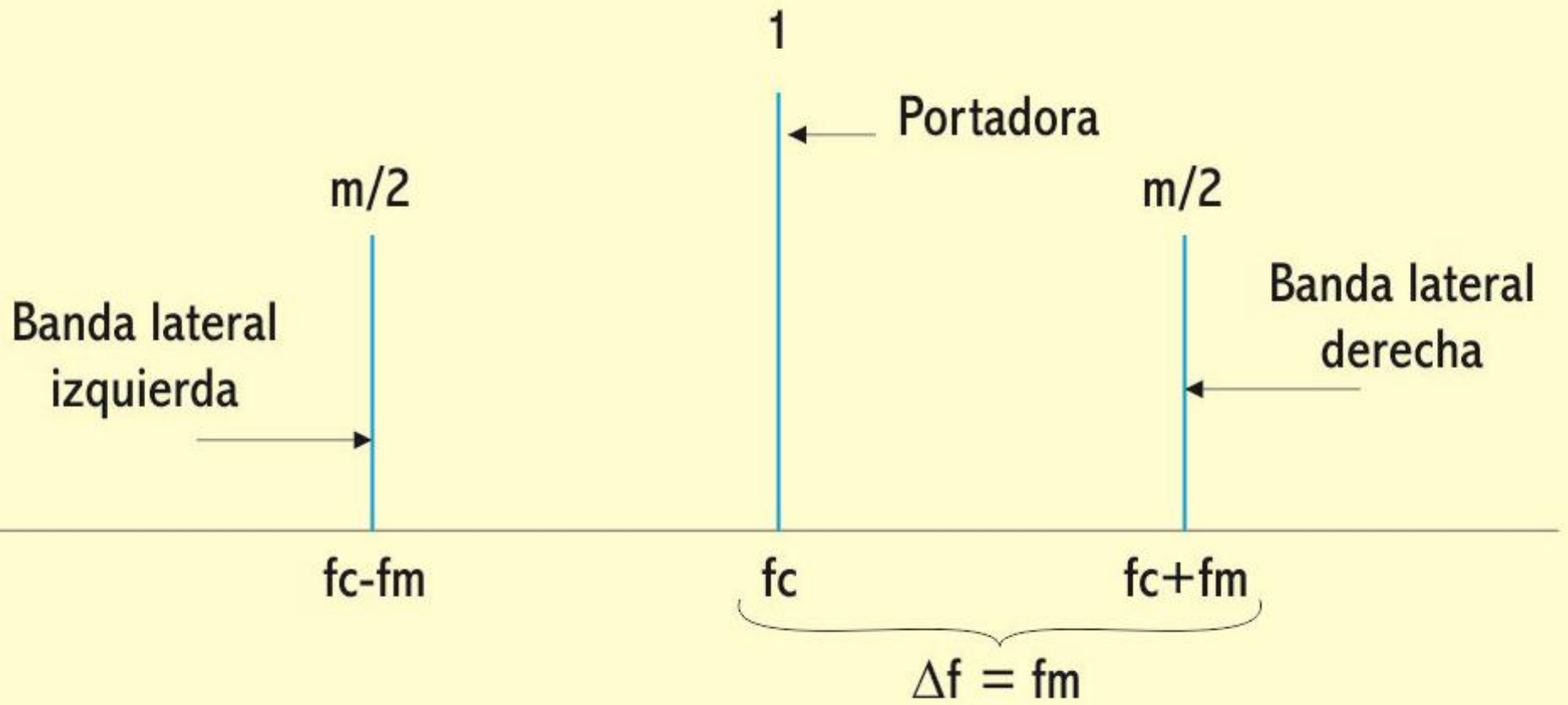


# VENTAJAS DE LA MODULACIÓN ASK

1. La señal portadora varia para representar valores binarios (1 o 0).
  2. Frecuencia y fase permanecen constantes mientras la amplitud cambia.
  3. La amplitud pico de la señal durante la duración de cada bit es constante y su valor depende del estado del bit (1 o 0).
- 
- A series of white diagonal lines of varying lengths and thicknesses, located in the bottom right corner of the slide, creating a modern, abstract graphic element.

# ASK

## ANCHO DE BANDA



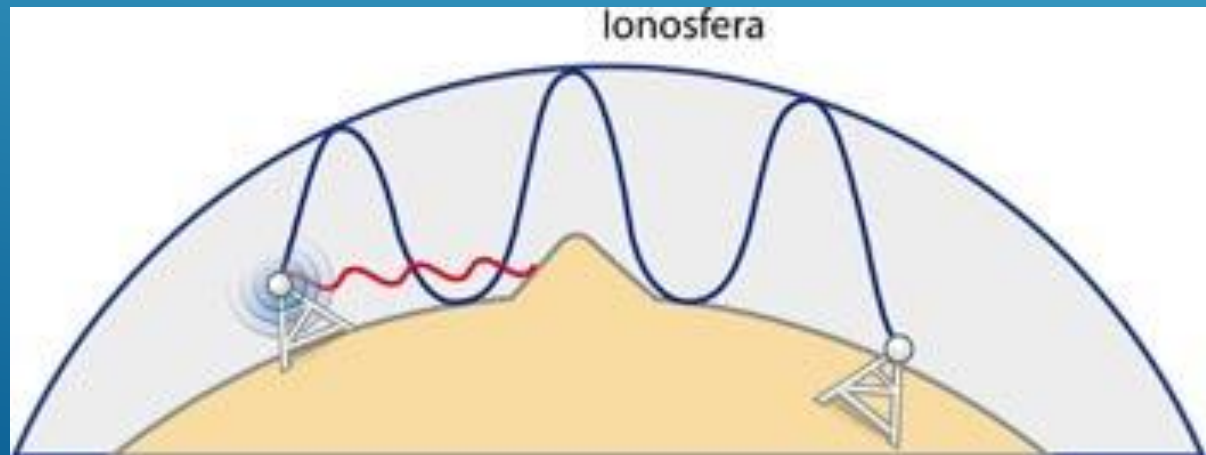
# DESVENTAJAS DE LA MODULACIÓN ASK

1. La velocidad de transmisión usando ASK esta limitada por las características físicas del medio de transmisión.
2. La transmisión ASK es altamente susceptible a la interferencia del ruido. Es el método más afectado por el ruido.

Un canal de AM tiene un ancho de banda de 10 KHz en el continente americano y de 9 KHz en el resto del mundo.

Un canal FM está, por lo general, en 200 KHz.

A mayor ancho de banda, mayor cantidad de información y mejor calidad.



# FM

## SEÑAL MODULADA

$$M(t) = A_p \sin(\omega_p t + \beta \sin \omega_a t + \theta_p)$$

$$\beta = \Delta\omega / \omega_a \text{ (índice de modulación)}$$

$$\Delta\omega = k A \omega_a \text{ (desviación de frec)}$$

$$\beta = k A \text{ (circuitos y amplitud de moduladora)}$$

**Banda Angosta**

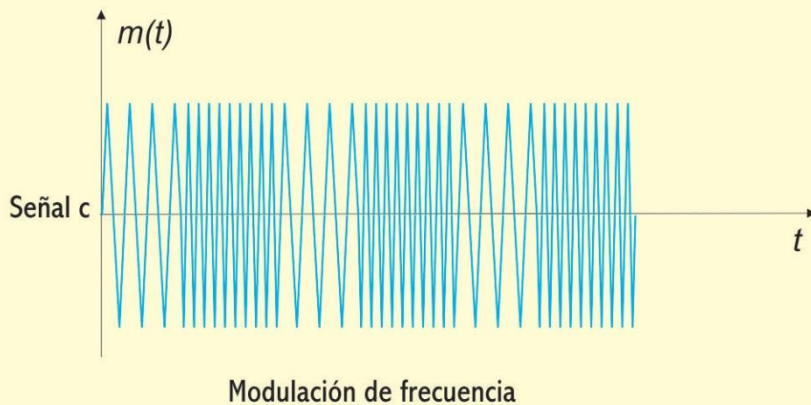
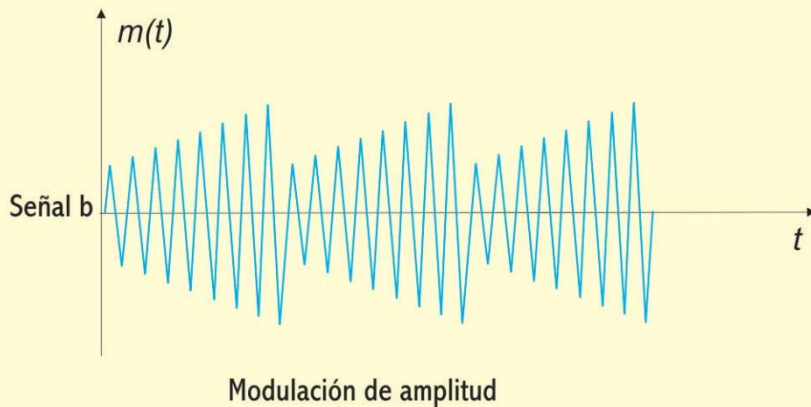
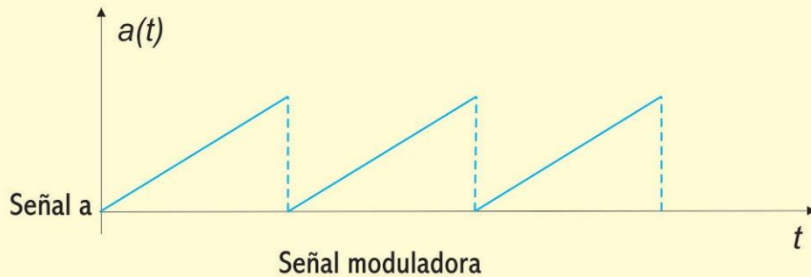
$$\Delta f \ll f_a$$

$$AB \text{ aprox} = 2 f_a$$


**Banda Ancha**

$$\Delta f \gg f_a$$

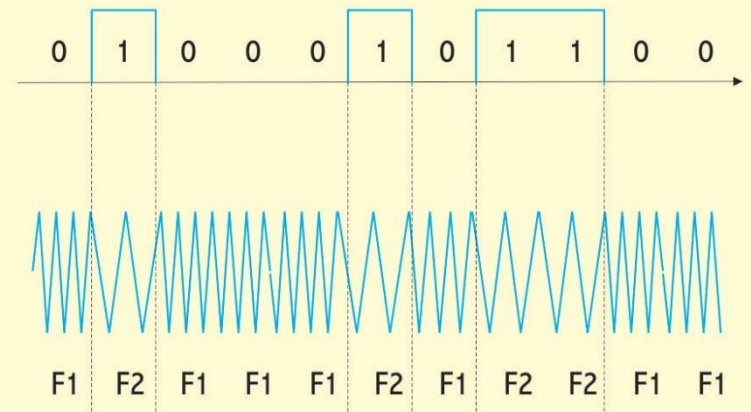
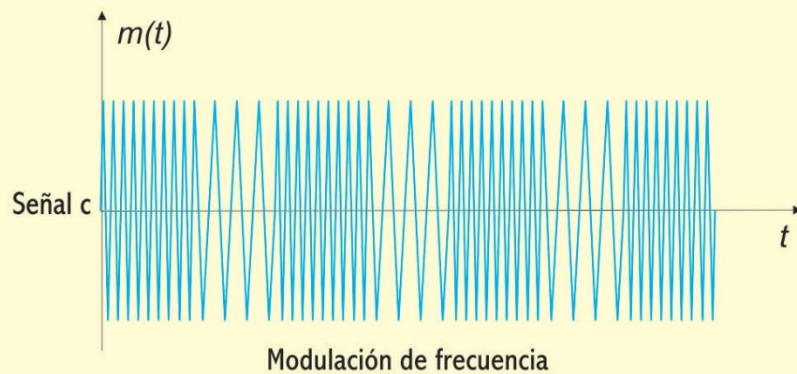
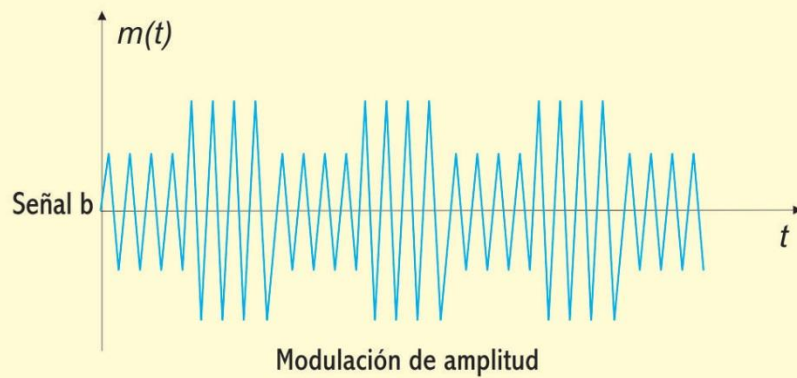
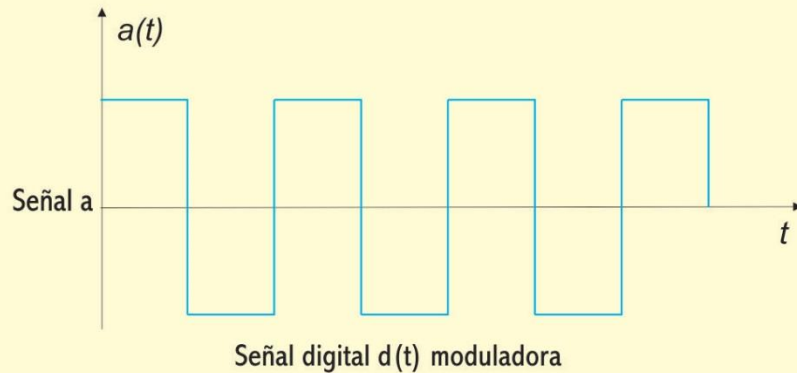
$$AB \text{ aprox} = 2 (\Delta f + f_a)$$



# DESPLAZAMIENTO DE FRECUENCIA (FSK)

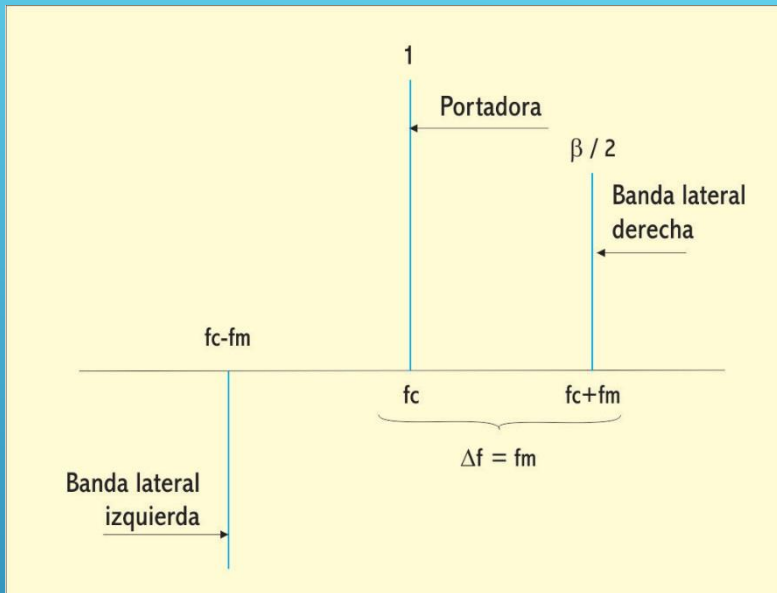
- ▶ Valores representados por diferentes frecuencias (próximas a la portadora)
  - ▶ Menos sensible a errores que ASK
  - ▶ Hasta 1200 bps en líneas de calidad telefónica
  - ▶ Transmisión por radio en HF (3-30 MHz)
  - ▶ Incluso en LAN en frecuencias superiores con cable coaxial
- 

# FSK





# FSK ANCHO DE BANDA

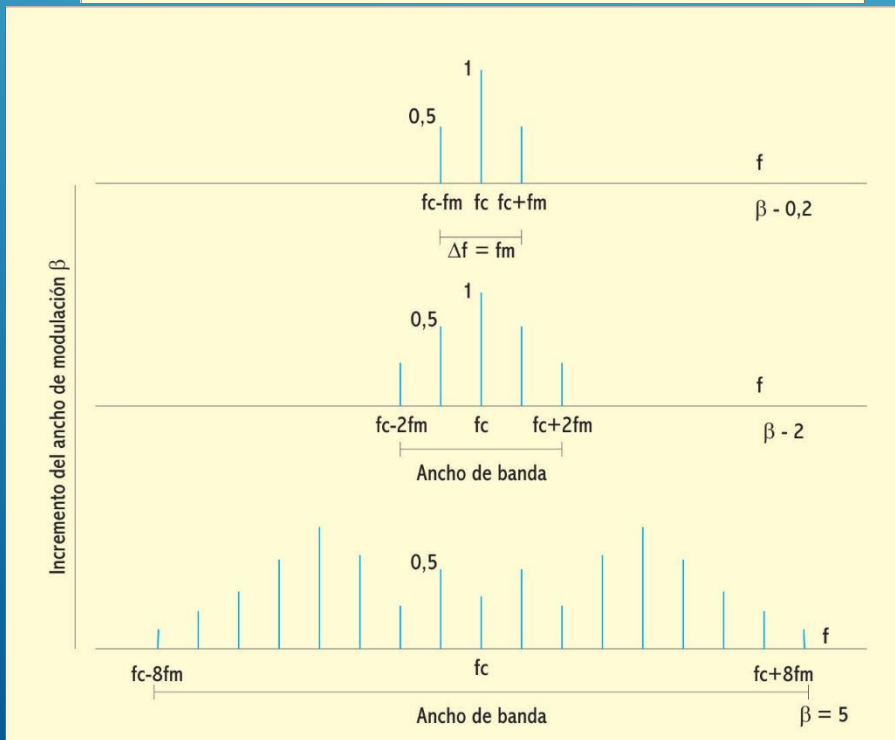


## BANDA ANGOSTA

$$\beta < \pi/2$$

$$M(t) = A_p \sin(\omega_p t + \beta \sin \omega_a t + \theta_p)$$

$$\beta = k A$$




## BANDA ANCHA

$$\beta > \pi/2$$

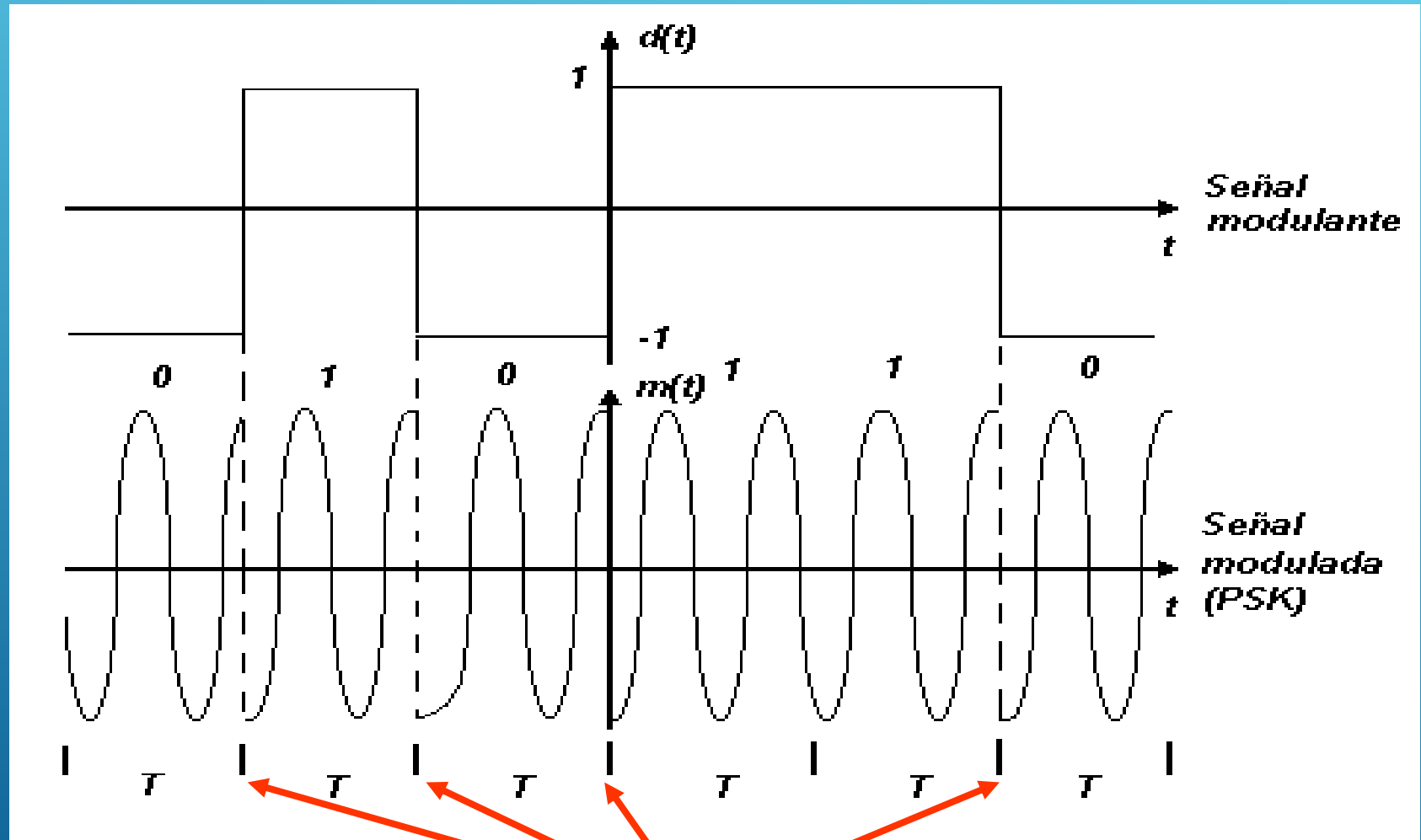
# VENTAJAS DE LA MODULACIÓN FSK

- ▶ Inmunidad al ruido.
- ▶ Almacenamiento y procesamiento.
- ▶ Utilización de regeneradores de señales.
- ▶ Las señales son mas sencillas de medir y evaluar.
- ▶ Están mejores equipadas para la detección y corrección de errores.
- ▶ Sus equipos consumen menos potencia.
- ▶ Las ventajas de modulación FSK sobre ASK se hacen importantes cuando el índice de modulación se hace mucho mayor que 1, con lo que se incrementa el ancho de banda y con ello el nivel de protección contra ruido e interferencia.

# DESVENTAJAS DE LA MODULACIÓN FSK

- ▶ Requieren mas ancho de banda.
  - ▶ Requiere sincronización precisa.
  - ▶ Los sistemas de transmisión de estos son incompatibles con las instalaciones analógicas existentes.
- 

# PSK



**SALTOS DE FASE**

# DESPLAZAMIENTO DE FASE (PSK)

- ▶ La Fase de la portadora se desplaza para representar los datos
- ▶ PSK Diferencial
  - ▶ El cambio de fase se refiere a la transmisión del bit anterior en lugar de a una referencia absoluta

# PSK

$$s(t) = A \cos(2\pi f_c t + \pi) \quad 1 \text{ binario}$$

$$s(t) = A \cos(2\pi f_c t) \quad 0 \text{ binario}$$
A series of several parallel white diagonal lines in the bottom right corner of the slide.

# DESVENTAJAS DE PSK

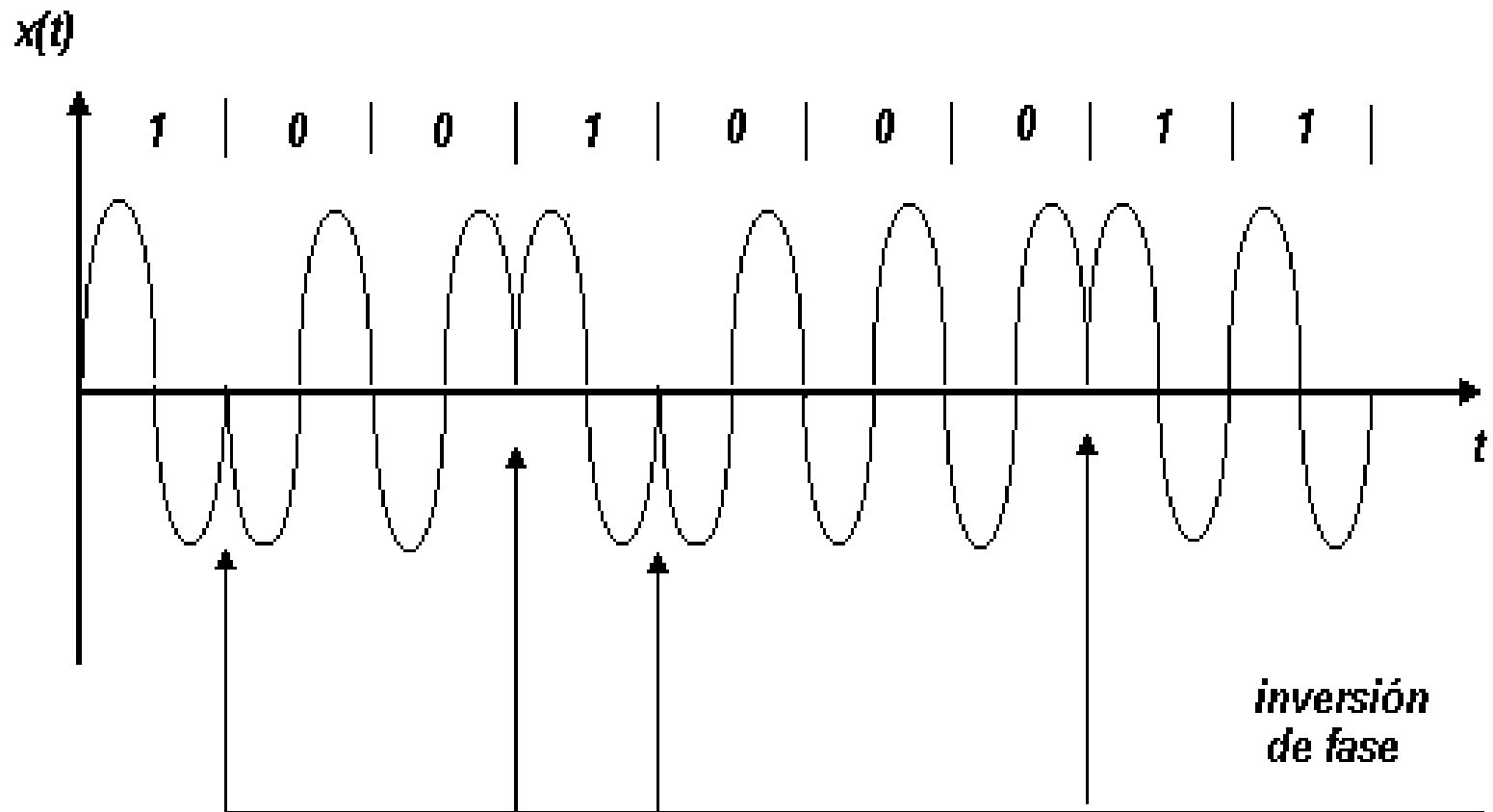
- ▶ **Sincronización**
- ▶ **Probabilidad de error elevada pero inferior a la FSK**

# VENTAJAS MODULACIÓN PSK

- ▶ En modulaciones PSK la potencia es la misma, lo que simplifica el diseño de amplificadores y etapas receptoras (reduciendo costos), ya que la potencia de la fuente es constante.
- ▶ Las modulaciones BPSK y QPSK son óptimas desde el punto de vista de protección frente a errores.
- ▶ Es el mas eficiente en transmisión de datos binarios

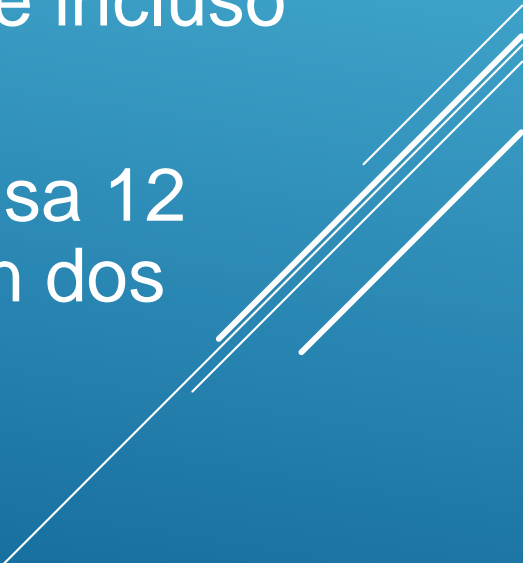


## SEÑAL 2-PSK / B-PSK



**DOS SALTOS DE FASE EN ESTE CASO (0°-180°)**

# PSK EN CUADRATURA (QPSK)

- ▶ Uso más eficaz del espectro si por cada elemento de señalización se representa más de un bit
    - ▶ Con saltos de fase de  $\pi/2$  (90°)
    - ▶ Cada elemento representa dos bits
    - ▶ Se pueden usar 8 ángulos de fase e incluso amplitudes distintas
    - ▶ Un modem estándar de 9600 bps usa 12 ángulos, cuatro de los cuales tienen dos amplitudes
- 

# QPSK

$$s(t) = A \cos(2\pi f_c t + \frac{\pi}{4}) \quad 11$$

$$s(t) = A \cos(2\pi f_c t + \frac{3\pi}{4}) \quad 10$$

$$s(t) = A \cos(2\pi f_c t + \frac{5\pi}{4}) \quad 00$$

$$s(t) = A \cos(2\pi f_c t + \frac{7\pi}{4}) \quad 01$$

# ASIGNACION DE SECUENCIA DE BITS Y DE ESTADOS

## DIAGRAMA DE FASES

### MODULACION 4-PSK / Q-PSK

Nro de secuencia	Secuencia de Bits	Fase asignada	Cuadro de asignación
1	00	0°	Se aplica Código Reflejo o de Gray
2	01	90°	
3	11	180°	
4	10	270°	

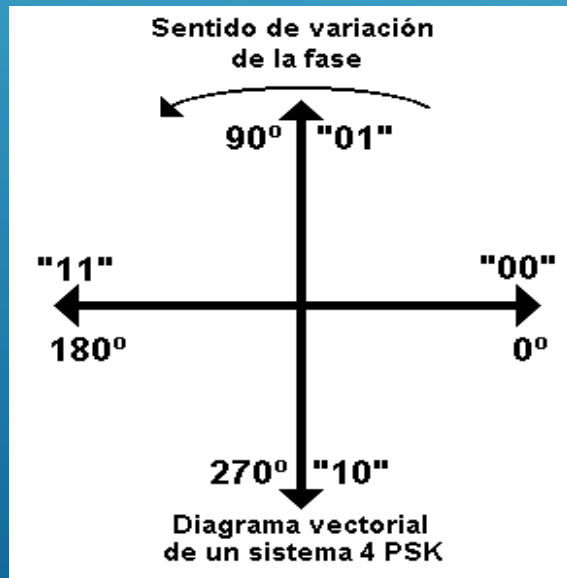
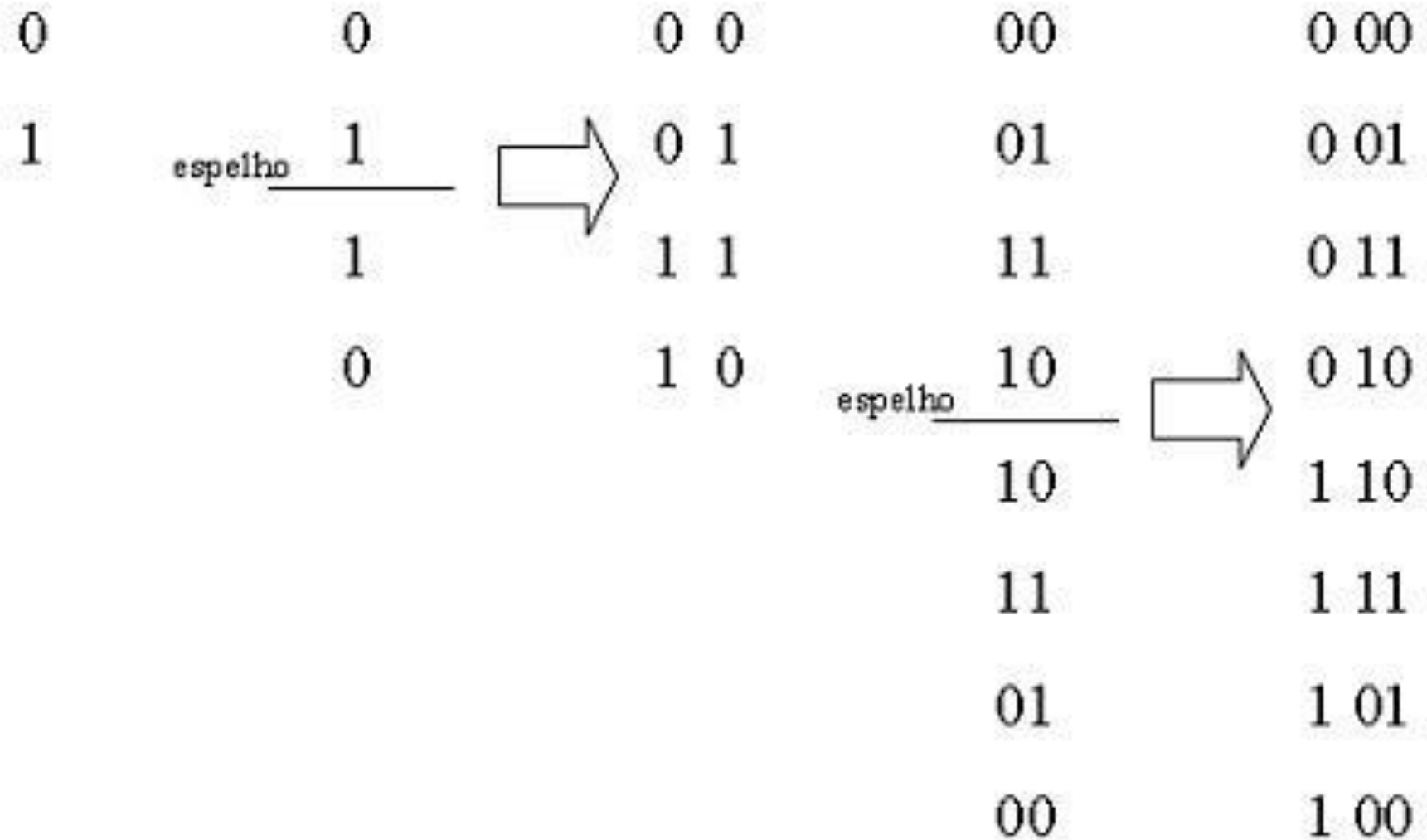


Diagrama de Estados, de Fases  
o Vectorial

# CONSTRUCCIÓN DEL CÓDIGO DE GRAY

## EJEMPLO CON 3 BITS



# MODULACION M-PSK

$$\theta = \frac{2\pi}{M}$$

M saltos de fase, con un ángulo  $\theta$  entre fase y fase

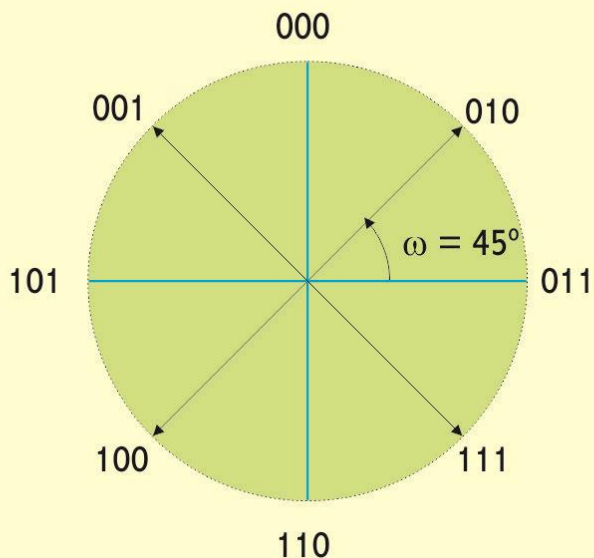
$$n = \log_2 M$$

Cada salto lleva “n” bits

$$V_{tx} = V_{mod} \times n$$

Relación entre ambas velocidades a través de “n”

## 8-PSK



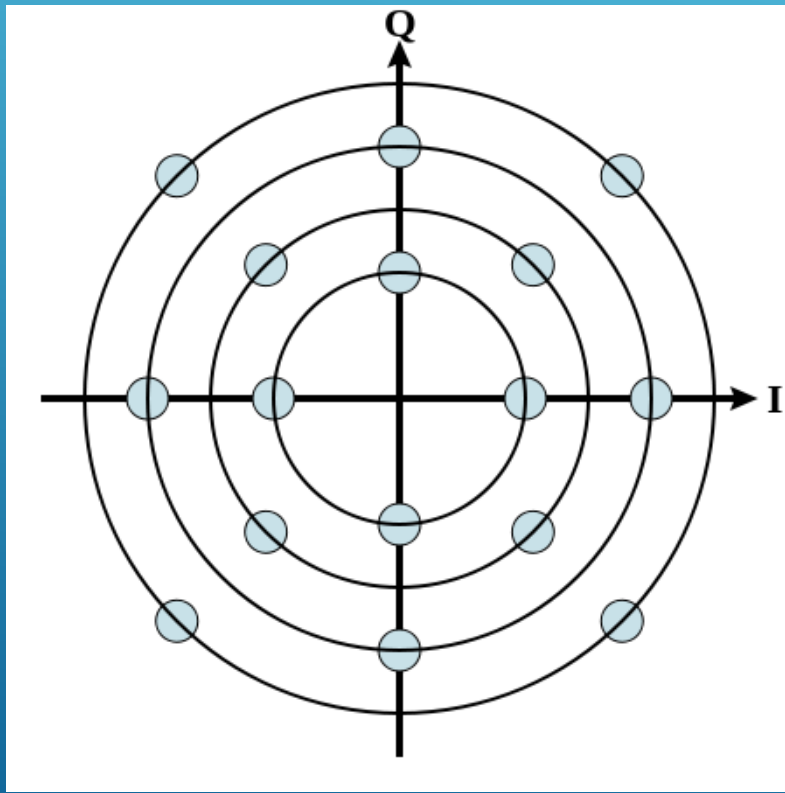
Nº de Secuencia	Dígitos binarios	Fase asignada
1	011	0°
2	010	45°
3	000	90°
4	001	135°
5	101	180°
6	100	225°
7	110	270°
8	111	315°

# MODULACION M-QAM

Usa dos portadoras independientes en cuadratura (desfasadas  $90^\circ$  entre sí)

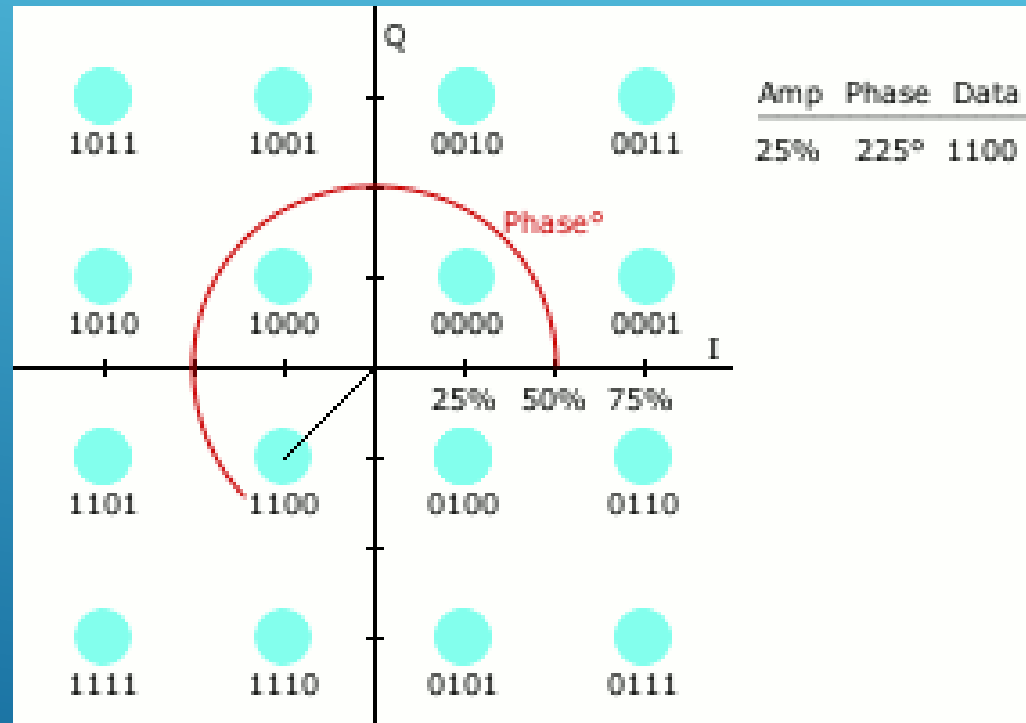
Combina saltos de amplitud y de fase

## MODULACION 16-QAM (ejemplos)



4 saltos de amplitud y 8 saltos de fase

Variente Circular



3 saltos de amplitud y 12 saltos de fase

Variente Rectangular

# APLICACIONES " PSK"

Los estándares: IEEE 802.11b-1999 (LAN inalámbrica) y IEEE 802.15.4 usan modulaciones PSK.

La modulación QPSK se usa en la transmisión de datos por satélite.

La modulación BPSK es utilizada para transmisores de bajo costo y sin altas velocidades

La modulación BPSK es utilizada en estándares RFID como el ISO 14443, que se ha adoptado en pasaportes biométricos o tarjetas de crédito.

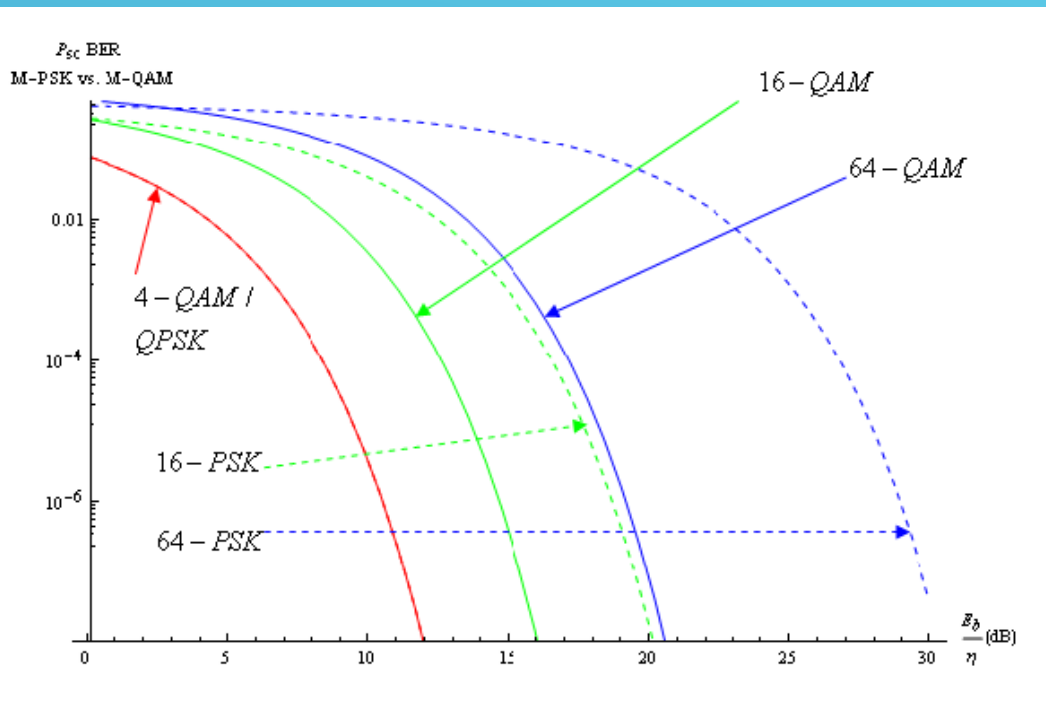
La banda de 868-915MHz usa BPSK, mientras que la de 2,4GHz usa OQPSK

Bluetooth 2 usa DQPSK para su baja velocidad de 2Mbps, y 8-DPSK para la alta de 3Mbps.



# COMPARACIÓN DE MODULACIÓN

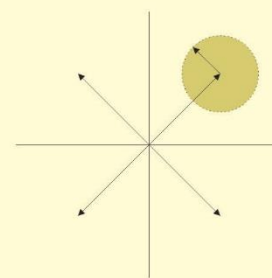
## M-PSK / M-QAM



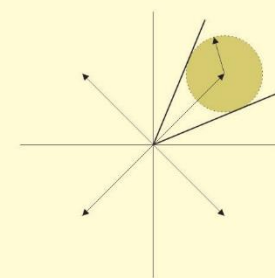
$V_{tx}$  (bps) / AB (Hz)

Sensibilidad al ruido  
(Pe)

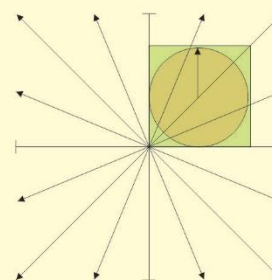
S/N ( $E_b/N_0$ )



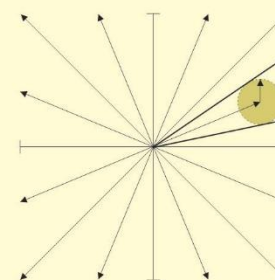
4 PSK



8 PSK



16 QAM

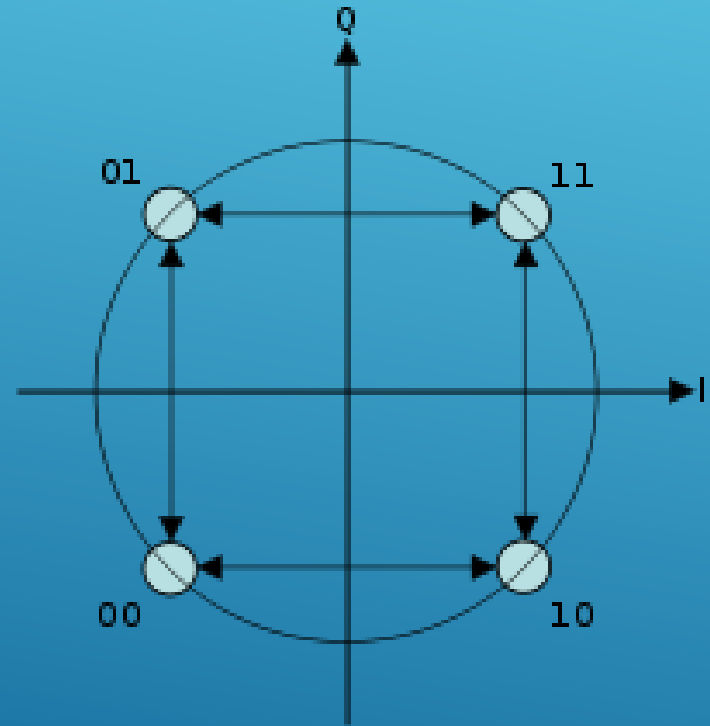
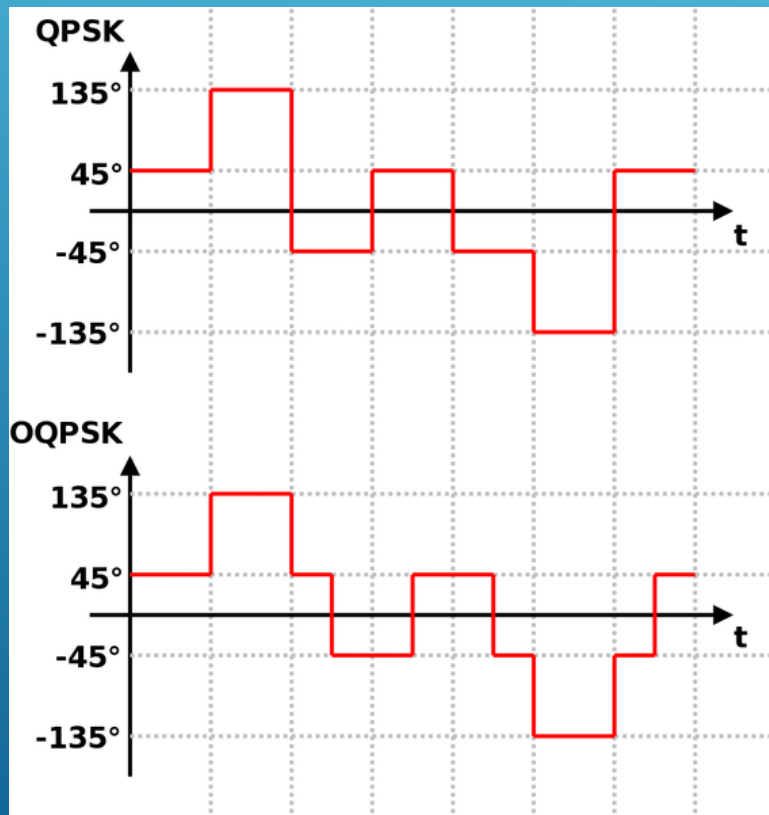


16 PSK

# VARIANTES M-PSK

## OQPSK (offset - compensada)

Evita fluctuaciones de gran amplitud en los saltos de  $180^\circ$

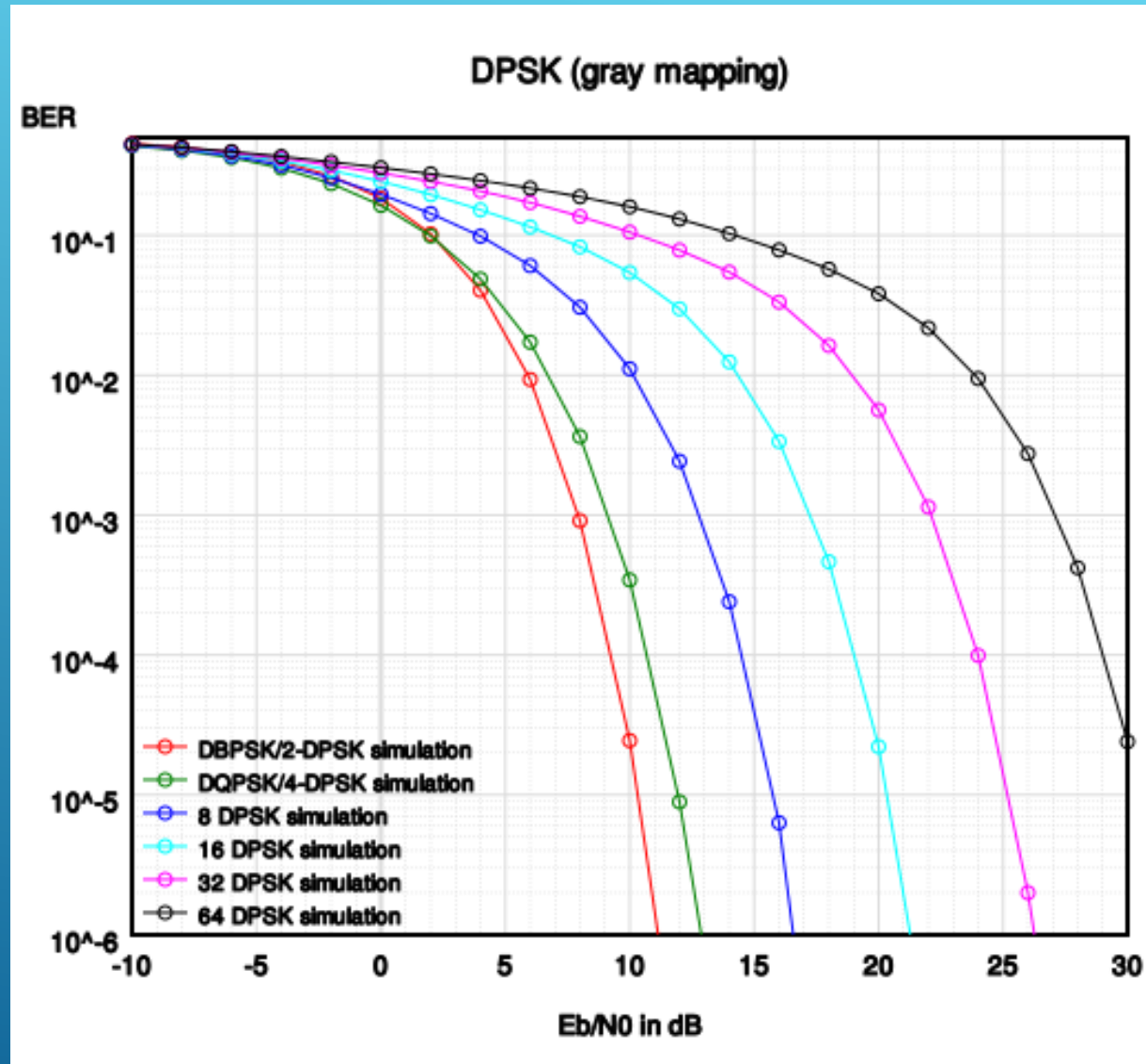


# VARIANTES M-PSK

## DPSK (diferencial)

Sin referencia de fase absoluta.

La referencia que se toma es la del último bit recibido.



# MODULACIÓN POR AMPLITUD EN CUADRATURA "QAM"

Es una modulación digital avanzada que transporta datos cambiando la amplitud de dos ondas portadoras. Estas portadoras tienen igual frecuencia pero están desfasadas  $90^\circ$  entre si.

En QAM, es posible transferir más bits por posición, ya que hay múltiples puntos de transferencia.

La señal obtenida sumando la amplitud y la fase de modulación de una señal portadora se utiliza para la transferencia de datos.

Dado que QAM es generalmente cuadrados, algunos de ellos pueden ser: 16-QAM, 64-QAM, 128-QAM y 256-QAM.

# APLICACIONES "QAM"

Se utiliza para la transmisión de datos a alta velocidad por canales con ancho de banda restringido.

Diseño de módems superiores a 2400 bps (incluidos los usados en ADSL).

Diseño de diversos sistemas de transmisión de televisión, microondas, satélite, etc.

16-QAM y 64-QAM también se utilizan actualmente en la televisión digital terrestre.

64-QAM y 256-QAM en el módem por cable digital.

Es el mandato de las directivas de la modulación digital de televisión por cable.



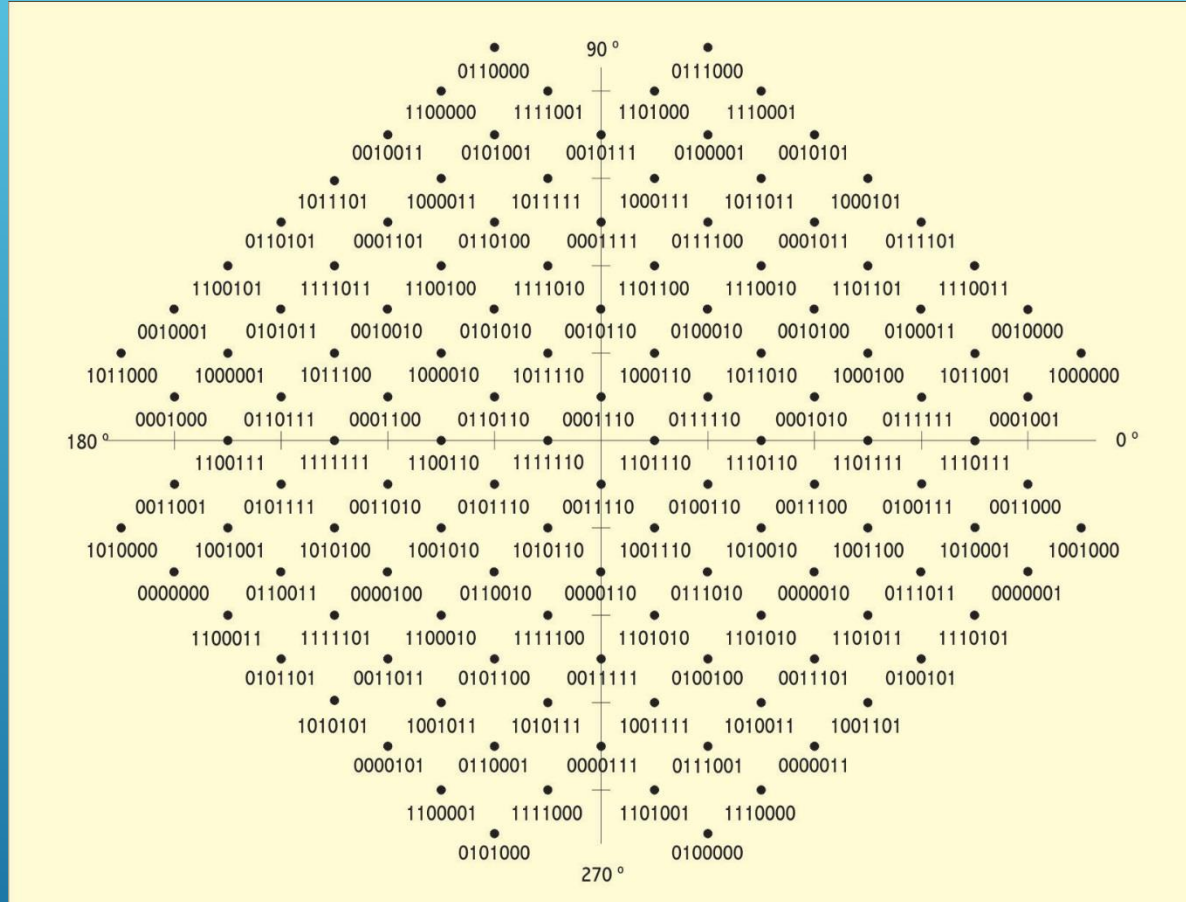
# VARIANTES M-PSK o M-QAM

TCM (Trellis Codes Modulation)

También Modulación por Codificación Entrelazada.

Proporciona una mayor inmunidad al ruido ante la complejidad de las constelaciones generadas por ambas técnicas de modulación.

Agregado de bits redundantes.



Constelación de estados con codificación entrelazada

# MODULACIÓN POR AMPLITUD EN CUADRATURA 16

## "QAM-16"

Permite contar con 16 estados diferentes, que estarán determinados por el número de símbolos en su diagrama de constelación. Debido a que  $16=2^4$ , cada uno de estos símbolos se representa mediante 4 bits.

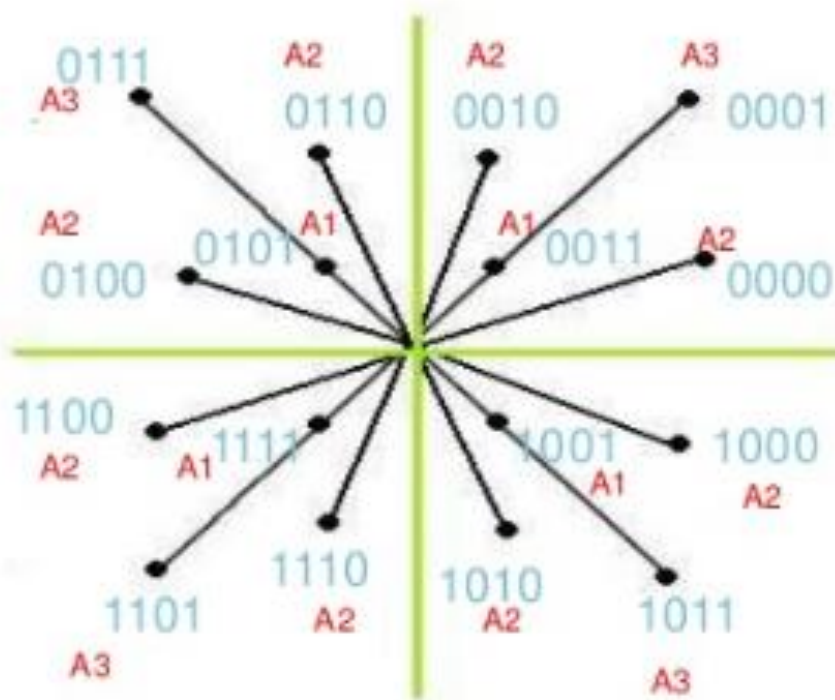


Diagrama de Constelación

Bits	Desfase
0000	22,5°
0001, 0011	45°
0010	70,5°
0110	112,5°
0111, 0101	135°
0100	157,5°
1100	202,5°
1101, 1111	225°
1110	247,5°
1010	292,5°
1011, 1001	315°
1000	337,5°

**PWM**: Modulación por Ancho de Pulso: también llamado modulación de duración de pulso o modulación de longitud de pulso. El ancho del pulso es proporcional a la amplitud de la señal analógica.

**PPM**: Modulación de Posición de Pulso: la posición de un pulso de ancho constante varia de acuerdo a la amplitud de la señal analógica.

## **Modulación de Pulsos.**

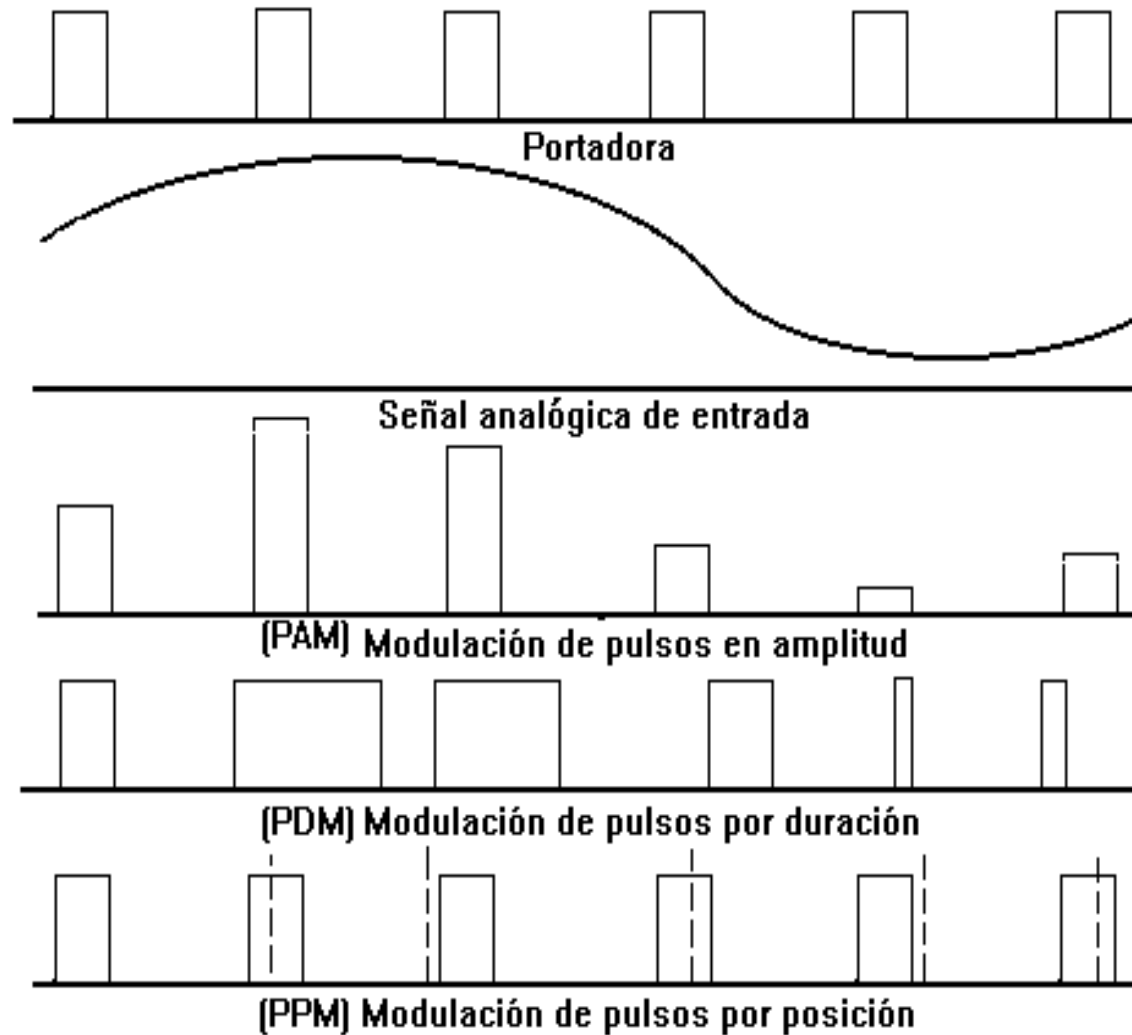
*Convertir información a formas de Pulsos*

**PCM**: Modulación por Pulso Codificado: la señal analógica se prueba y se convierte a una longitud fija, numero binario serial, el cual varia de acuerdo a la amplitud de la señal analógica

**PAM**: Modulación de Amplitud de Pulso : la amplitud de un pulso de posición y ancho constante varia de acuerdo a la amplitud de la señal analógica.



# MODULACION POR PULSOS ANALOGICA



# DIGITALIZACION DE UNA SEÑAL ANALOGICA

## •MUESTREO

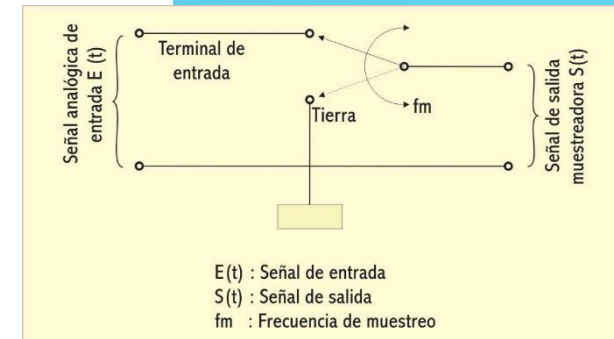
$f_{\text{muestreo}} = > 2 \times f_{\text{máxima}}$  (T. Nyquist)

## •CUANTIFICACION

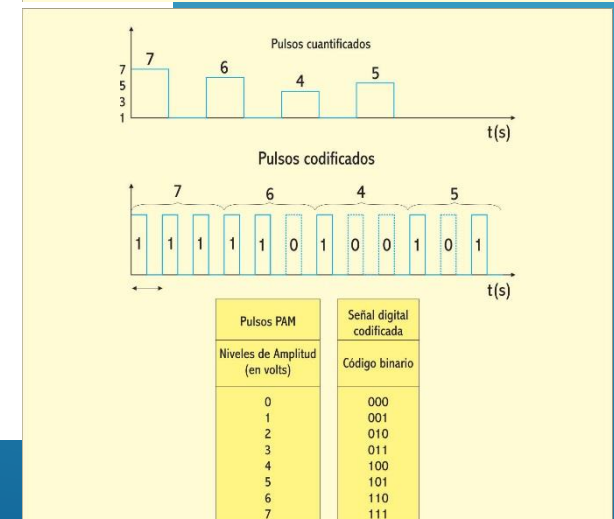
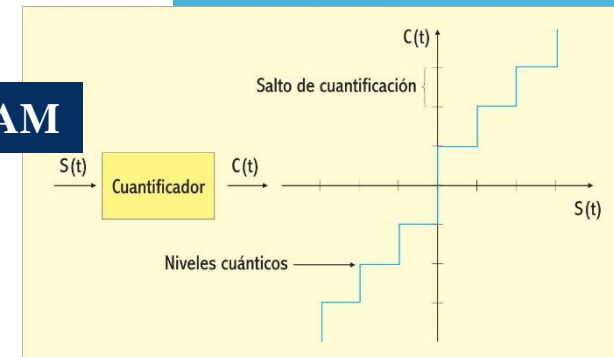
Aproximar valores de las muestras a niveles cuánticos.

## •CODIFICACION

Codificación de los niveles cuánticos



**PAM**

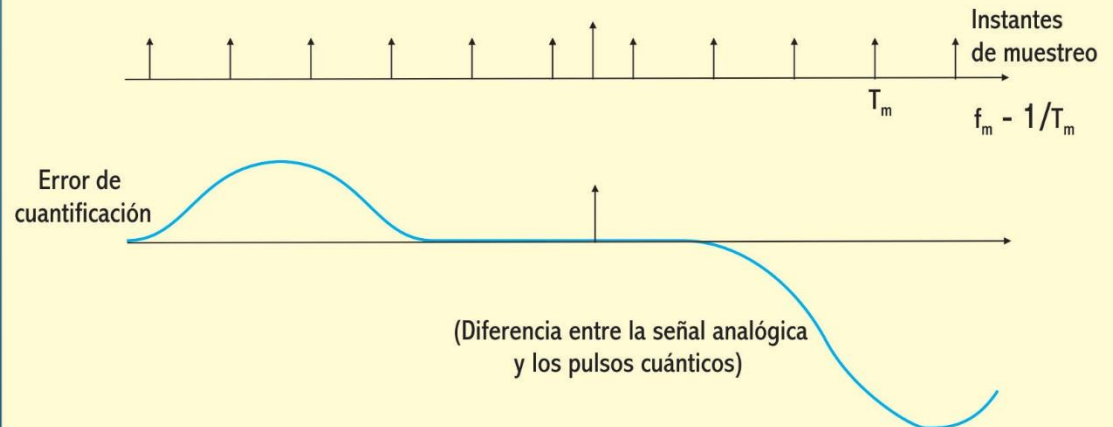
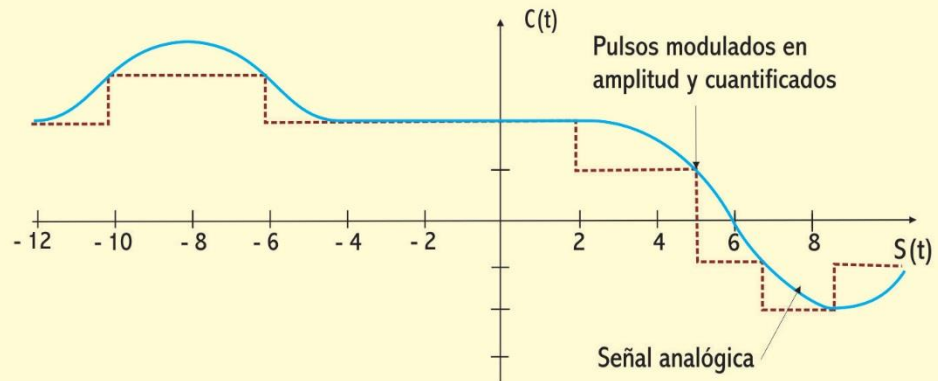
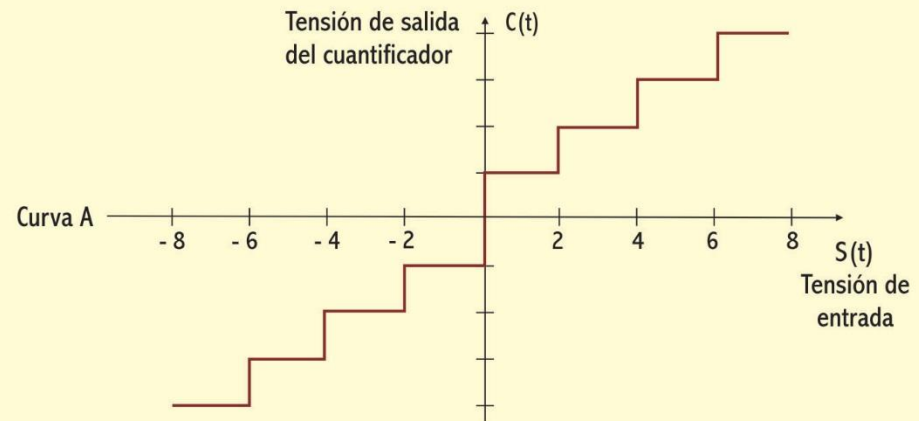


# ERROR O RUIDO GRANULAR O DE CUANTIFICACIÓN

$$E(t) = S(t) - C(t)$$

$S(t)$  es PAM

$C(t)$  es digital



# TIPOS DE CUANTIFICACIÓN

- Uniforme o lineal

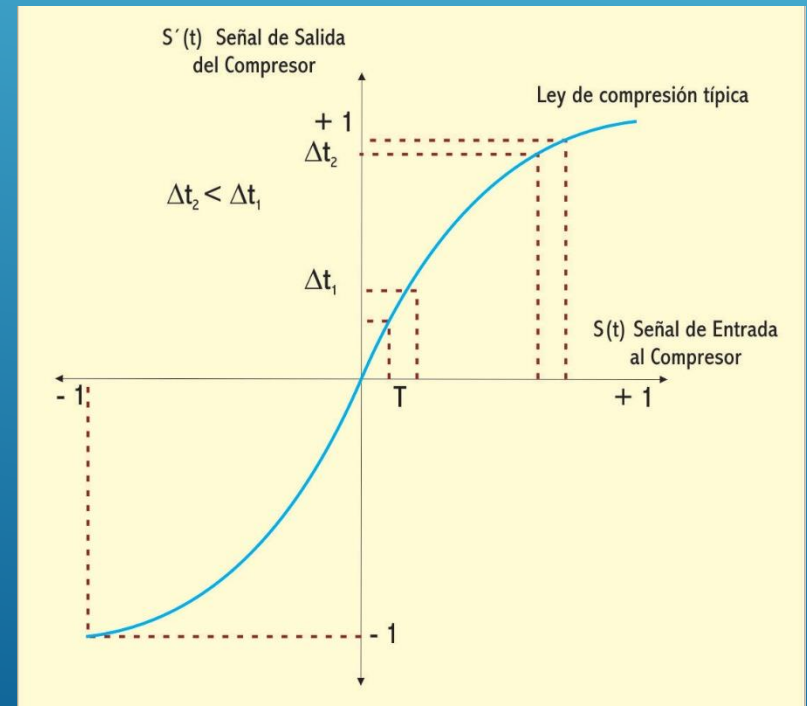
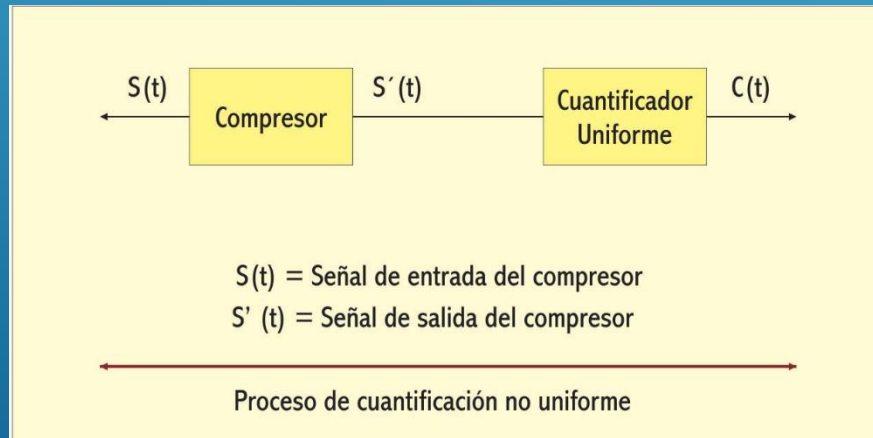
Niveles cuánticos con la misma medida.

Uso de un elevado número de niveles.

- No uniforme

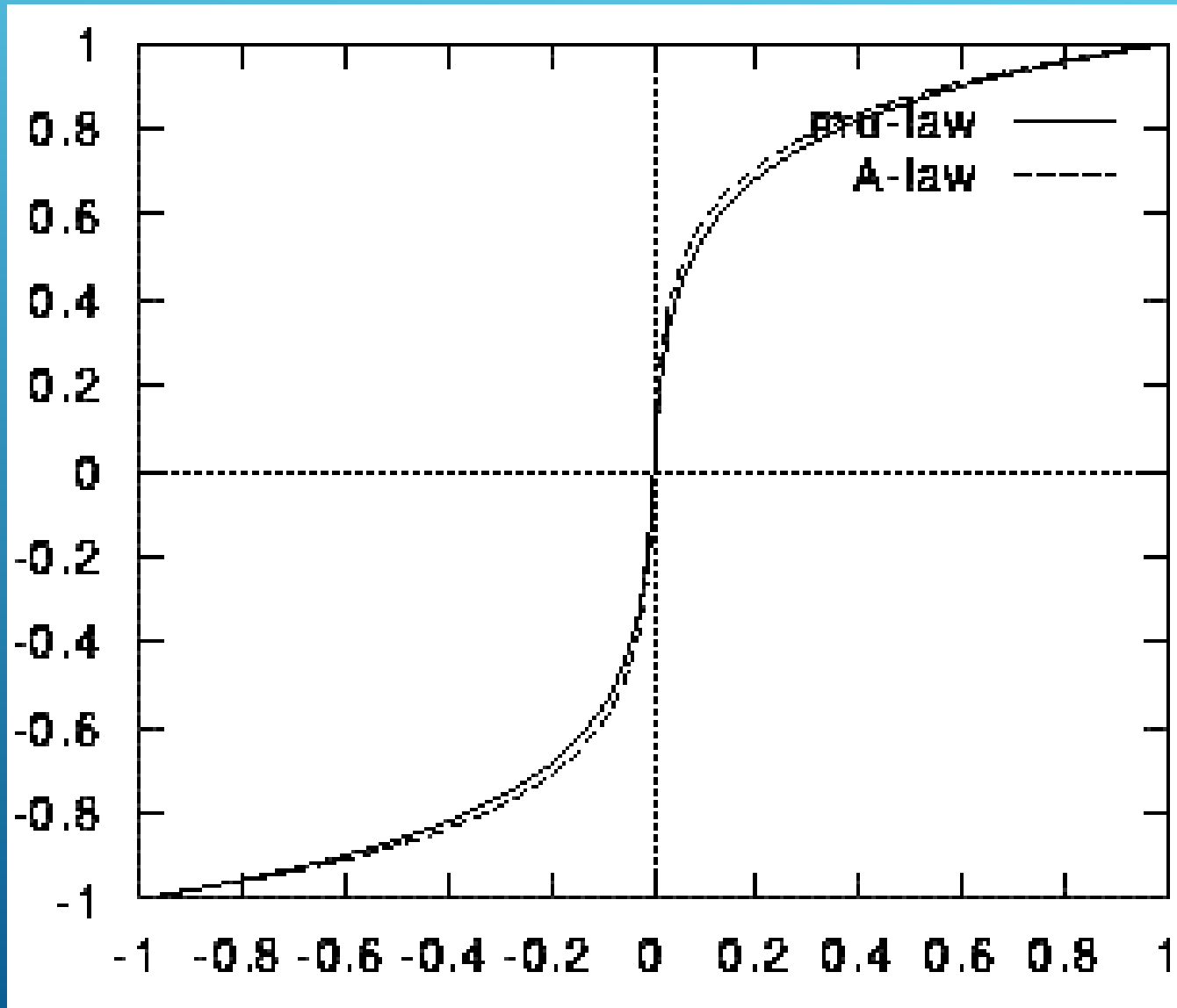
Niveles cuánticos variables (comprimen próximos a nivel 0 y se expanden hacia los extremos).

Aplicación de COMPANSIÓN (comprimir y expandir).



# LEYES DE CUANTIFICACIÓN UIT G.711

Expansión y compresión logarítmica



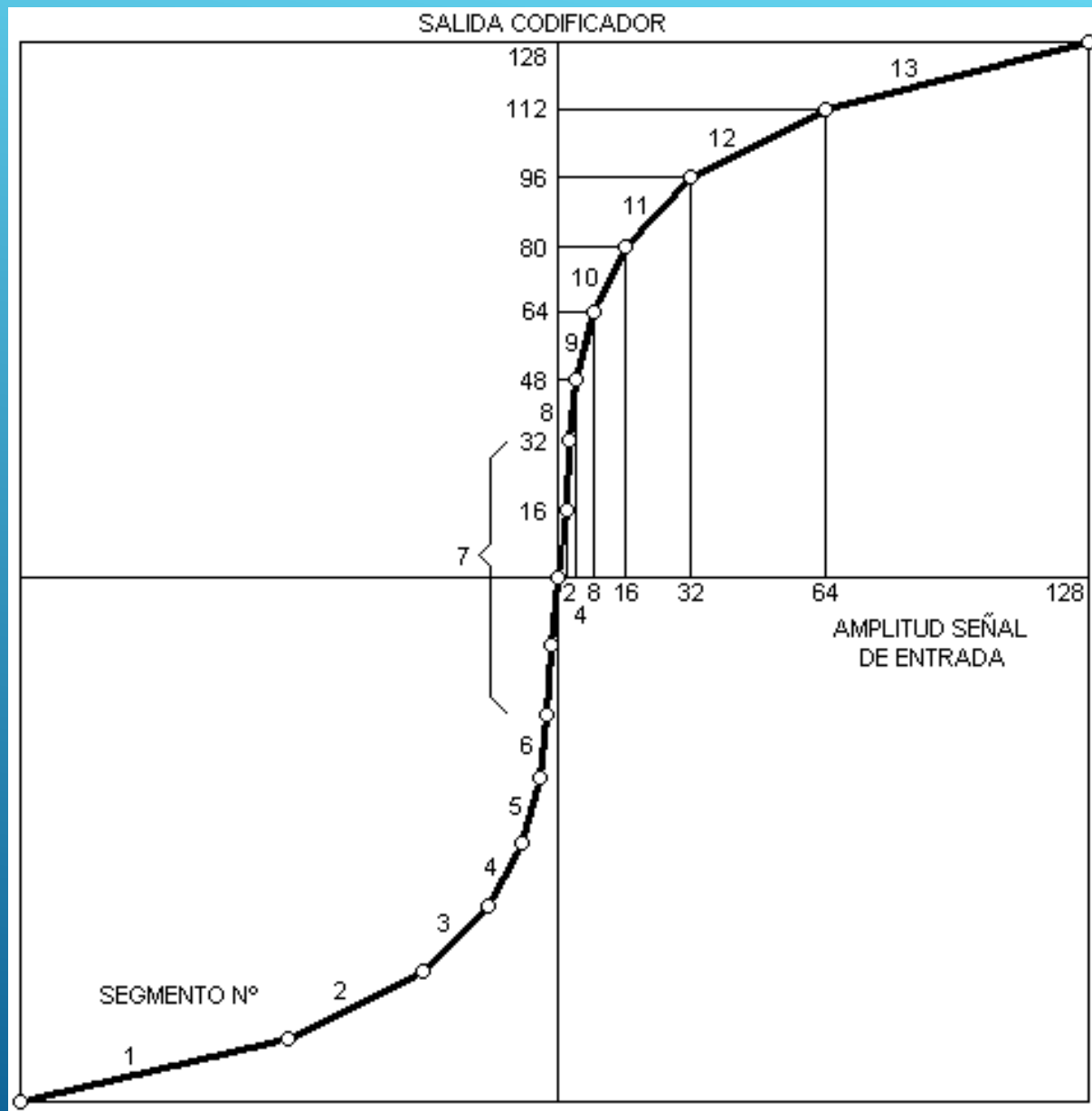
Ley  $\mu$

15 segmentos

Ley A

13 segmentos

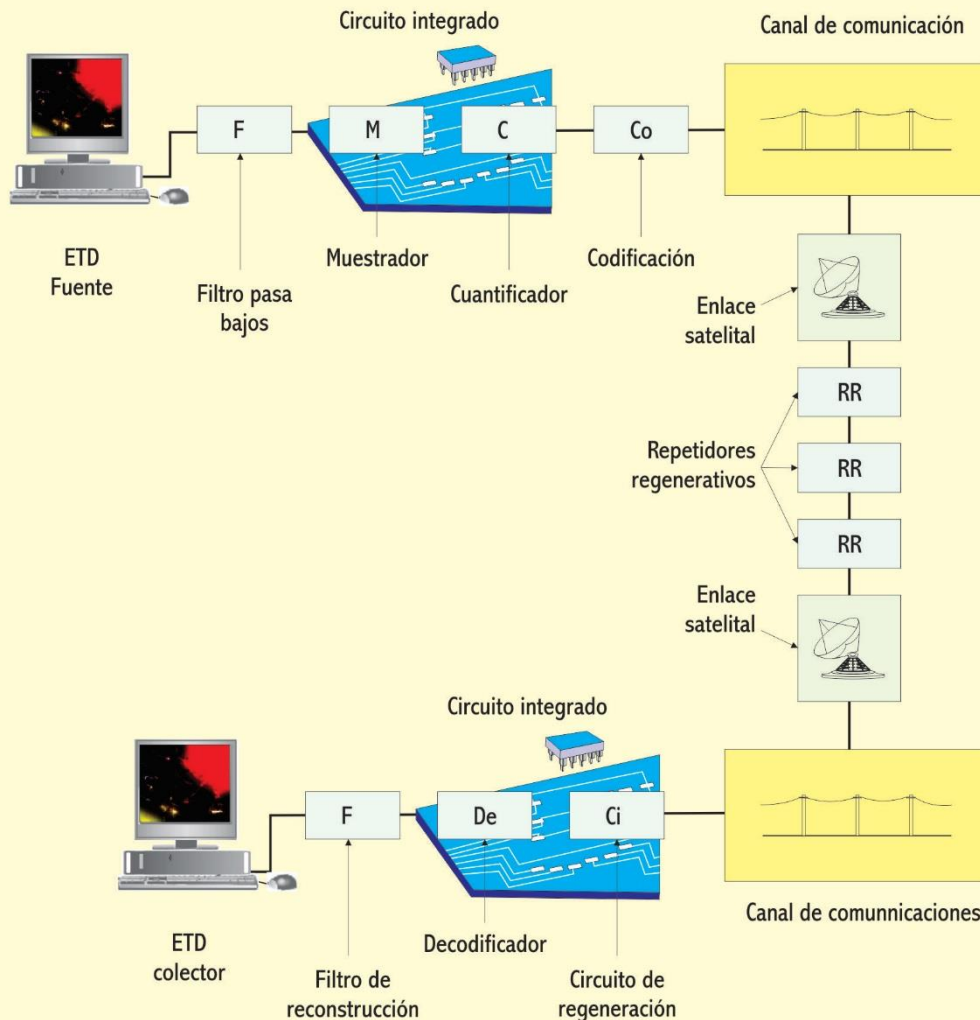
# LEY A – 13 SEGMENTOS



# MODULACIÓN POR PULSOS DIGITAL

## INFORMACIÓN EN LA CODIFICACIÓN

### MODULACIÓN POR PULSOS CODIFICADOS (PCM)



Dos Normas:  
Europea y Norteamericana

# DIGITALIZACIÓN PARA PCM

Leyes de  
cuantifica-  
ción

A (Europa y América del Sur) 256 niveles por

$\mu$  (EEUU y Japón)  
128 niveles por  
muestra

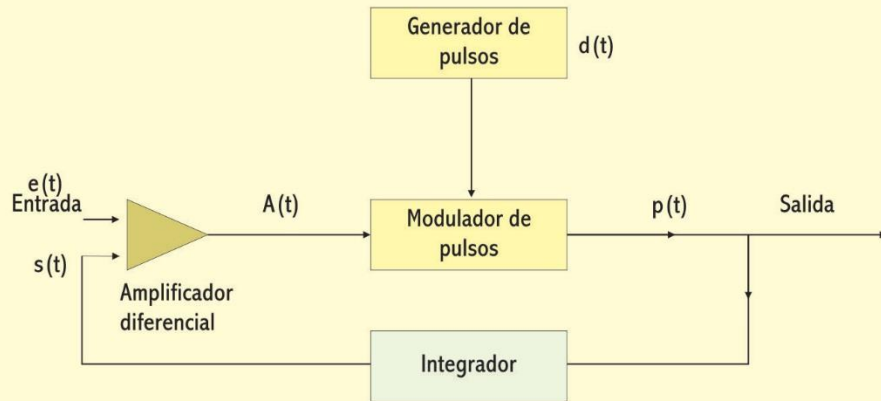
Codificación

A (Europa y América del Sur) 8 bits por muestra

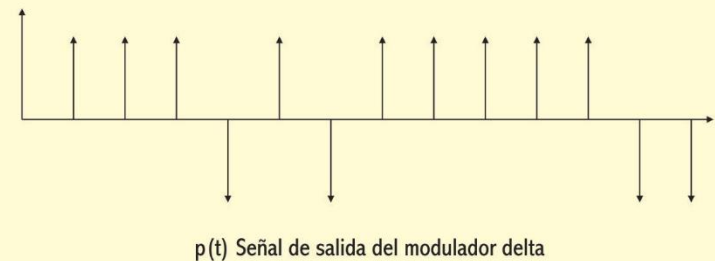
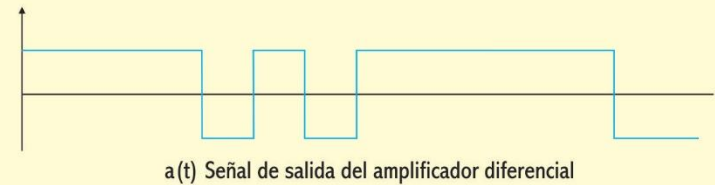
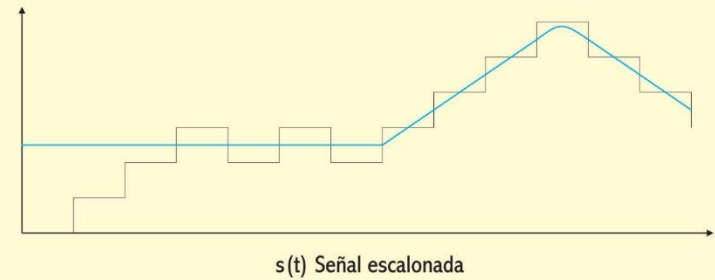
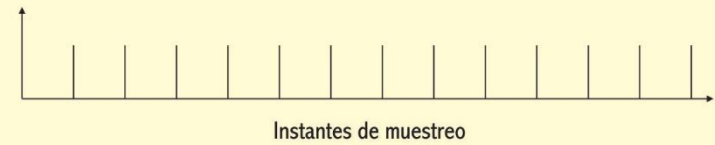
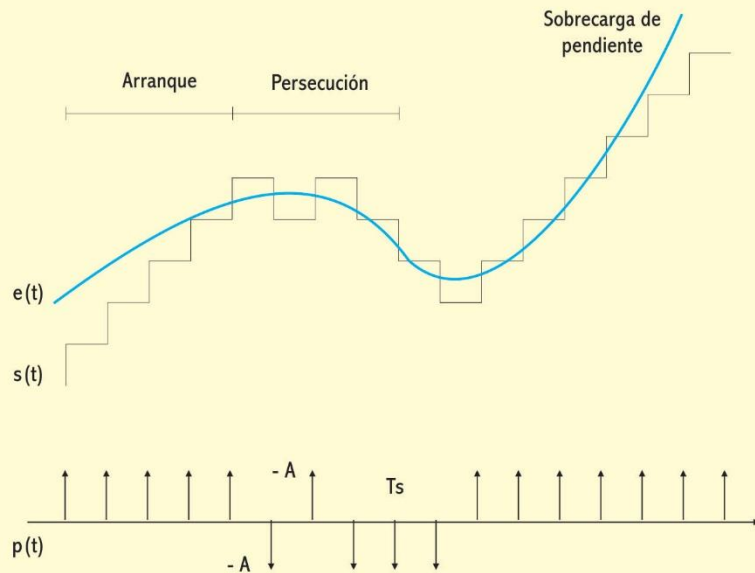
$\mu$  (EEUU y Japón)  
7 bits por muestra



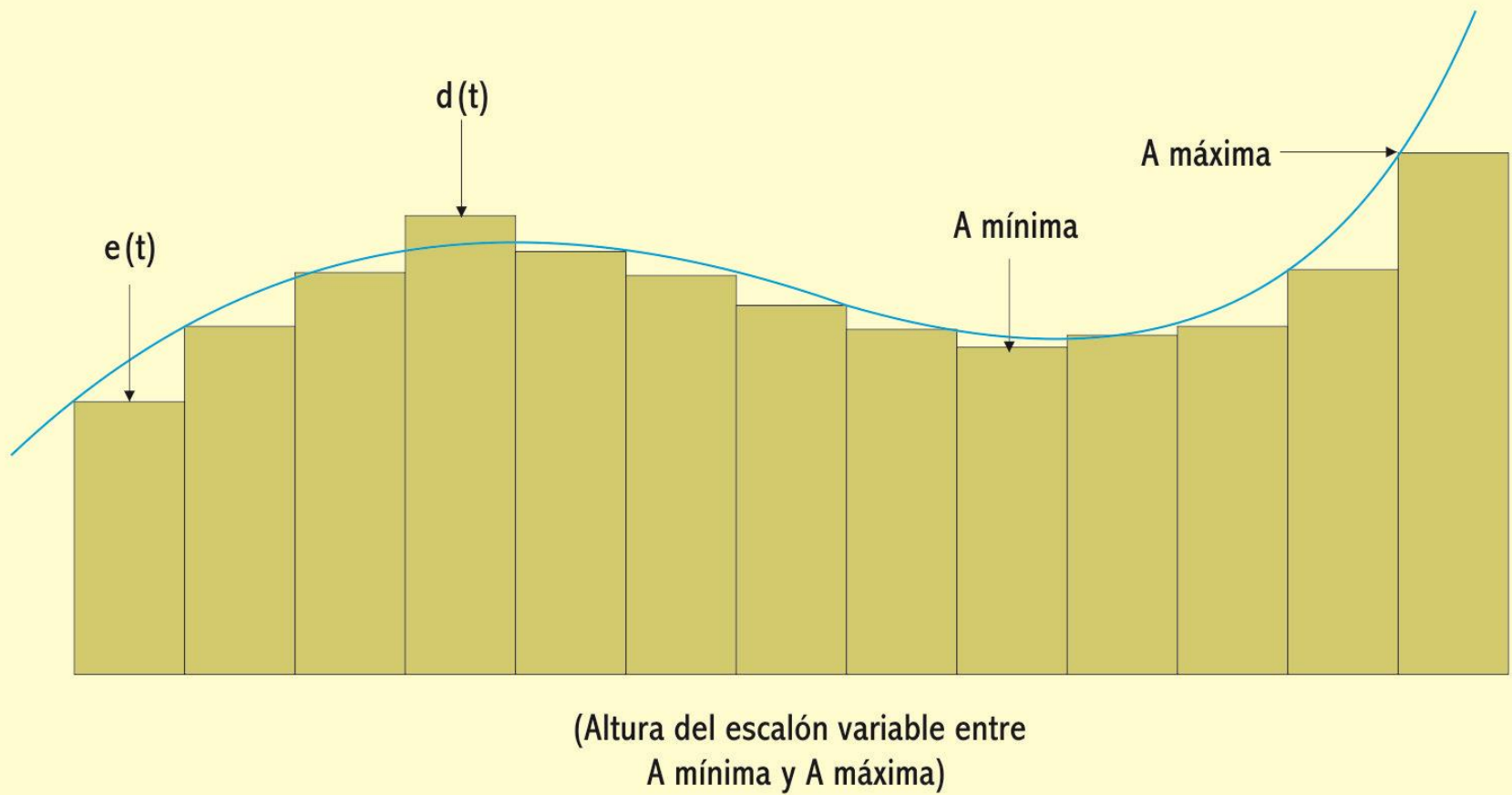
# MODULACIÓN DELTA



$d(t)$  = pulsos provenientes del generador de pulsos     $p(t)$  = pulsos de salida del modulador delta  
 $e(t)$  = señal analógica de entrada al modulador delta     $s(t)$  = señal de aproximación escalonada



# MODULACIÓN DELTA ADAPTIVA



# MODULACIÓN PCM DIFERENCIAL (DPCM)

Combina Modulación Delta con la codificación de sistemas PCM.

Reemplaza el modulador de pulsos por un dispositivo muestreador-cuantificador.

$P(t)$  con amplitud proporcional a la diferencia entre  $e(t)$  y  $s(t)$ , que se transmite codificada.

