

# **COMUNICACIONES**



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

**Ingeniero ALEJANDRO LUIS ECHAZÚ**

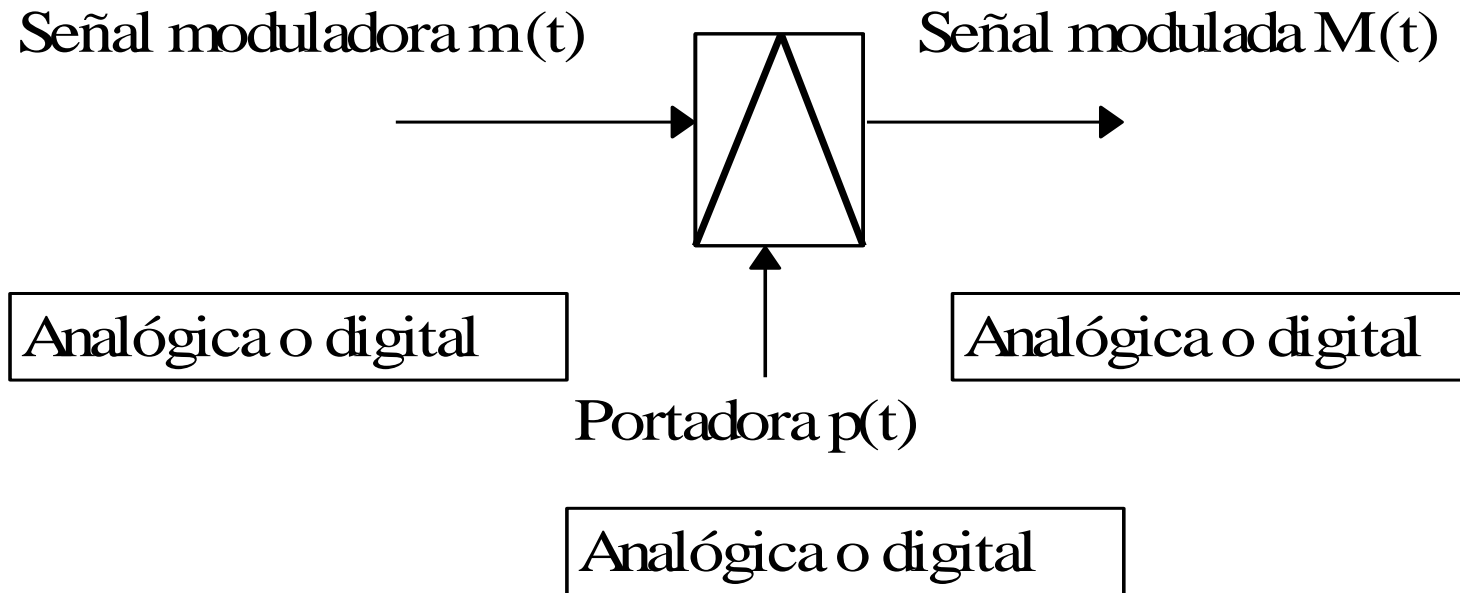
**<http://www.comunicacionnueva.com.ar>**

# MODULACION

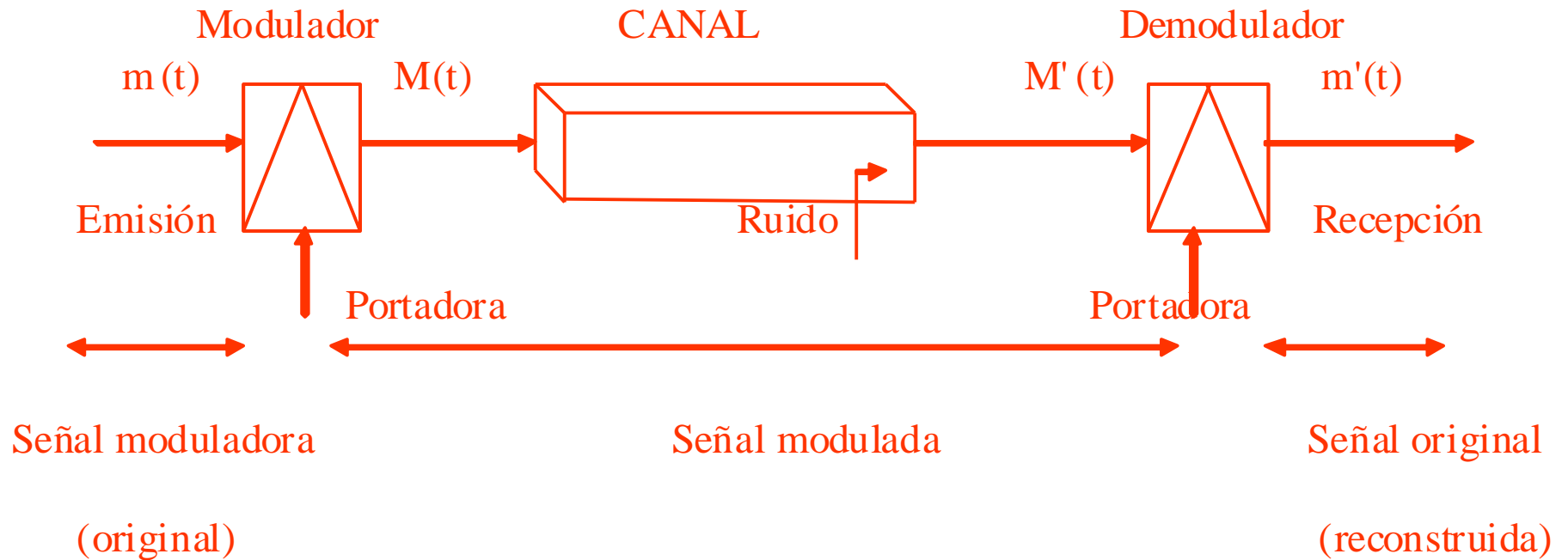
La modulación es un proceso que consiste en transformar una señal (que representa información) en otro tipo de señal adecuada para su transmisión por un medio de comunicación, sin modificar sustancialmente la información que ella representaba.

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 BÁSICO DE MODULACIÓN



# ESQUEMA DE UNA TRANSMISIÓN MODULADA

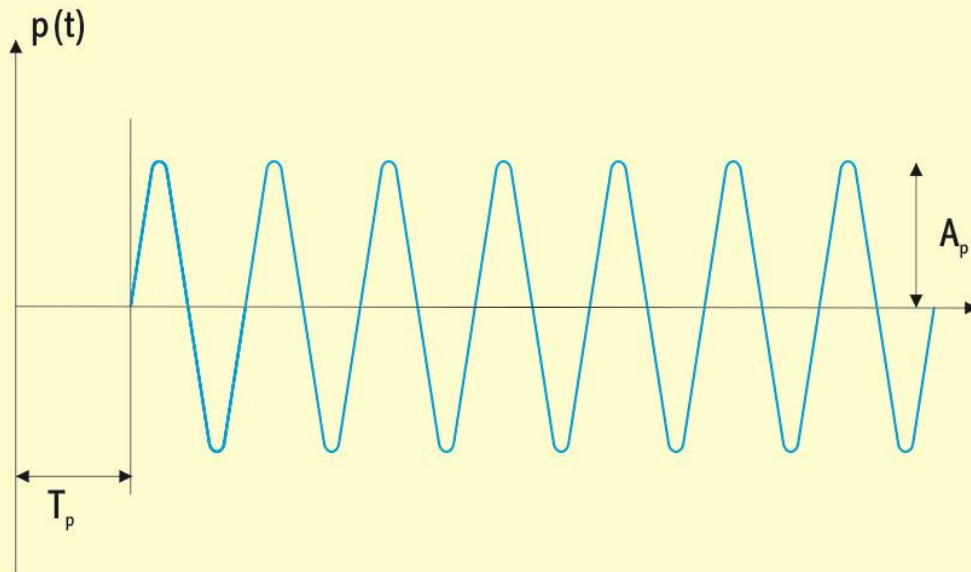


# TIPOS DE MODULACION

Tipo de modulación	Moduladora	Portadora	Modulada	Nombre de la modulación
Continua analógica	Analógica	Analógica	Analógica	AM FM PM
Continua digital	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

# 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:**

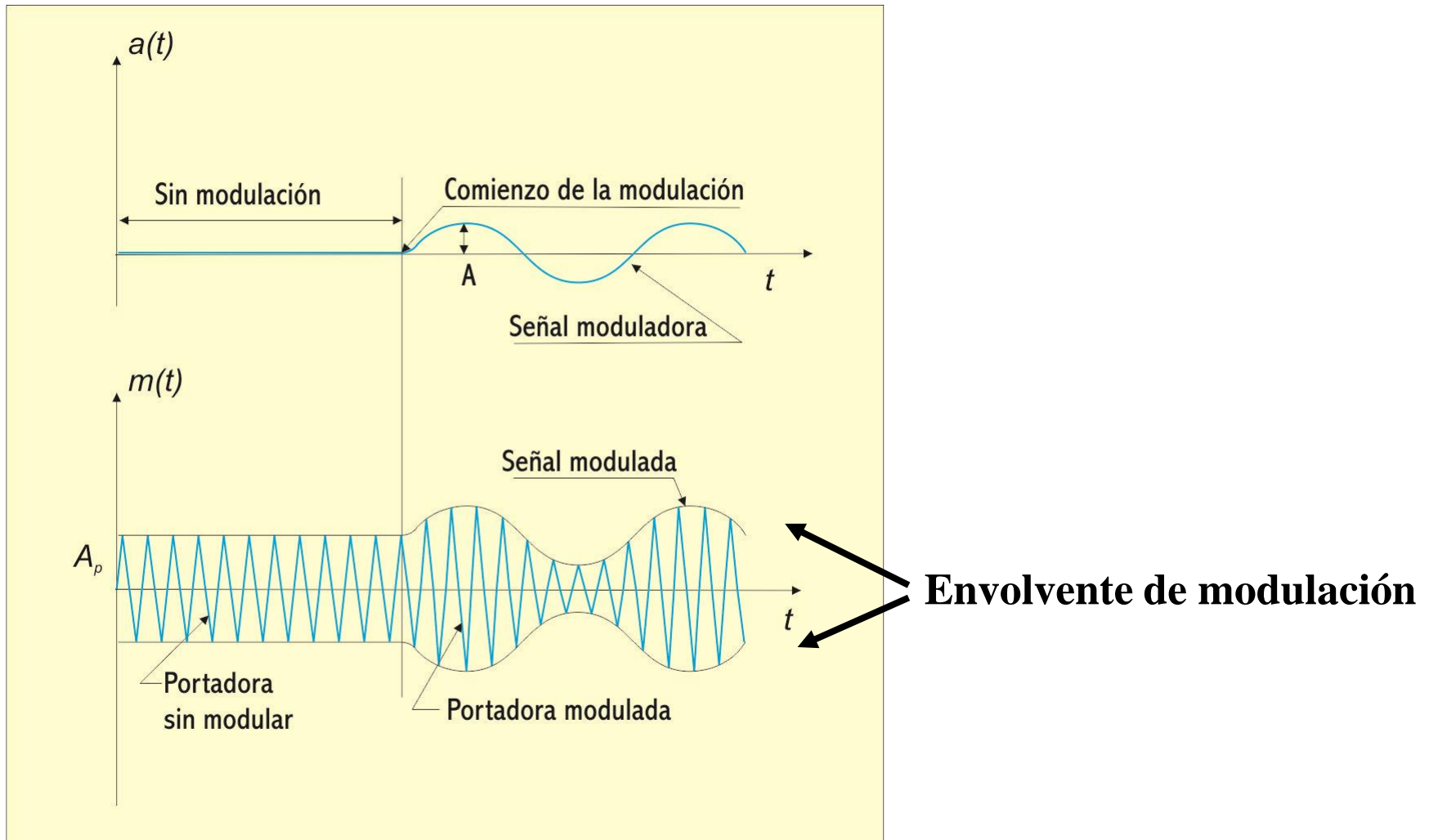
- **AMPLITUD**
- **FRECUENCIA**
- **FASE**

# AM

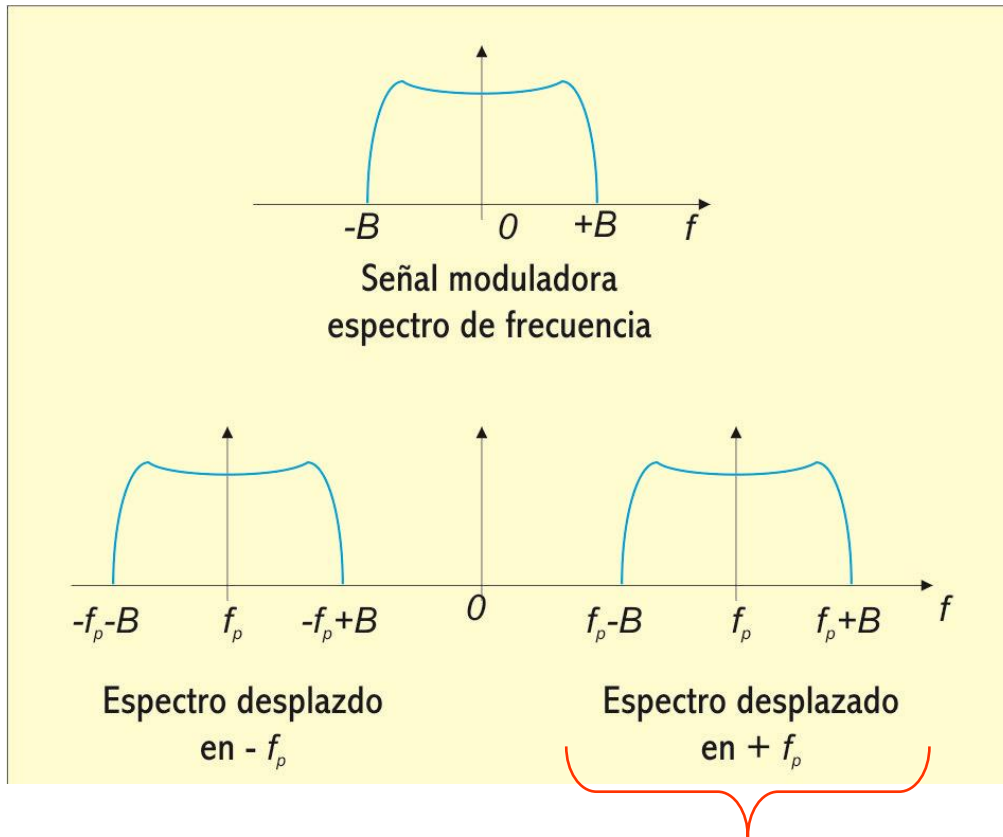
**MODULADORA**  $a(t) = A \sin(\omega_a t + \theta_a)$

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

$$\omega_a \ll \omega_p$$



# 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)**

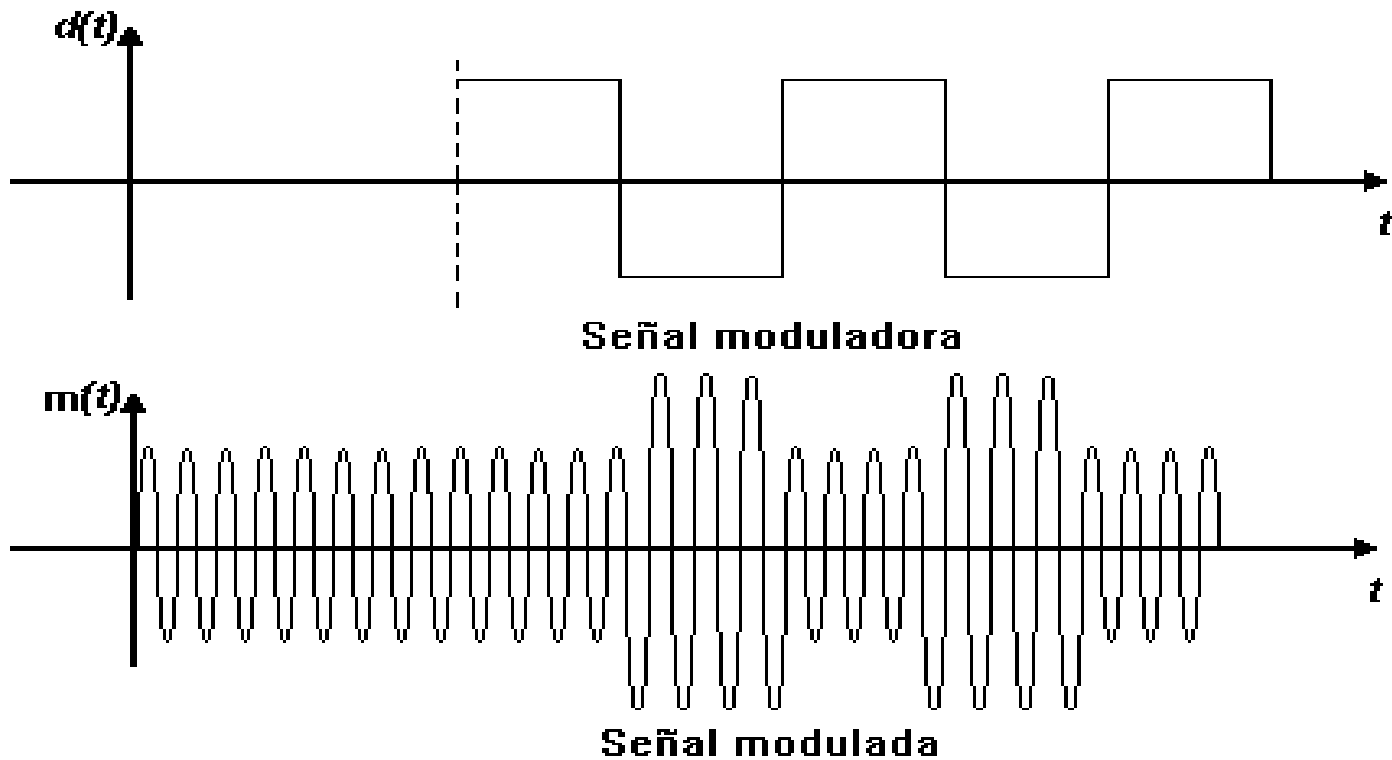
$$AB_{DBL} = 2B$$

$$AB_{BLU} = B$$



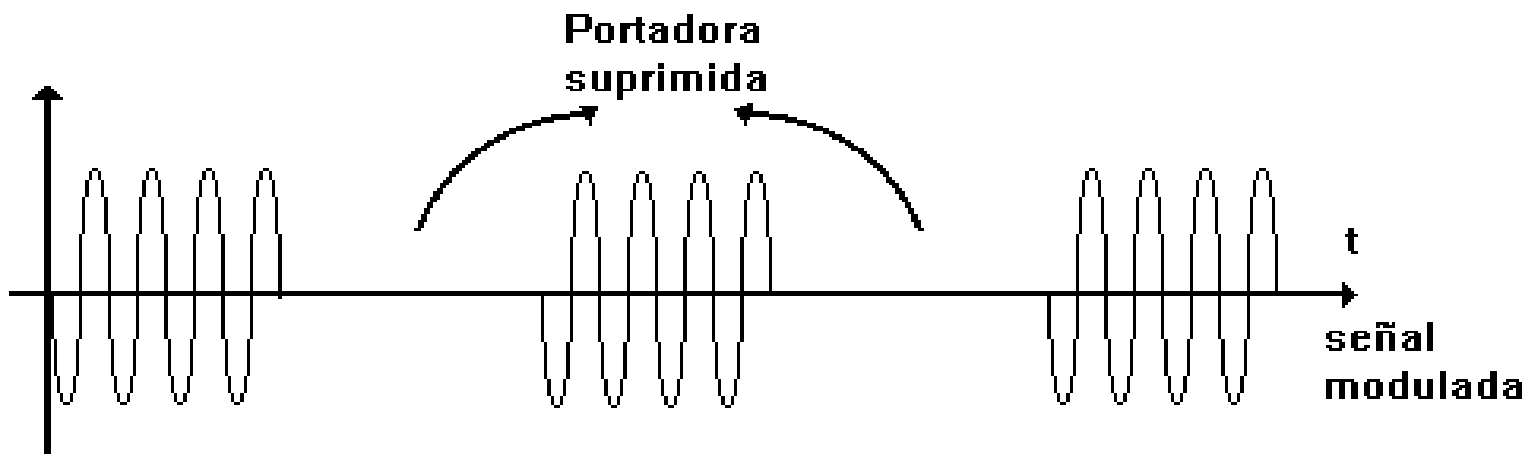
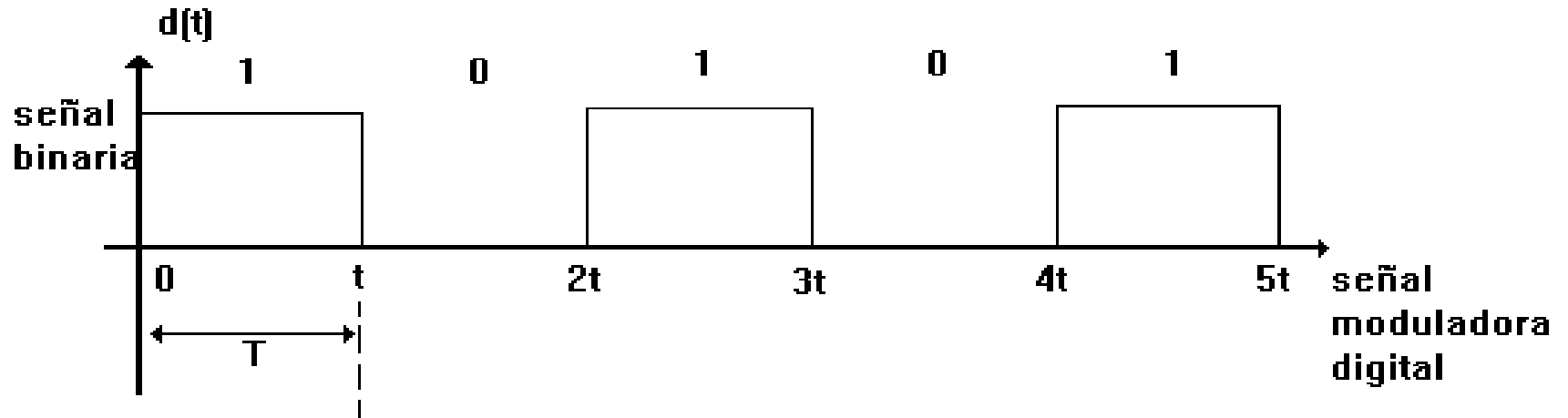
# ASK

## VARIACION DE NIVEL DE PORTADORA



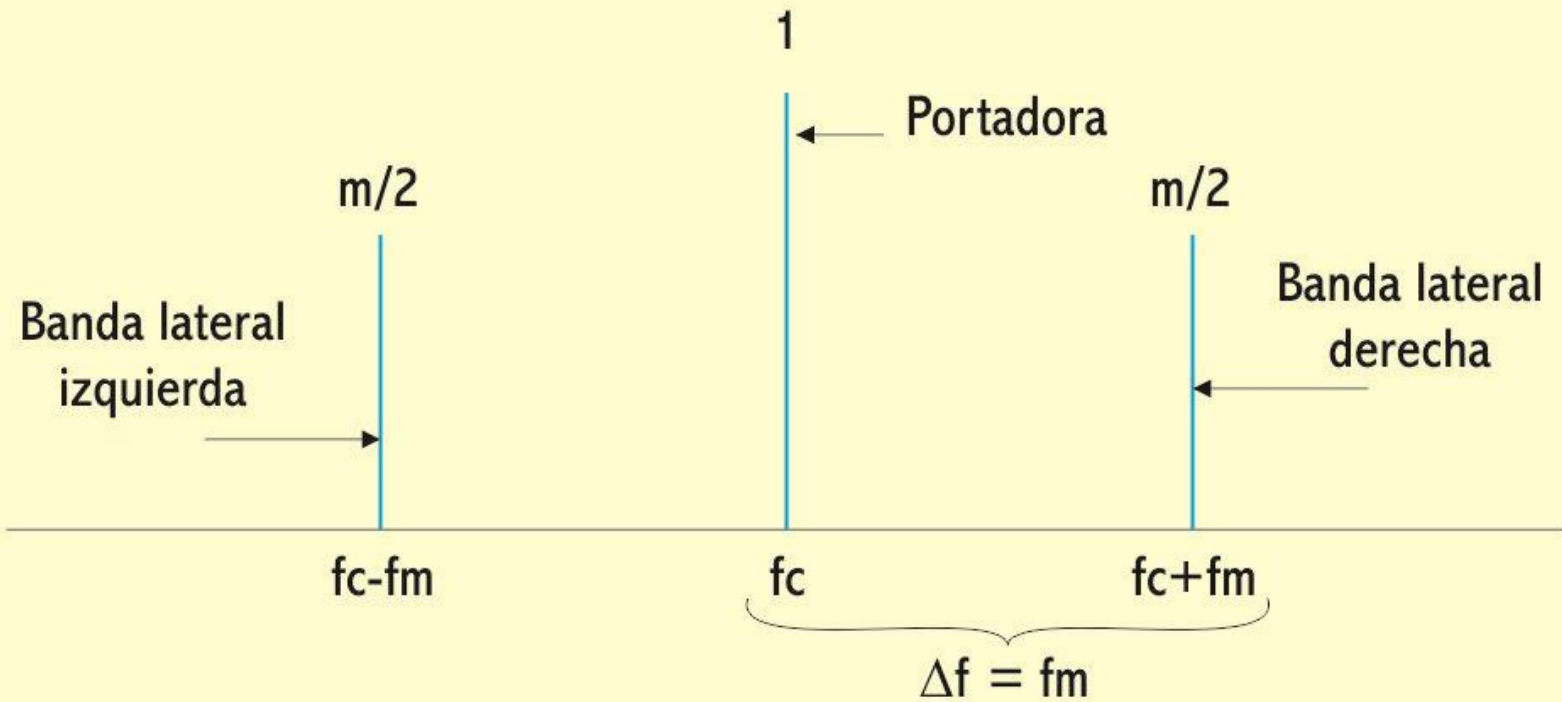
# ASK

## POR SUPRESION DE PORTADORA

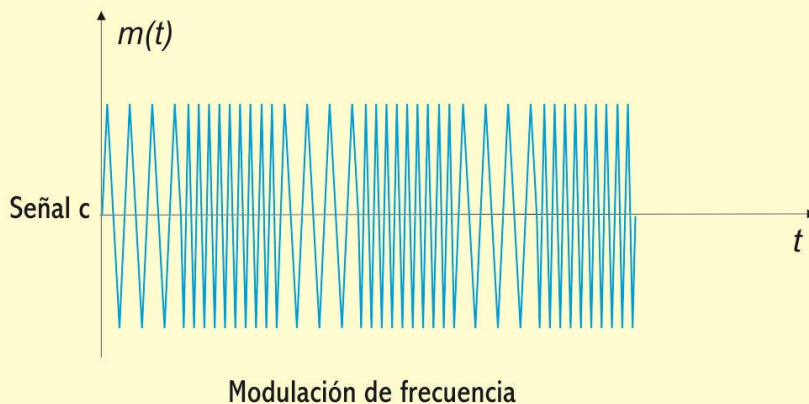
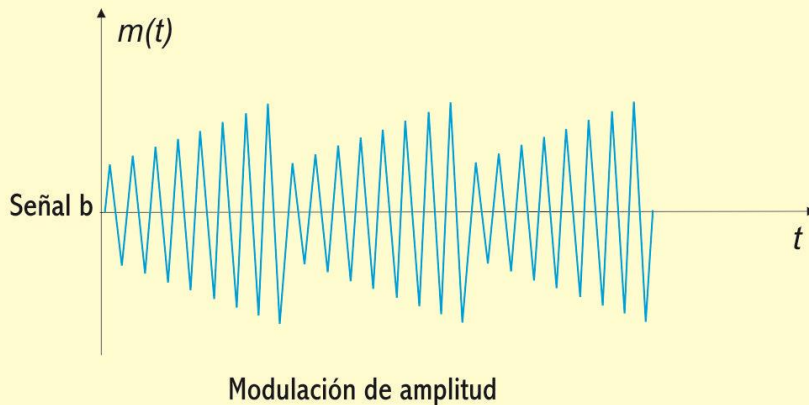
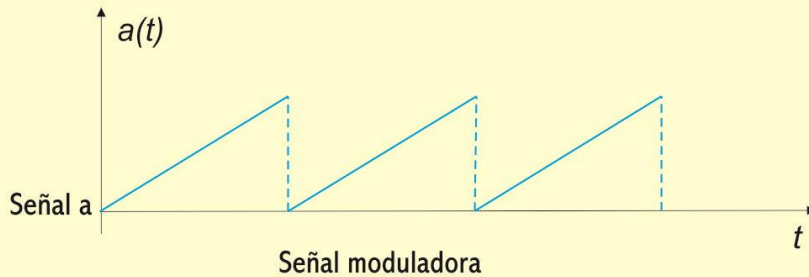


# ASK

## ANCHO DE BANDA



# FM



## SEÑAL MODULADA

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

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

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

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

**Banda Angosta**

$$\Delta f \ll f_a$$

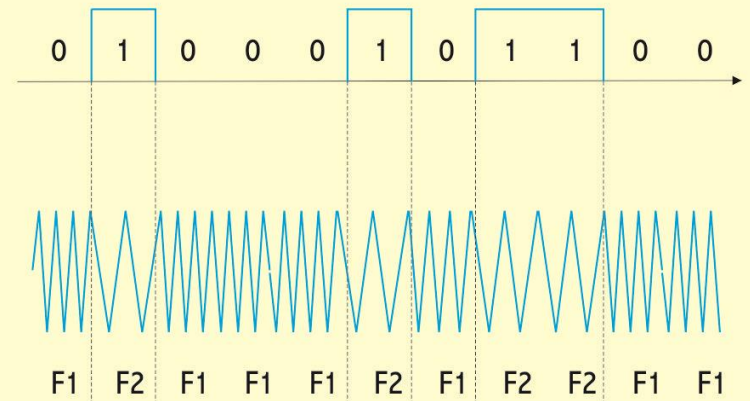
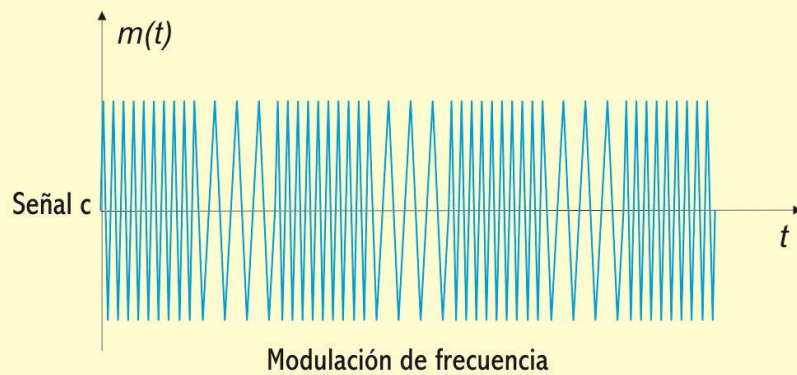
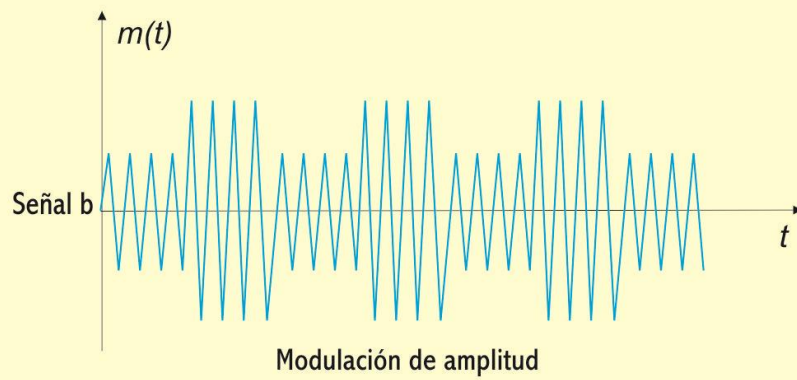
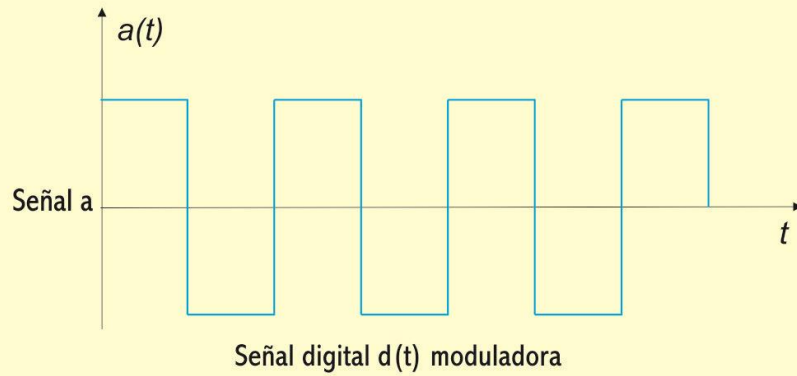
$$AB \text{ aprox} = 2 f_a$$

**Banda Ancha**

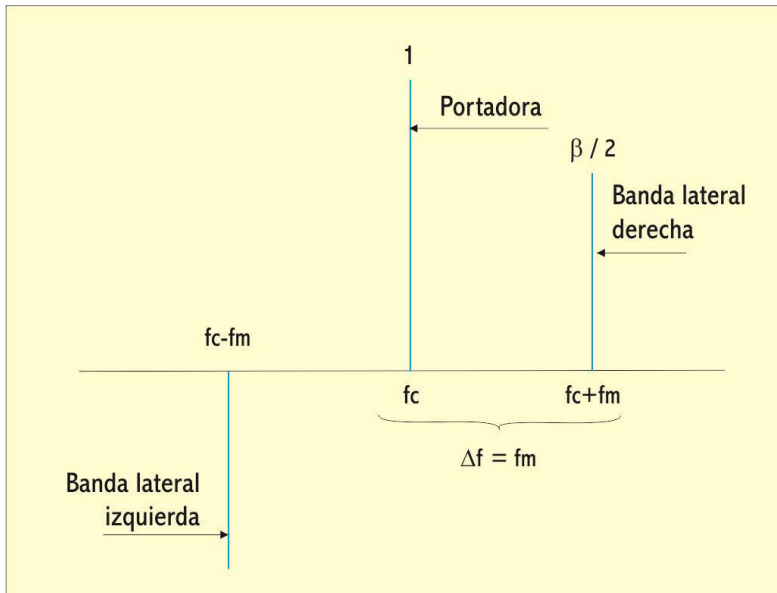
$$\Delta f \gg f_a$$

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

# FSK



# FSK ANCHO DE BANDA

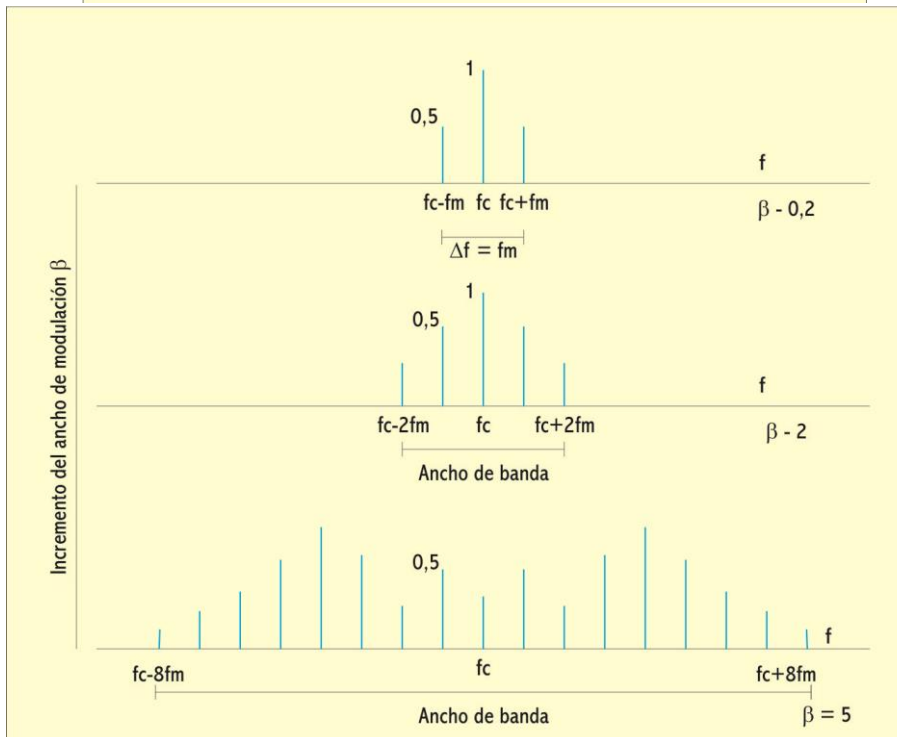


## BANDA ANGOSTA

$$\beta < \pi/2$$

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

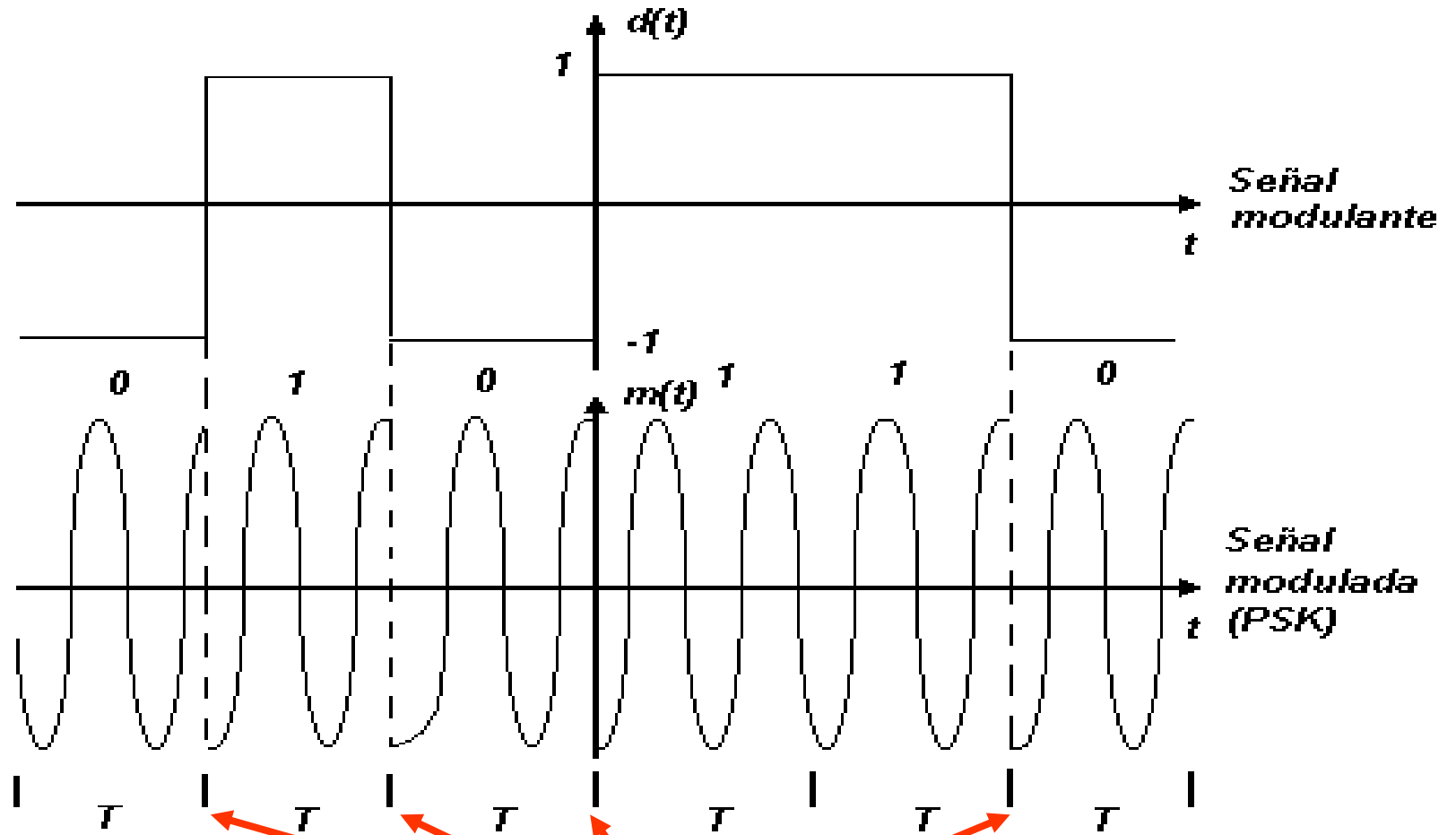
$$\beta = k A$$



## BANDA ANCHA

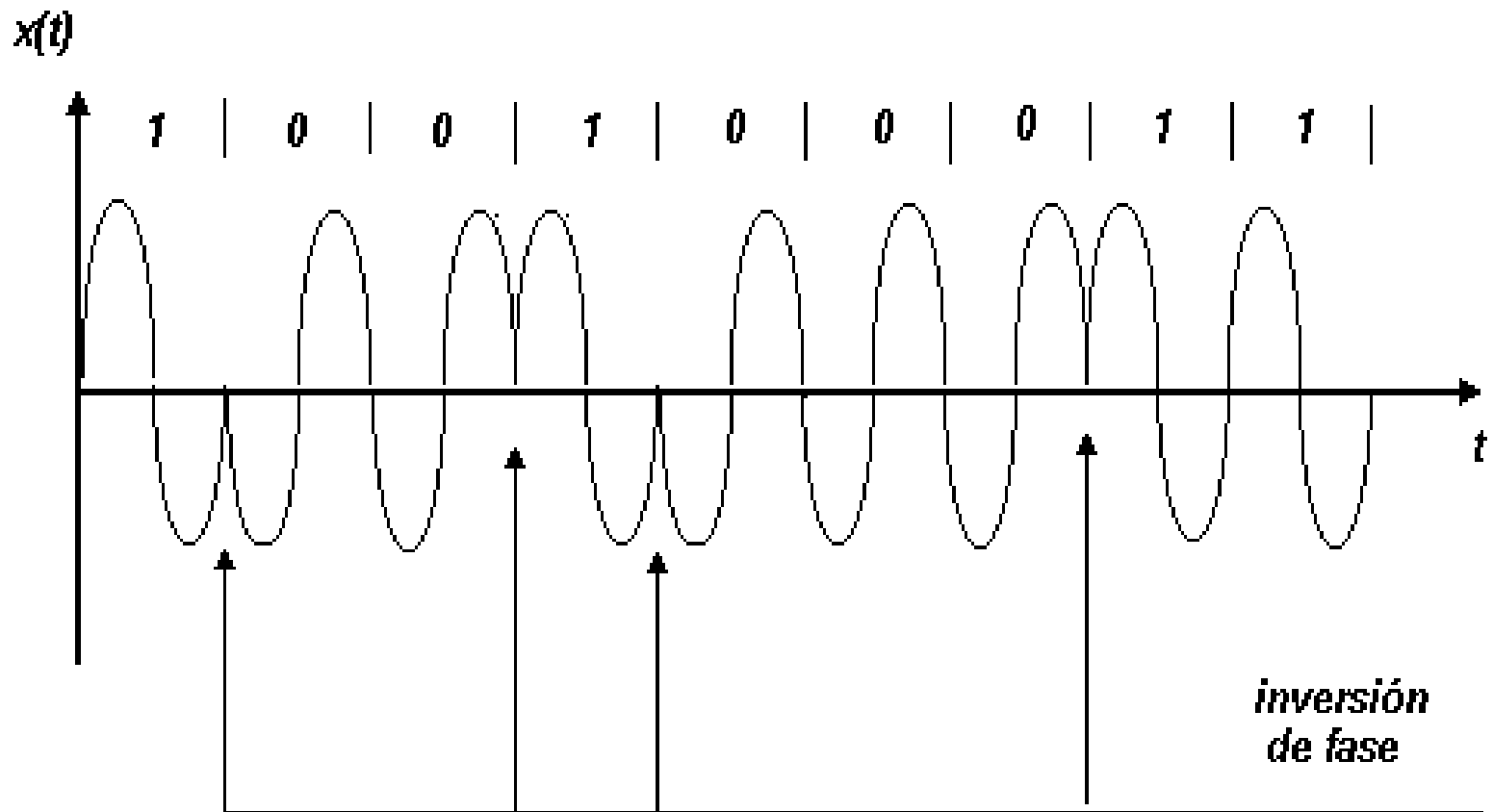
$$\beta > \pi/2$$

# PSK



**SALTOS DE FASE**

## SEÑAL 2-PSK / B-PSK



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



# ASIGNACION DE SECUENCIA DE BITS Y DE ESTADOS

## DIAGRAMA DE FASES

### MODULACION 4-PSK / Q-PSK

Nro  
de  
secuencia

1  
2  
3  
4

Secuencia  
de  
Bits

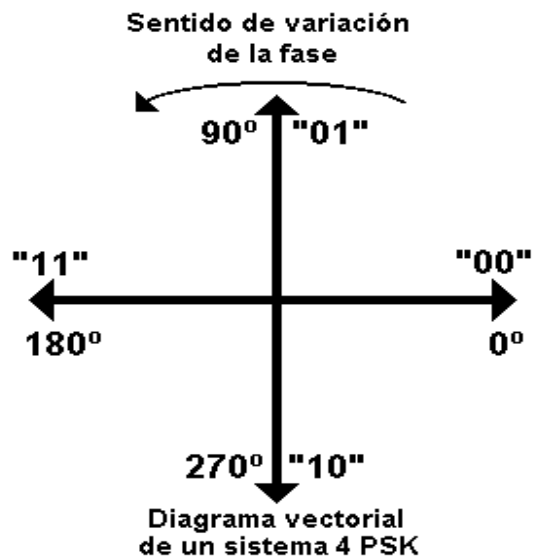
00  
01  
11  
10

Fase  
asignada

0°  
90°  
180°  
270°

**Cuadro de asignación**

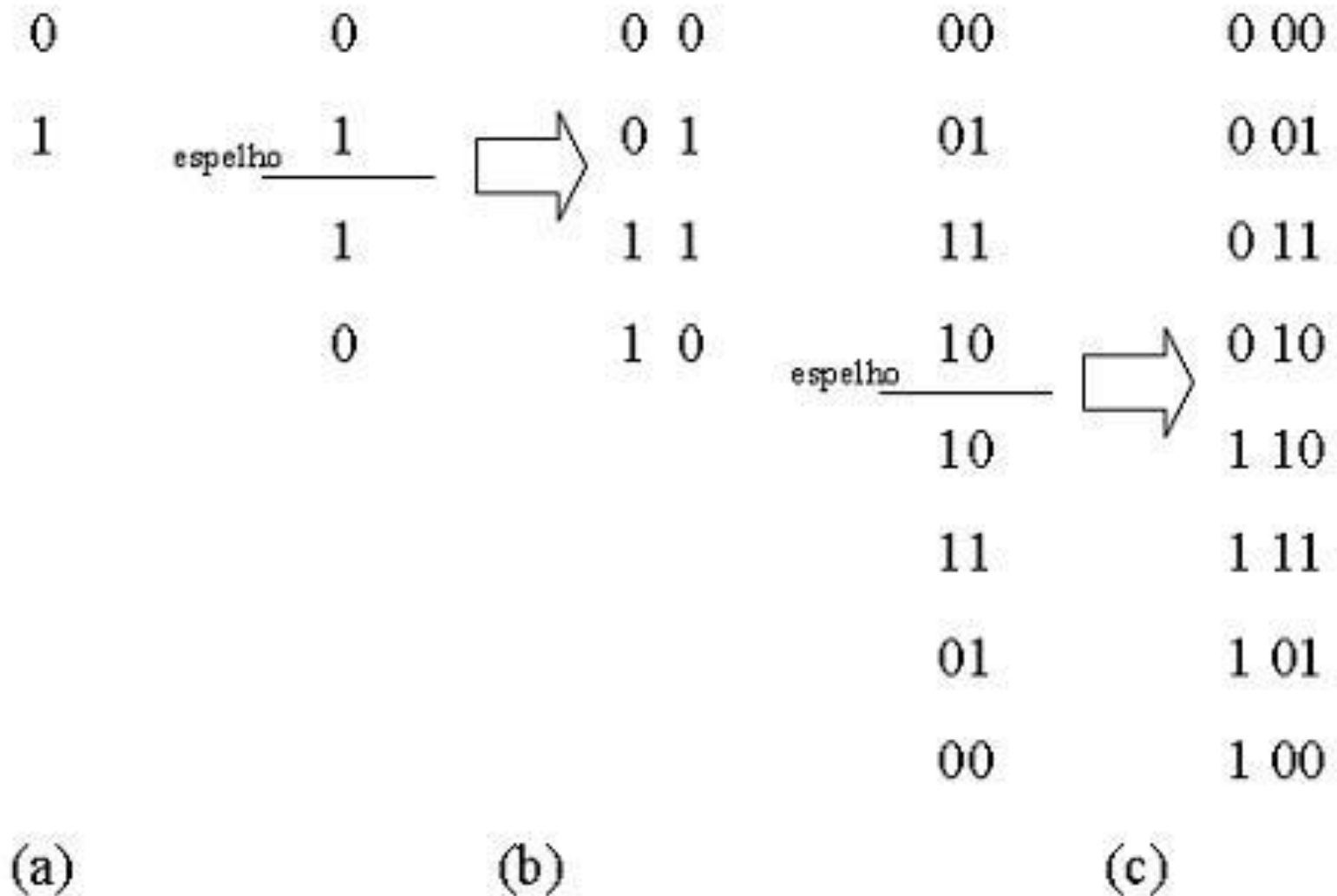
Se aplica Código  
Reflejo o de Gray



**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**

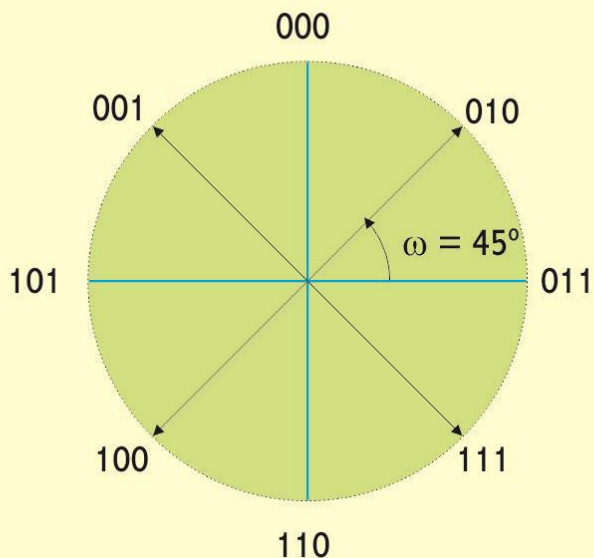
$$n = \log_2 M$$

**Cada salto lleva “n” bits**

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

**Relación entre ambas velocidades a través de “n”**

## 8-PSK



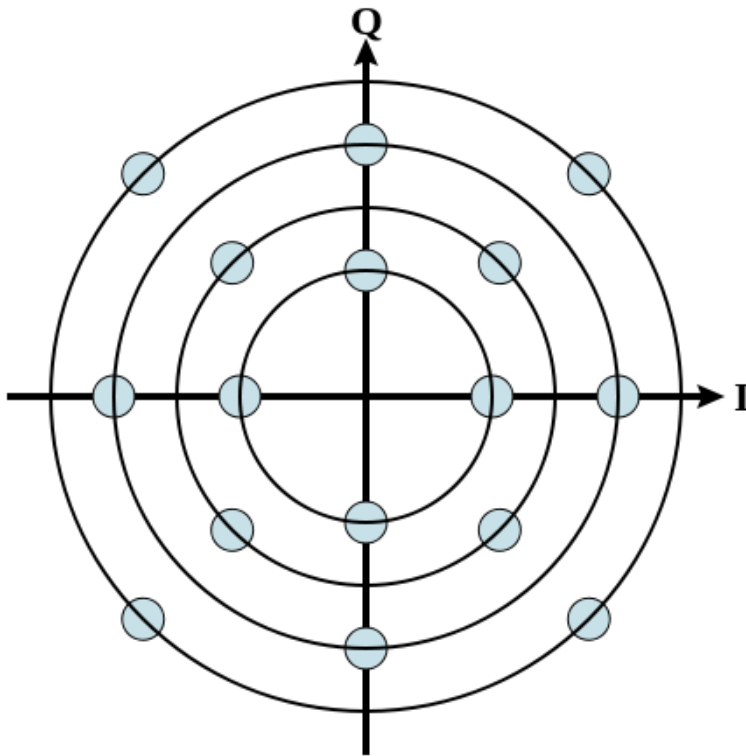
Nº de Secuencia	Dígitos binarios	Fase asignada
1	011	0°
2	010	45°
3	000	90°
4	001	135°
5	101	180°
6	100	225°
7	110	270°
8	111	315°

# MODULACION M-QAM

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

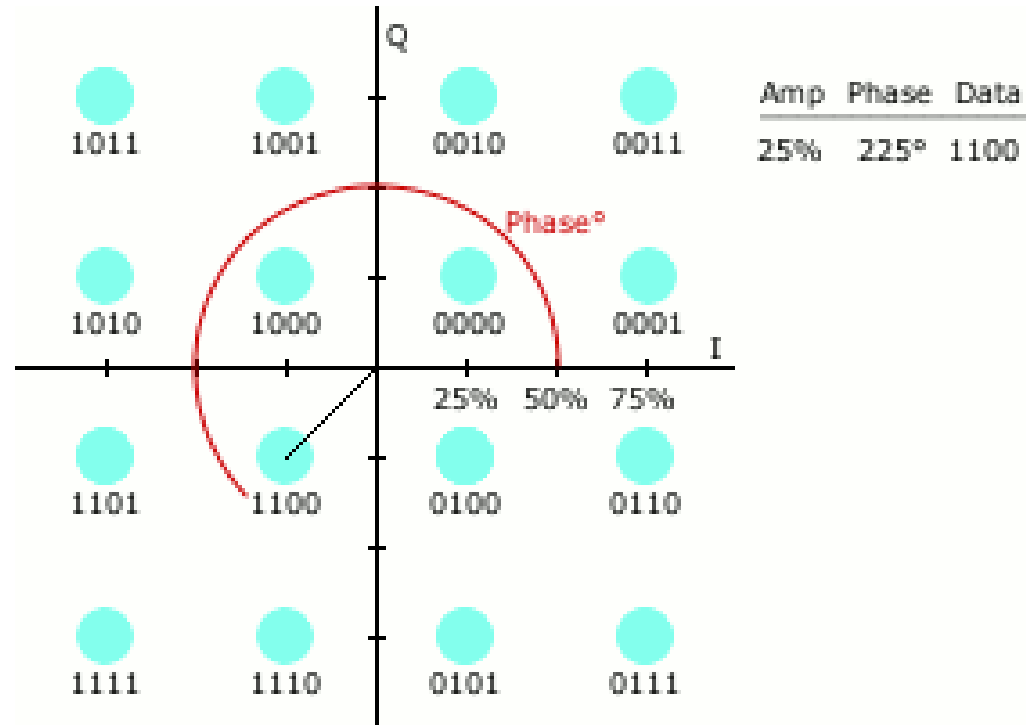
Combina saltos de amplitud y de fase

## MODULACION 16-QAM (ejemplos)



4 saltos de amplitud y 8 saltos de fase

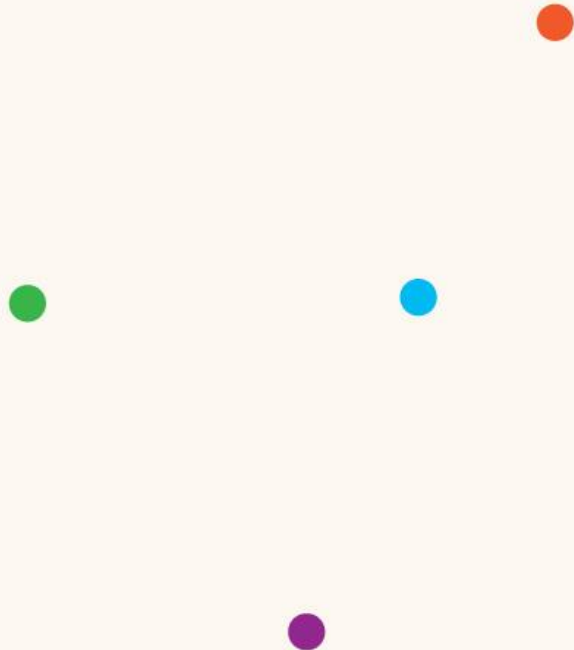
**Variente Circular**



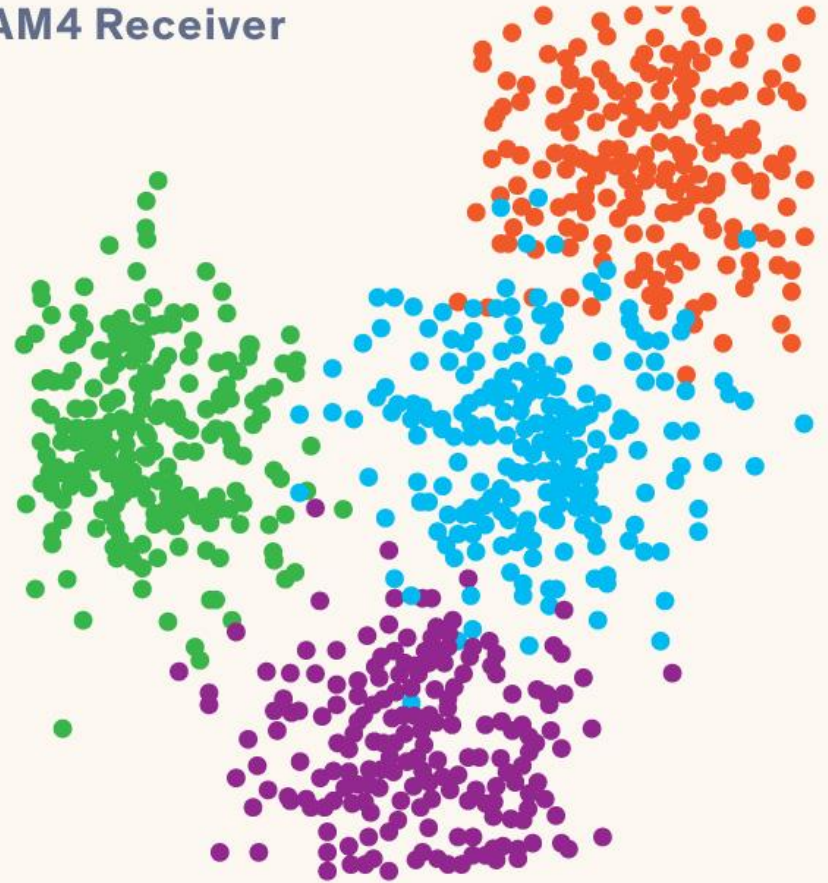
3 saltos de amplitud y 12 saltos de fase

**Variente Rectangular**

**QAM4 Transmitter**



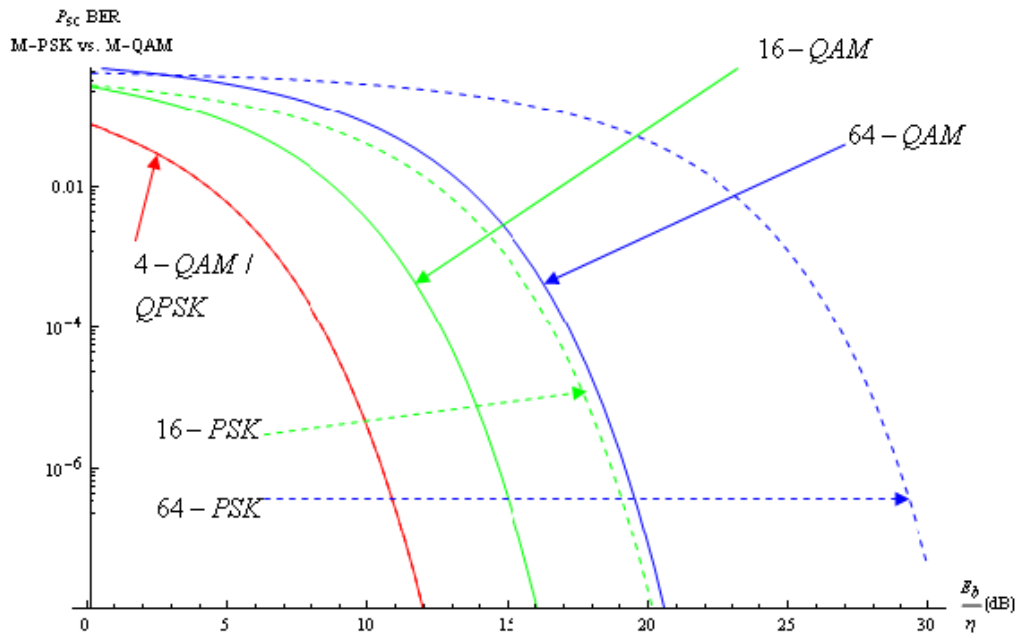
**QAM4 Receiver**



<https://spectrum.ieee.org/telecom/wireless/in-the-future-aisnot-humanswill-design-our-wireless-signals>

# COMPARACIÓN DE MODULACIÓN

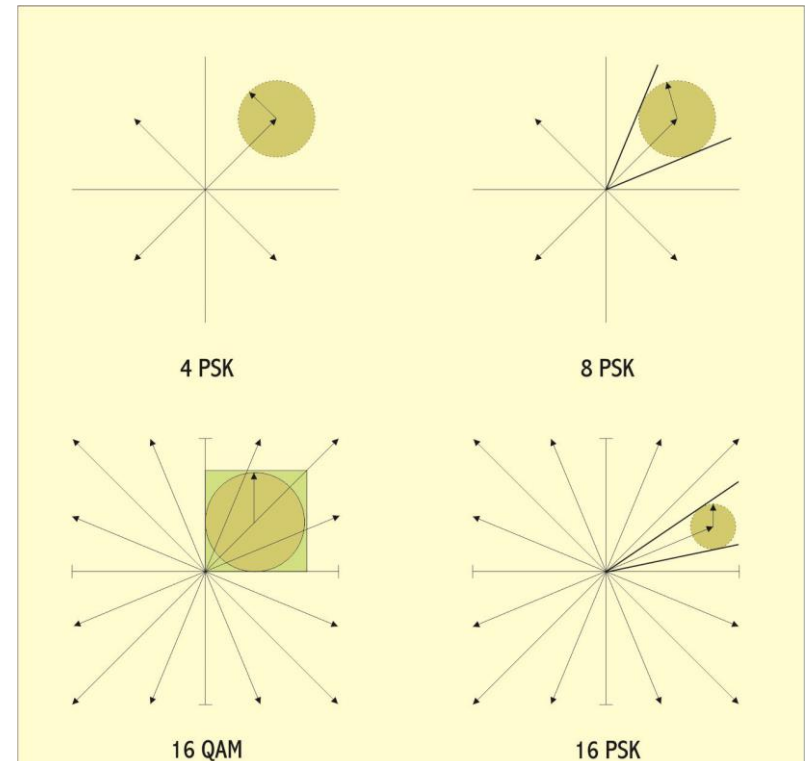
## M-PSK / M-QAM



**V tx (bps) / AB (Hz)**

**Sensibilidad al ruido  
(Pe)**

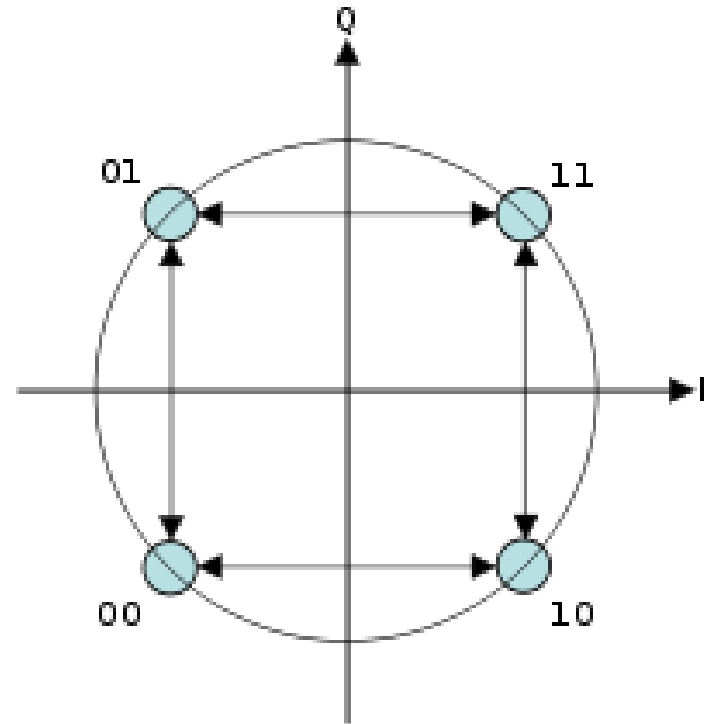
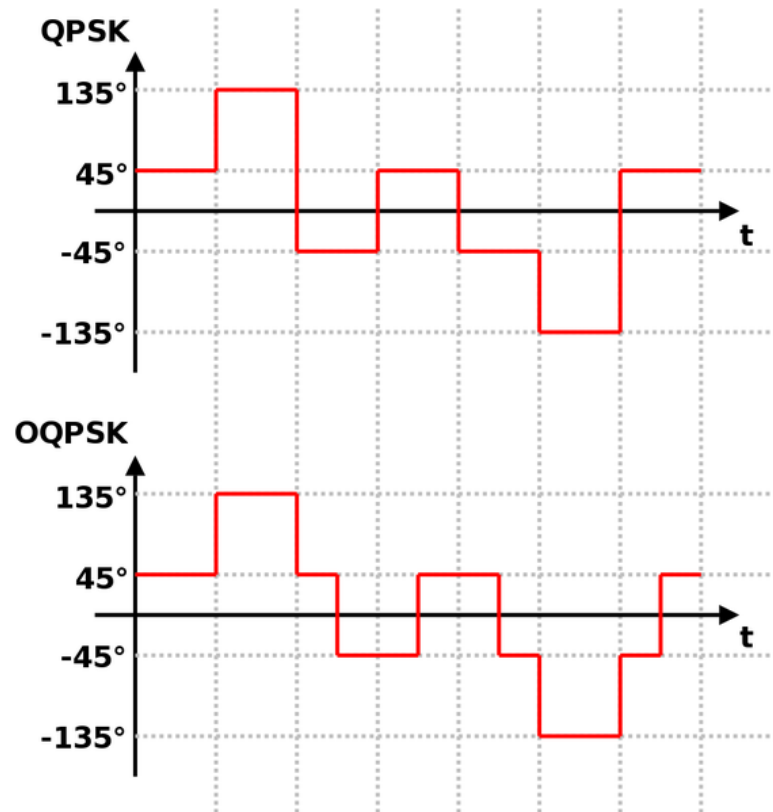
**S/N (Eb/No)**



# VARIANTES M-PSK

## OQPSK (offset - compensada)

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

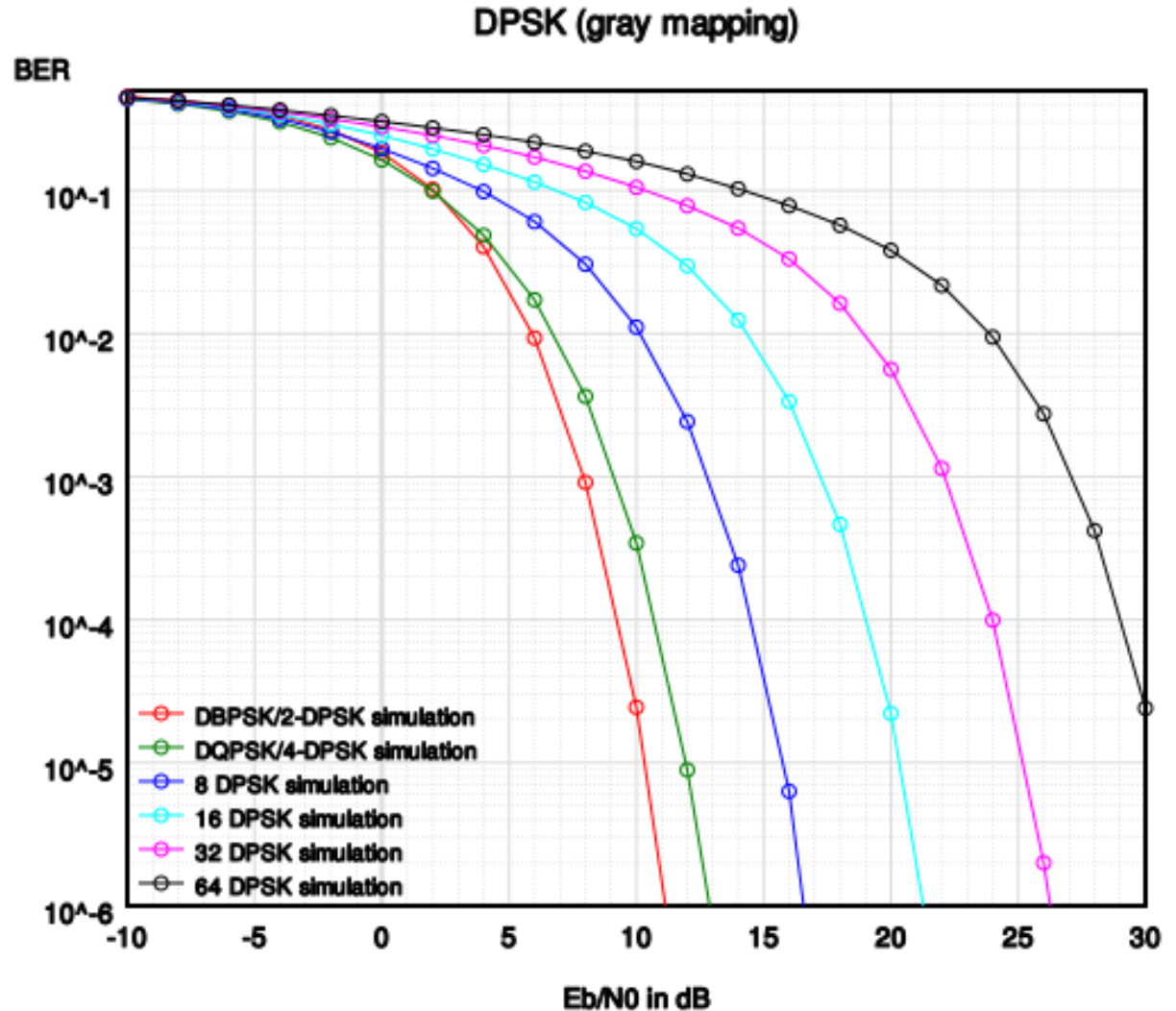


# VARIANTES M-PSK

## DPSK (diferencial)

Sin referencia de fase absoluta.

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





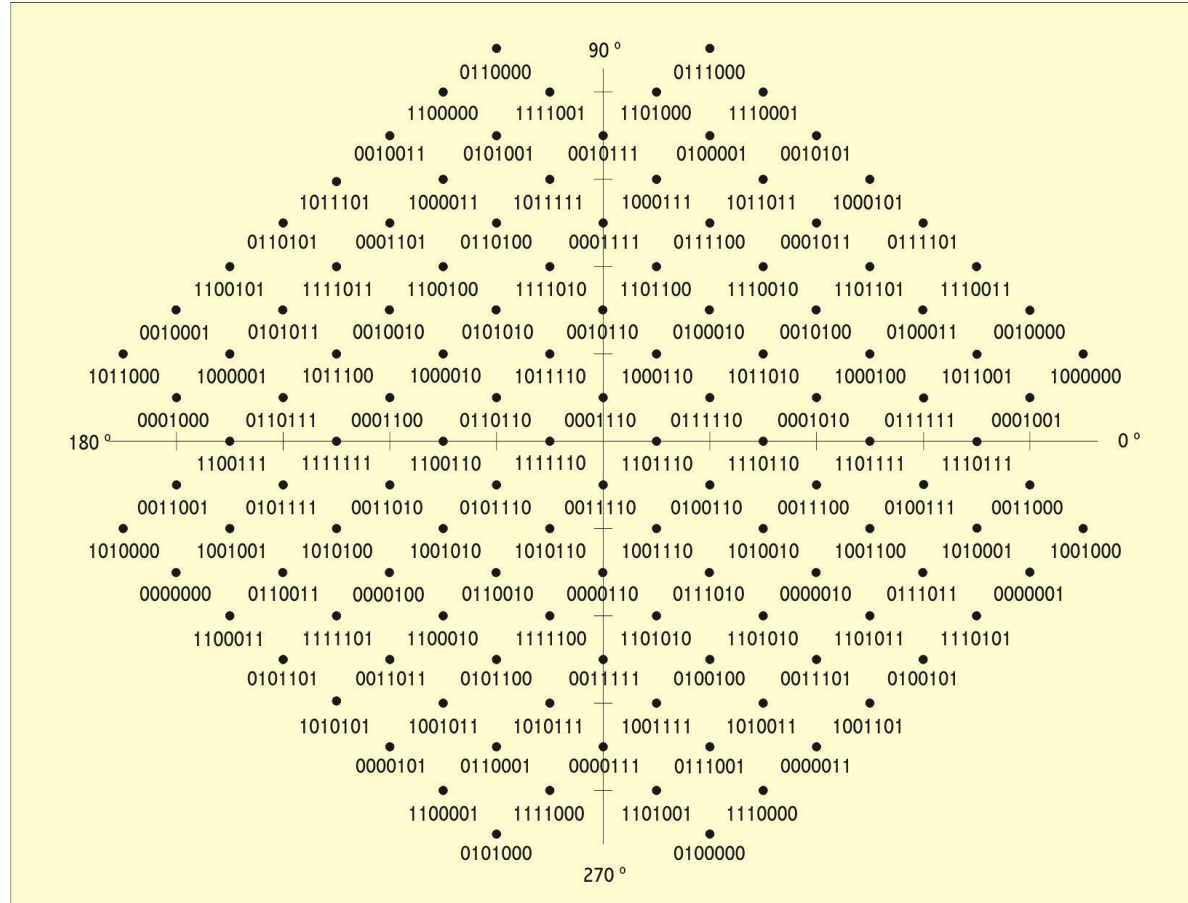
## VARIANTES M-PSK o M-QAM

# 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