

## **CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION**

### **SISTEMAS DE MODULACION**

#### **Modulación de Señales Continuas**

Es el proceso mediante el cual un parámetro (amplitud o ángulo) de una portadora sinusoidal se hace variar en forma instantánea proporcionalmente a una señal mensaje de baja frecuencia. Se distinguen dos tipos:

- 1. La Modulación Lineal o de Amplitud**
- 2. La Modulación Angular o Exponencial**

## **CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION**

### **TECNICAS DE MODULACION**

#### **Modulación de Señales Continuas**

Es el proceso mediante el cual un parámetro (amplitud o ángulo) de una portadora sinusoidal se hace variar en forma instantánea proporcionalmente a una señal mensaje de baja frecuencia. Se distinguen dos tipos:

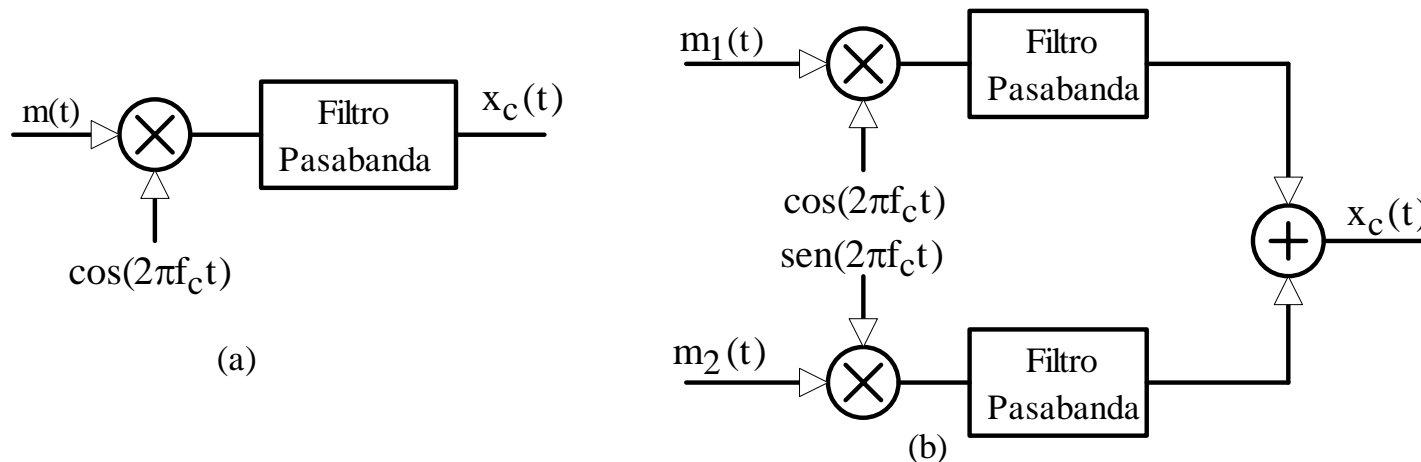
- 1. La Modulación Lineal o de Amplitud**
- 2. La Modulación Angular o Exponencial**

**CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION**

**TECNICAS DE MODULACION**

**Modulación Lineal o de Amplitud**

Se genera mediante multiplicación de la señal mensaje que contiene la información por una portadora sinusoidal. Este producto es procesado por filtros pasabanda lineales que definen el tipo particular de modulación.



Moduladores de Amplitud

## CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION

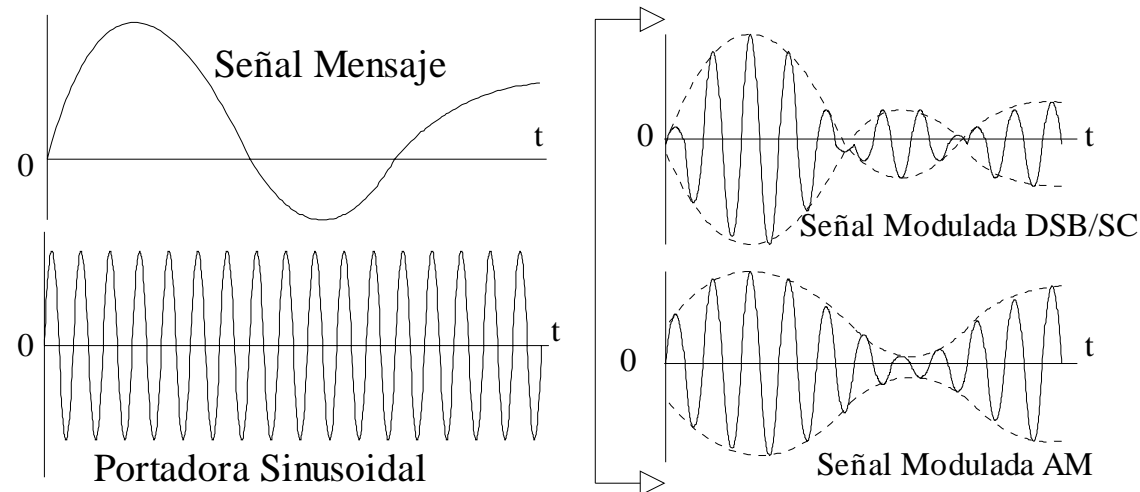
### TECNICAS DE MODULACION

#### Modulación Lineal en Banda Lateral Doble

Estas señales se describen mediante las ecuaciones:

$$x_{\text{DSB/SC}}(t) = m(t) \cdot \cos(2\pi f_c t) \quad \text{en DSB/SC y}$$

$$x_{\text{AM}}(t) = [A_c + m(t)] \cdot \cos(2\pi f_c t) \quad \text{en AM}$$

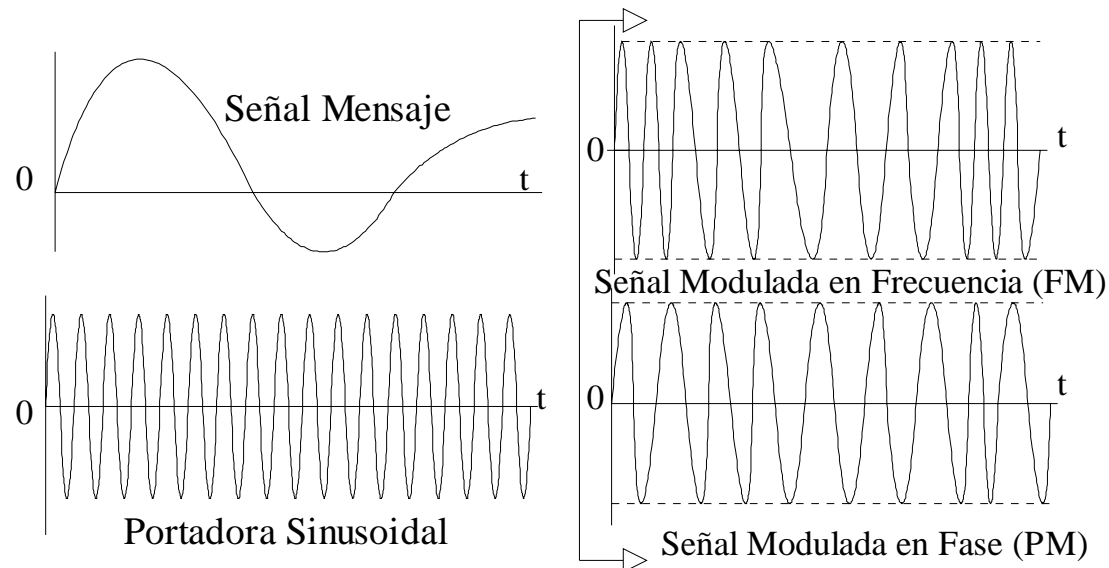


## CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION

### TECNICAS DE MODULACION

#### Modulación Angular o Exponencial

Son señales de amplitud constante en las cuales la información está contenida en la fase instantánea de la portadora. Se distingue dos tipos de modulación angular: la Modulación de Fase (PM) y la Modulación de Frecuencia (FM)

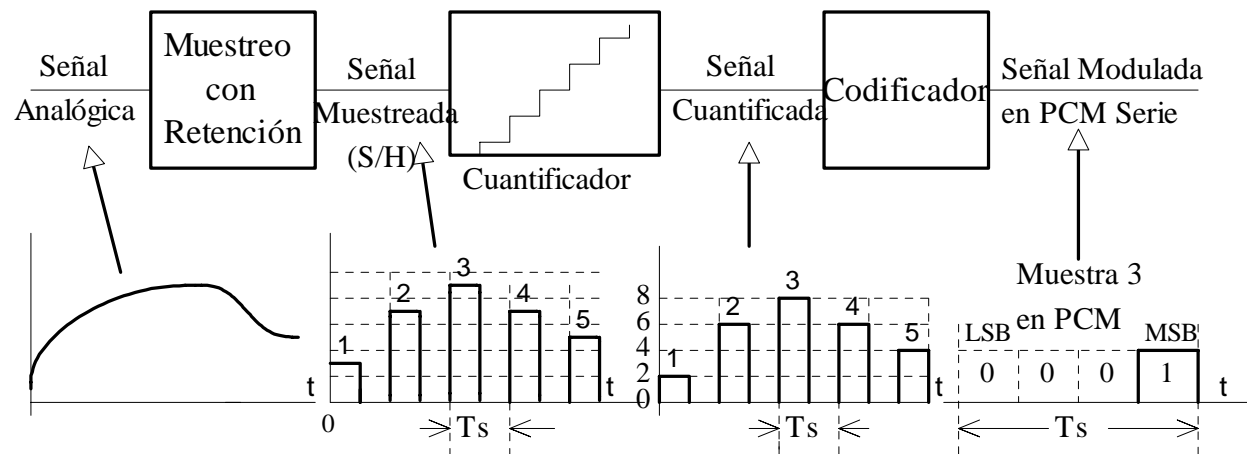


**CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION**

**TECNICAS DE MODULACION**

**Modulación de Impulsos Codificados (PCM)**

En esta técnica de modulación digital cada muestra del mensaje se codifica en una secuencia única de impulsos, generalmente binarios.



## **CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION**

### **TECNICAS DE MODULACION**

#### **Técnicas de Modulación Binaria**

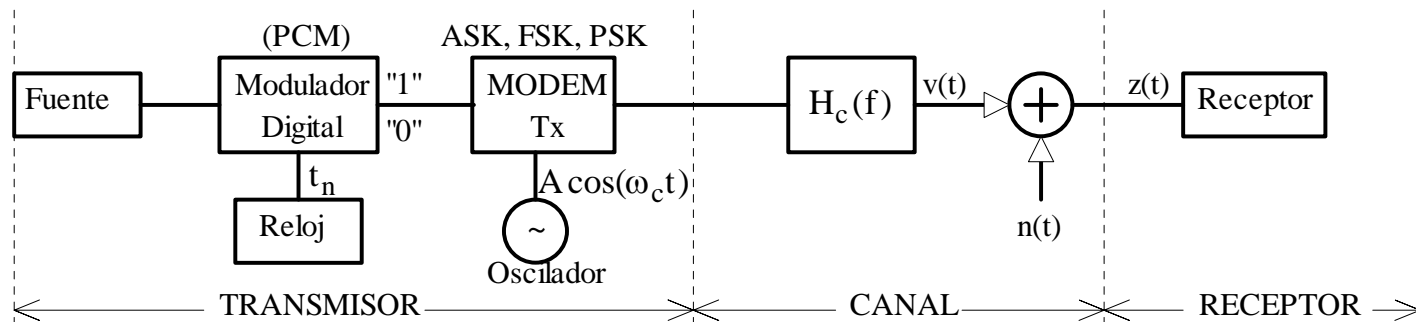
\_\_\_\_\_ Las señales **PCM** no se transmiten a gran distancia en la forma de una señal de banda de base sino como una señal modulada en forma analógica.

Los impulsos **PCM** modulan una portadora sinusoidal cuya frecuencia es compatible con el medio de transmisión. La modulación se realiza en un **MODEM**, en el cual los dígitos binarios PCM modulan la amplitud, la frecuencia o la fase de una portadora sinusoidal.

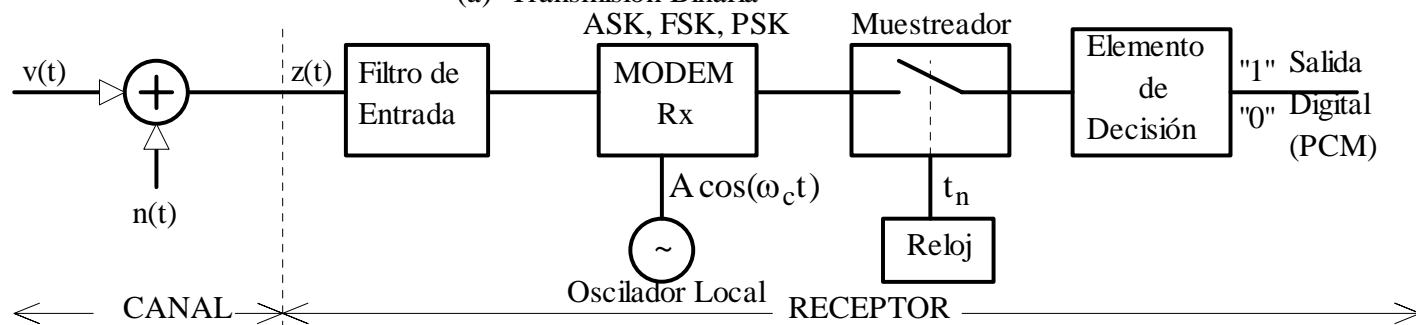
**CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION**

**TECNICAS DE MODULACION**

**Transmisión y Recepción Binaria**



(a) Transmisión Binaria



(b) Recepción Binaria

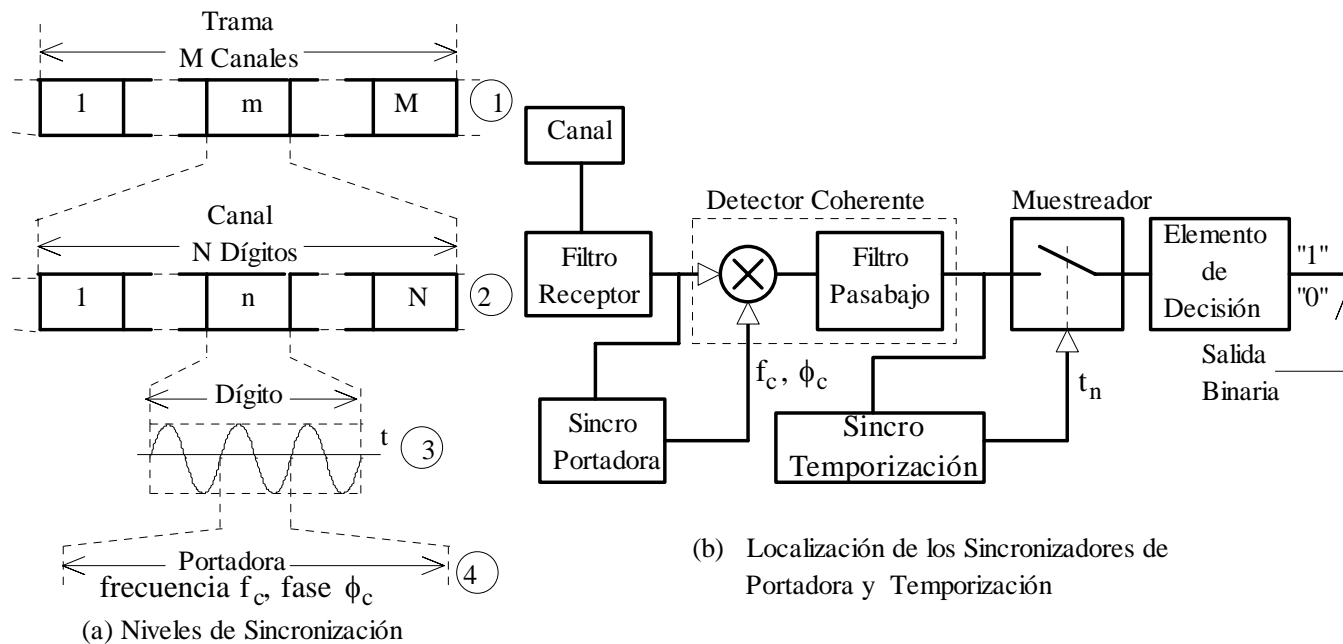
Transmisión y Recepción Binaria mediante Portadora Modulada.



# CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION

## TECNICAS DE MODULACION

### SINCRONIZACION DE PORTADORA Y TEMPORIZACION



Sincronización de Portadora y Temporización.

## **CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION**

### **TECNICAS DE MODULACION BINARIA**

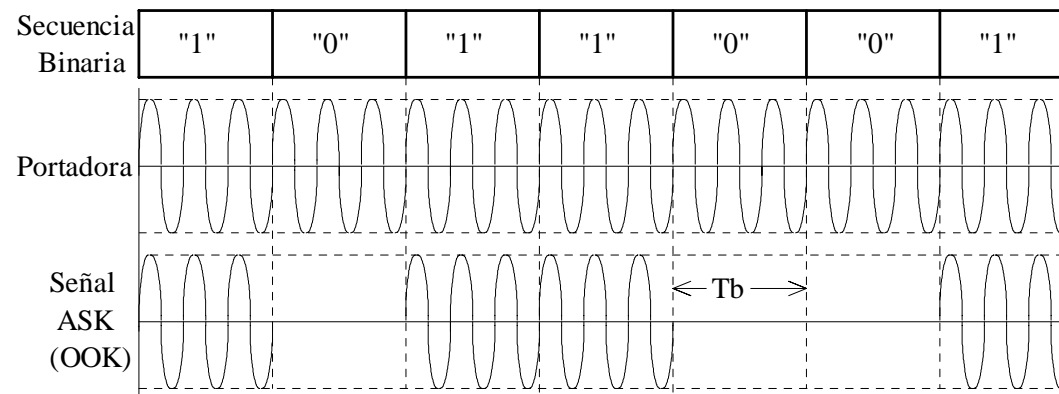
#### **Esquemas Básicos de la Modulación Binaria**

1. Modulación Binaria de Amplitud (**ASK**)
2. Modulación Binaria de Frecuencia (**FSK**)
3. Modulación Binaria de Fase (**PSK**)
4. Modulación Binaria Diferencial de Fase (**DPSK**)

## CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION

### Modulación Binaria de Amplitud (ASK)

La amplitud de la portadora sinusoidal se conmuta entre dos valores en respuesta al dígito binario de entrada



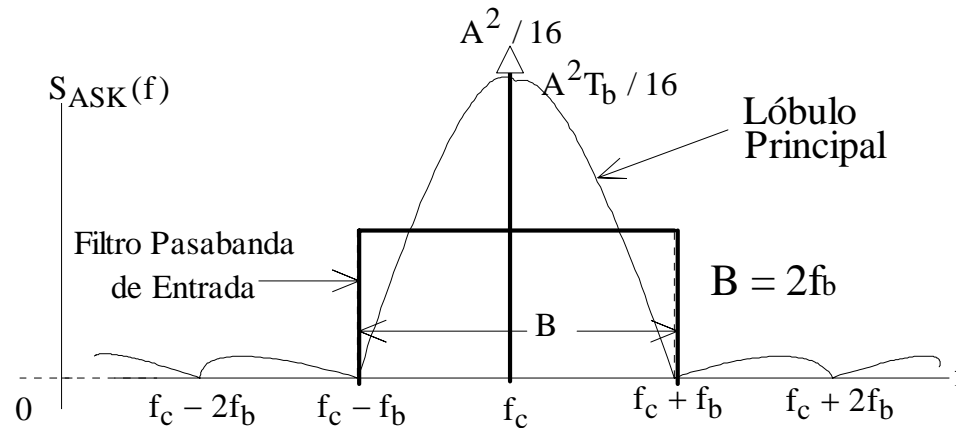
Modulación Binaria ASK (OOK)

$$x_{\text{ASK}}(t) = A \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_i \cdot \cos(2\pi f_c t + \phi_c) \Pi\left(\frac{t - nT_b}{T_b}\right)$$

donde  $b_i = \begin{cases} 1 & \text{si se transmite un "1"} \\ 0 & \text{si se transmite un "0"} \end{cases}$

**CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION**

**Modulación Binaria de Amplitud(ASK)**



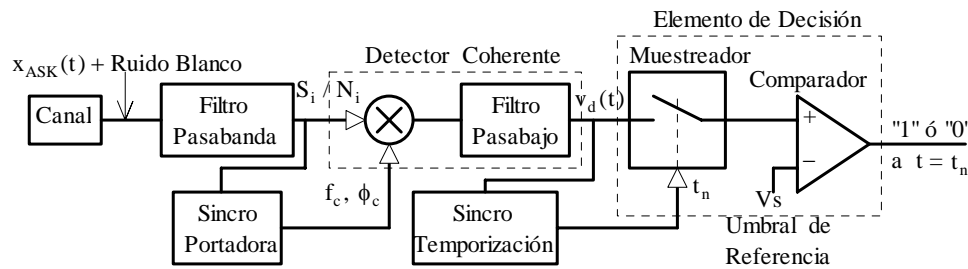
Densidad Espectral de Potencia de Señales ASK.

$$S_{ASK}(f) = \frac{A^2}{16} [\delta(f + f_c) + \delta(f - f_c)] + \frac{A^2 T_b}{16} \left[ \text{sinc}^2\left(\frac{f + f_c}{f_b}\right) + \text{sinc}^2\left(\frac{f - f_c}{f_b}\right) \right]$$

$$\langle X_{ASK}^2(t) \rangle = \frac{A^2}{4} \quad \gamma = \frac{A^2 T_b}{2\eta} = \frac{A^2}{2\eta f_b} \quad \frac{S_i}{N_i} = \frac{A^2 T_b}{4\eta B} = \frac{A^2 T_b}{8\eta} = \frac{\gamma}{4}$$

# CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION

## RECEPCIÓN ASK COHERENTE

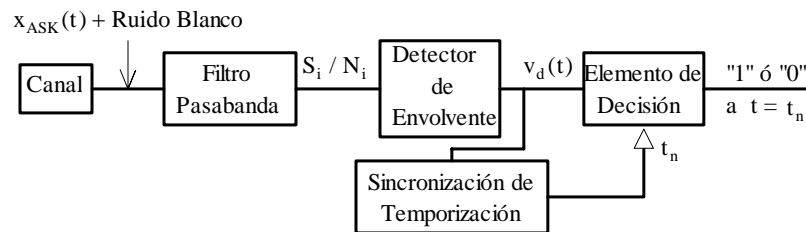


Recepción Coherente en ASK.

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{A^2 T_b}{8\eta}} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{\gamma}{4}} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{E_b}{2N_o}} \right)$$

$$\gamma = \frac{A^2 T_b}{2\eta} = \frac{A^2}{2\eta f_b} \quad b_{on} = \sqrt{\frac{A^2 T_b}{4\eta}} = \sqrt{\frac{\gamma}{2}}$$

## RECEPCION ASK NO COHERENTE



Recepción no Coherente de Señales ASK.

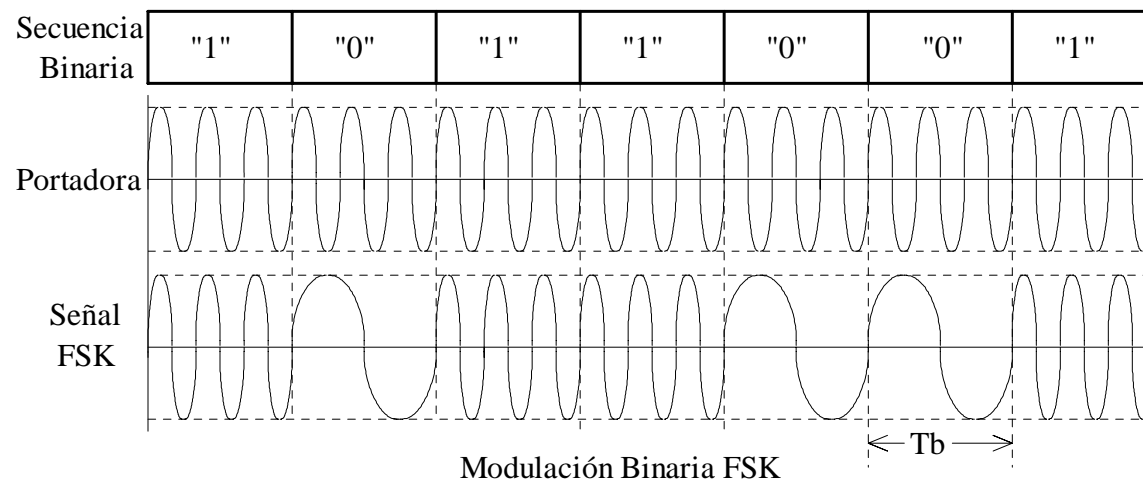
$$P_e \approx \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{\gamma}{4}\right) = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{E_b}{4N_o}\right)$$

$$b_{on} = \sqrt{2 + \frac{\gamma}{2}}$$

## CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION

### Modulación Binaria de Frecuencia (FSK)

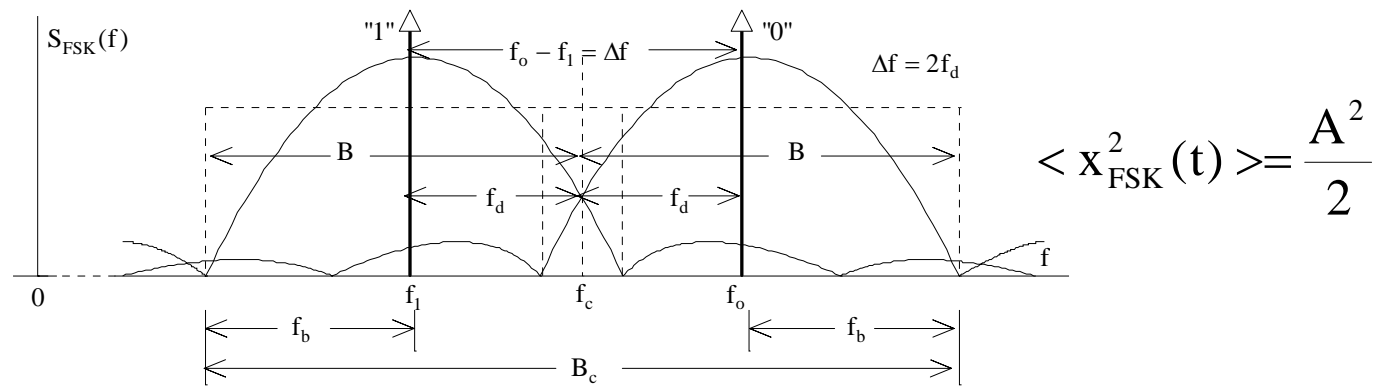
La frecuencia instantánea de la portadora sinusoidal se conmuta entre dos valores en respuesta al dígito binario de entrada



$$x_{\text{FSK}}(t) = A \sum_{n=-\infty}^{\infty} \cos[2\pi(f_c + b_i \cdot f_d)t] \cdot \Pi\left(\frac{t - nT_b}{T_b}\right) \quad b_i = \begin{cases} -1 & \text{si se ha transmitido un "1"} \\ +1 & \text{si se ha transmitido un "0"} \end{cases}$$

# CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION

## RELACIONES ESPECTRALES EN FSK



Relaciones Espectrales en FSK.

$$|f_0 - f_1| = \Delta f = 2f_d. \quad f_c = f_1 + f_d = f_0 - f_d \quad \text{y} \quad B_c = \Delta f + 2f_b = 2(f_d + f_b)$$

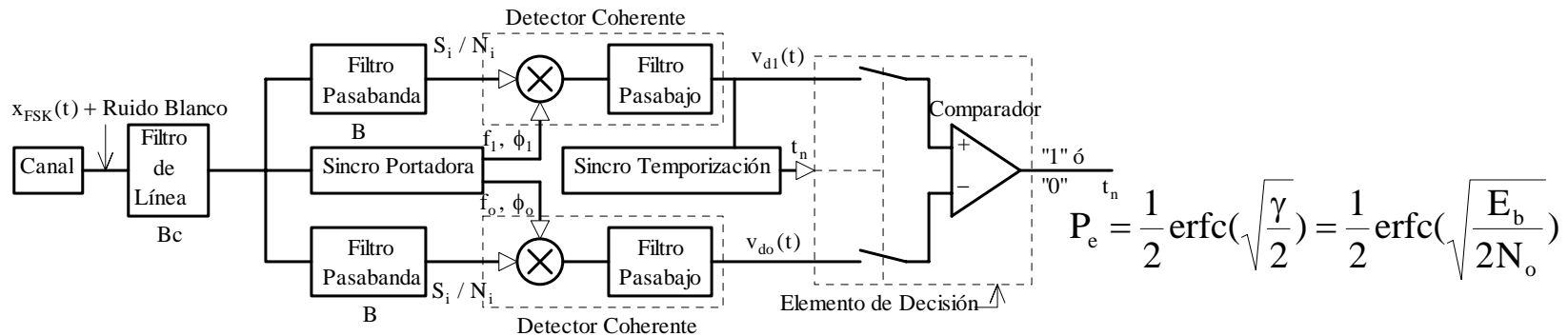
$$B_c = 2(f_b + f_d) = 2(k+1)f_b \quad \text{para} \quad k = \frac{f_d}{f_b} \geq \frac{1}{3} \quad f_c = \frac{f_0 + f_1}{2}$$

$$B = \begin{cases} (f_b + f_d) = (k+1)f_b & \text{para } k < 1 \\ 2f_b & \text{para } k \geq 1 \end{cases}$$

$$[\gamma]_{FSK(dB)} = 3,01 \text{ dB} + \left[ \frac{S_i}{N_i} \right]_{FSK(dB)}$$

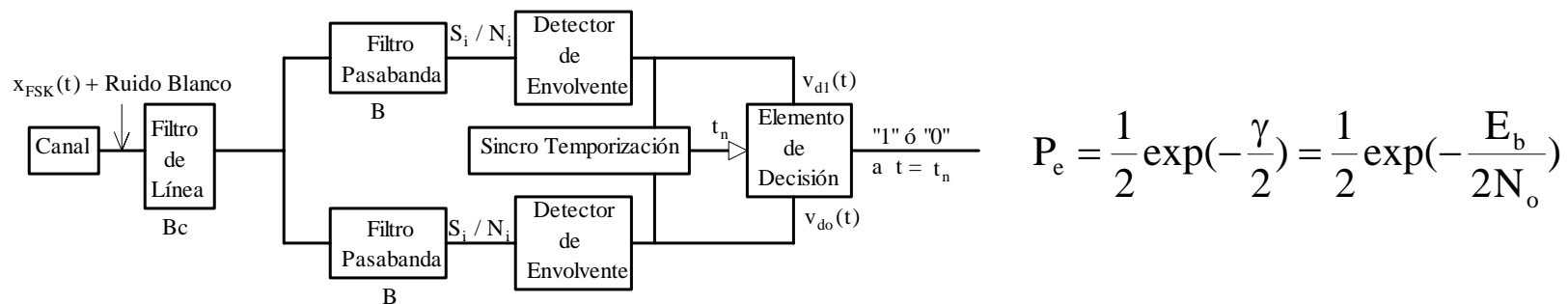
# CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION

## DEMODULACION COHERENTE FSK



Recepción Coherente en FSK.

## DEMODULACION NO COHERENTE FSK



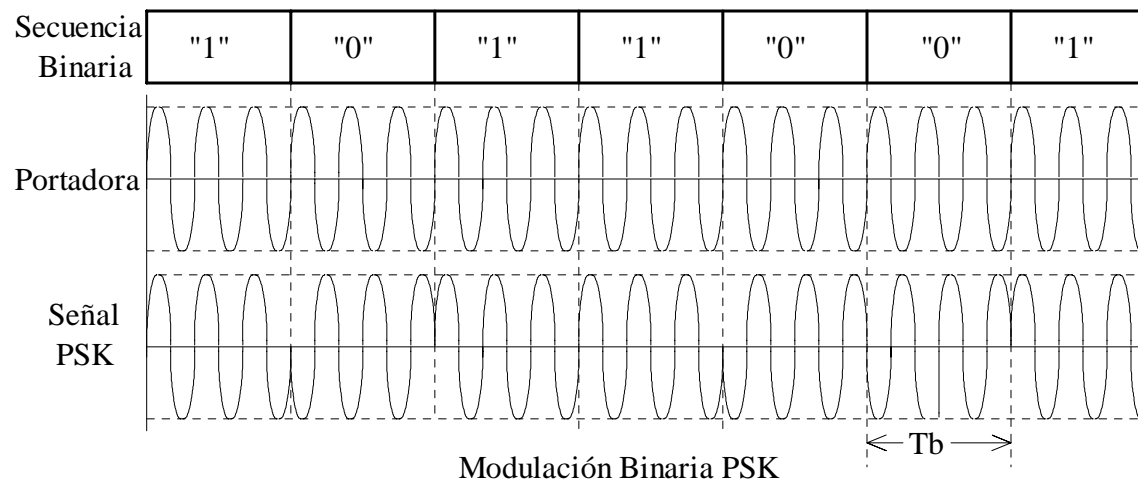
Recepción no Coherente en FSK.



## CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION

### Modulación Binaria de Fase (PSK)

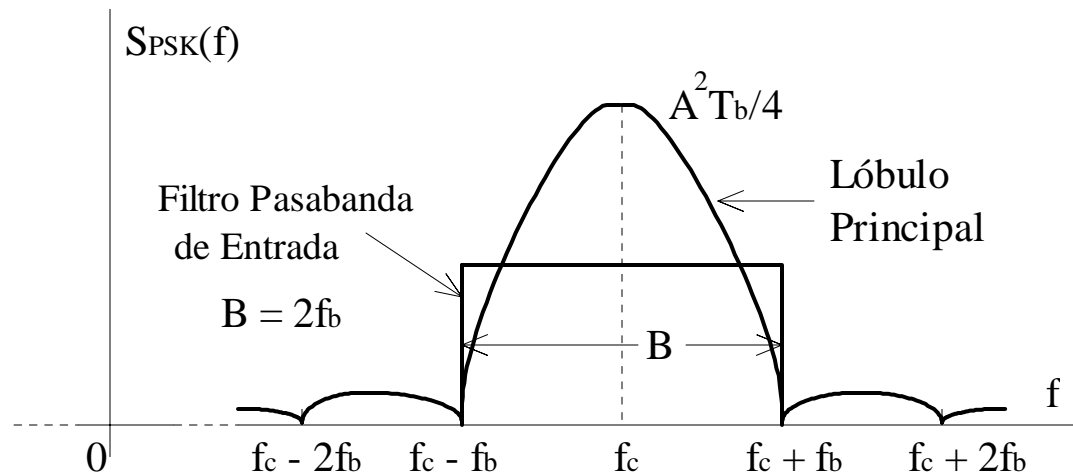
La fase instantánea de la portadora sinusoidal se conmuta entre dos valores en respuesta al dígito binario de entrada



$$x_{\text{PSK}}(t) = A \sum_{n=-\infty}^{\infty} \cos(2\pi f_c t - \phi_i) \cdot \Pi\left(\frac{t - nT_b}{T_b}\right) \quad \phi_i = \begin{cases} 0 & \text{si se ha transmitido un "1"} \\ \pi & \text{si se ha transmitido un "0"} \end{cases}$$

## CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION

### MODULACION BINARIA DE FASE



Densidad Espectral de Potencia en PSK

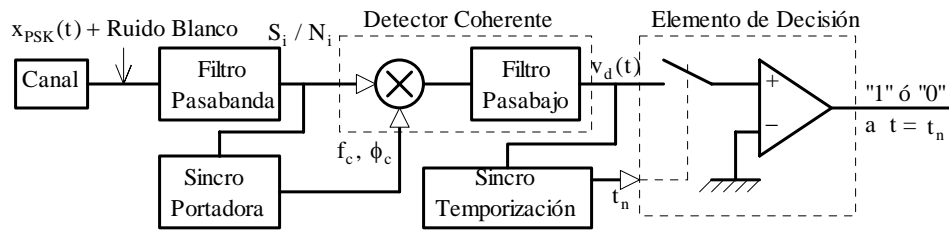
$$S_{\text{PSK}}(f) = \frac{A^2 T_b}{4} \left[ \text{sinc}^2\left(\frac{f + f_c}{f_b}\right) + \text{sinc}^2\left(\frac{f - f_c}{f_b}\right) \right]$$

$$\langle X_{\text{PSK}}^2(t) \rangle = \frac{A^2}{2} \quad \frac{S_i}{N_i} = \frac{A^2}{2B\eta} = \frac{A^2 T_b}{4\eta} = \frac{\gamma}{2}$$

**Esta expresiones son válidas también en DPSK**

# CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION

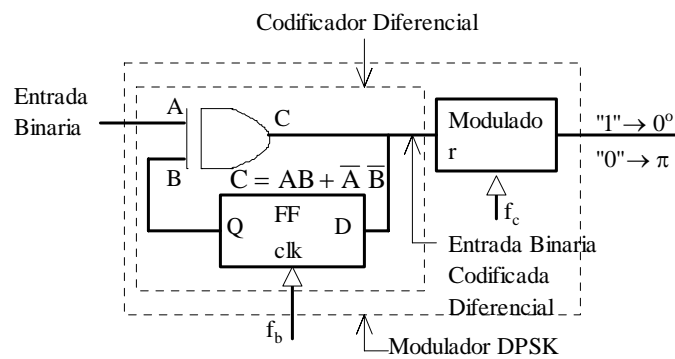
## MODULACION PSK



$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma}) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_o}}\right)$$

Recepción Coherente en PSK.

## MODULACION DPSK



Modulación DPSK

$$x_{\text{DPSK}}(t) = A \sum_{n=-\infty}^{\infty} \cos(2\pi f_c t - \phi_i) \cdot \Pi\left(\frac{t - nT_b}{T_b}\right)$$

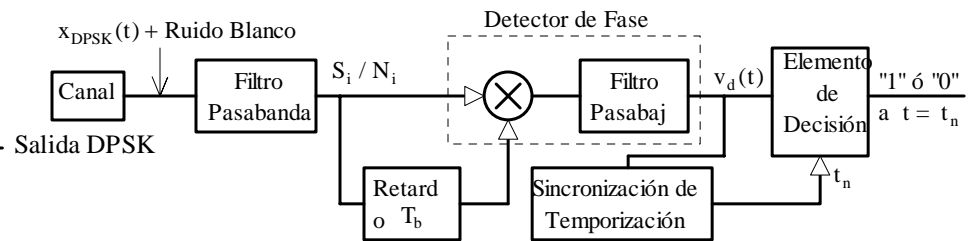
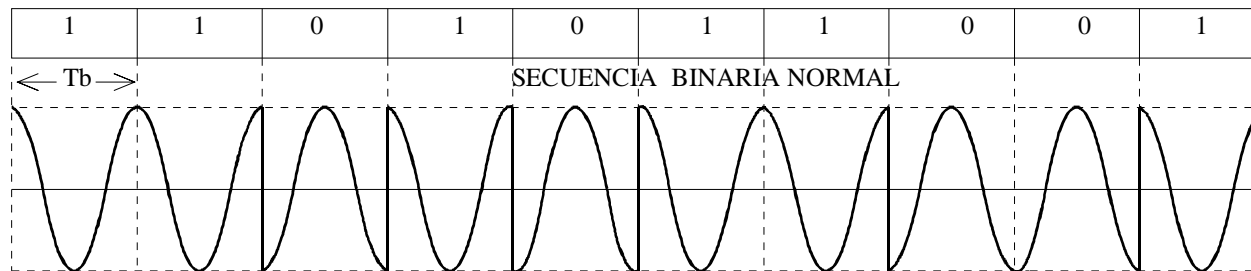


Fig. 2.31. Receptor DPSK con Detección por Retardo.

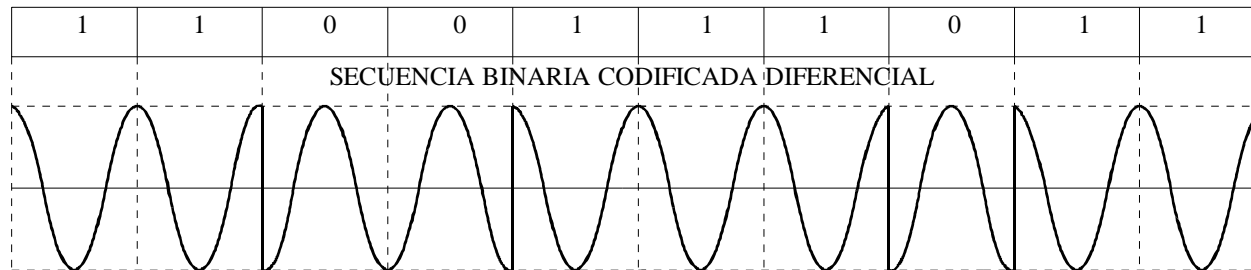
$$P_e = \frac{1}{2} \exp(-\gamma) = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{E_b}{N_o}\right)$$

# CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION

## COMPARACION ENTRE SEÑALES PSK Y DPSK



(a) Señal Modulada en Fase (PSK)

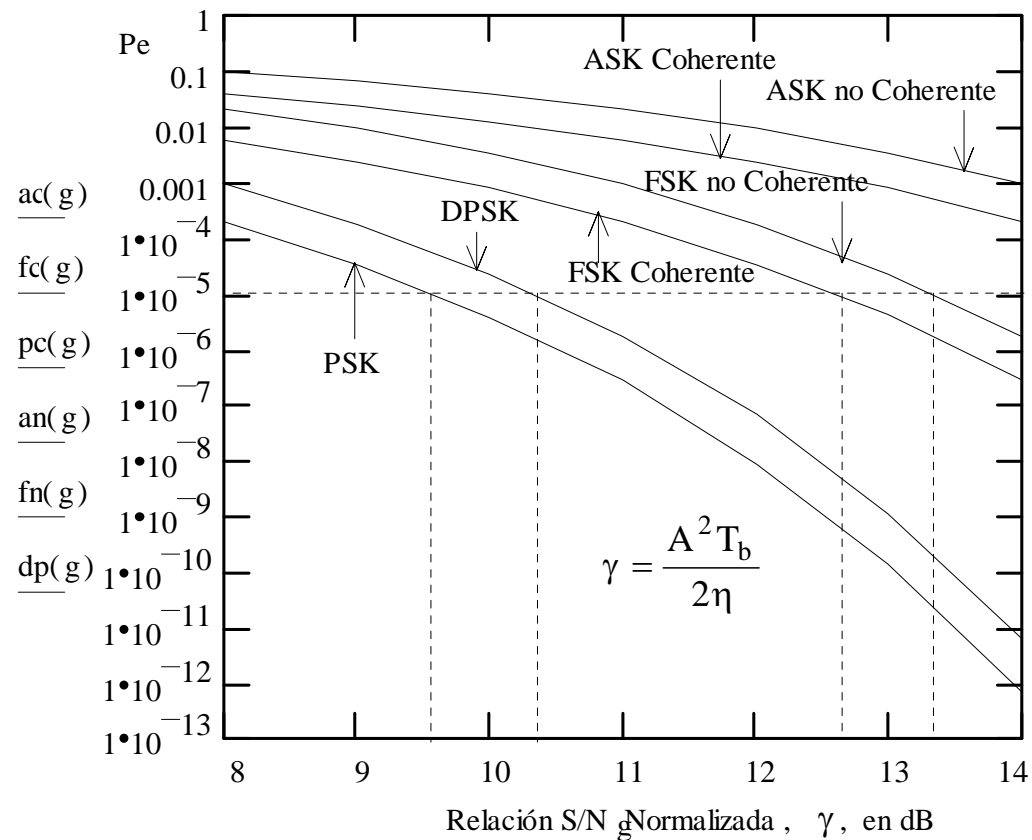


(b) Señal Modulada en Fase Diferencial (DPSK)

Formas de las Señales Moduladas PSK y DPSK

# CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION

## Comparación entre los Sistemas de Modulación Binaria



Probabilidad de Error en Sistemas de Modulación Binaria.

## **CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION**

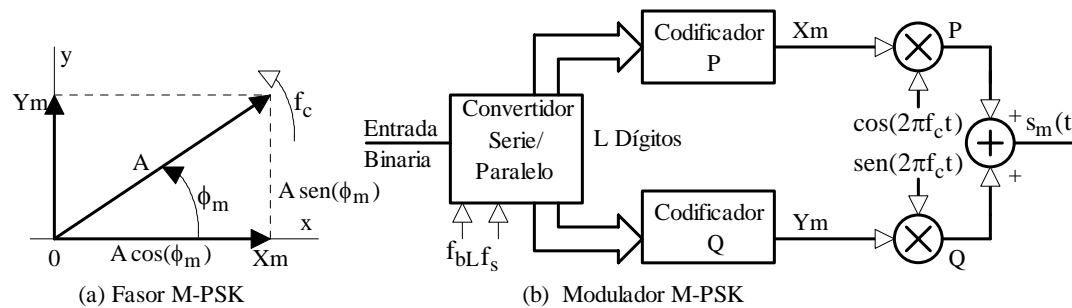
### **CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE UNA TECNICA DE MODULACIÓN**

- **Si el ancho de banda es el parámetro más importante, los sistemas DPSK y PSK son los más apropiados**
- **Si el consumo de potencia es la más importante, los sistemas más apropiados son el PSK y el DPSK**
- **Si la complejidad del equipo es un factor limitativo y las limitaciones del canal lo permiten, los sistemas no coherentes son preferibles a los sistemas coherentes**

# CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION

## TECNICAS DE MODULACION M-aria

### MODULACION PSK M-aria



Modulación M-PSK

$$s_m(t) = A \cos(2\pi f_c t - 2\pi m / M) \quad m = 0, 1, 2, \dots (M - 1)$$

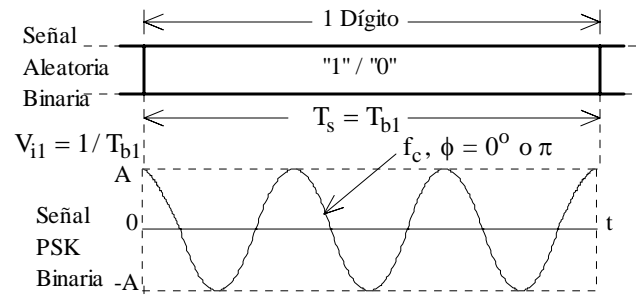
$$s_m(t) = \sqrt{X_m^2 + Y_m^2} \cos(2\pi f_c t - \arctg \frac{Y_m}{X_m}) \quad X_m = A \cos(\phi_m) \text{ y } Y_m = A \sin(\phi_m)$$

$$S_{TS}(f) = \frac{A^2}{4f_s} \left[ \text{sinc}^2\left(\frac{f + f_c}{f_s}\right) + \text{sinc}^2\left(\frac{f - f_c}{f_s}\right) \right] \quad f_s = \frac{1}{T_s} = \frac{1}{LT_b}; \quad M = 2^L$$

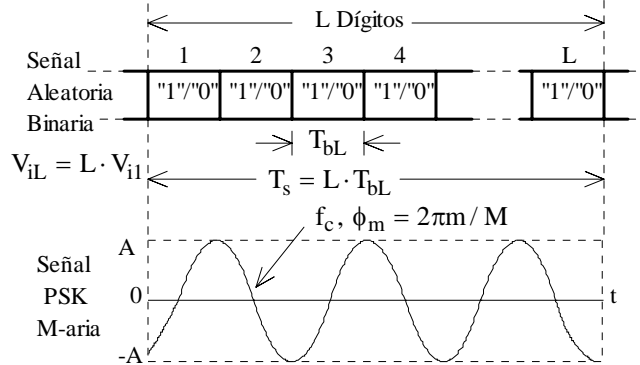
# CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION

## TECNICAS DE MODULACION M-aria

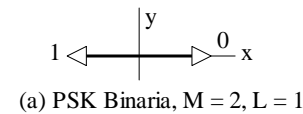
### MECANISMOS DE MODULACION PSK/DPSK. DIAGRAMAS DE FRESNEL



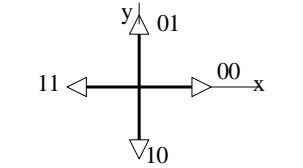
(a) Modulación PSK Binaria



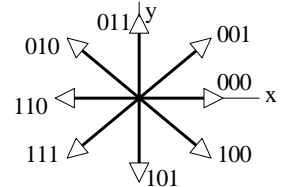
(b) Modulación PSK M-aria.



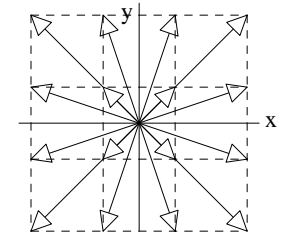
(a) PSK Binaria,  $M = 2, L = 1$



(b) PSK 4-aria,  $M = 4, L = 2$



(c) PSK 8-aria,  $M = 8, L = 3$



(d) QAM 16-aria,  $M = 16, L = 4$

Mecanismo de la Modulación PSK Binaria y M-aria

Asignación de Fases en PSK M-aria  
DIAGRAMAS DE FRESNEL



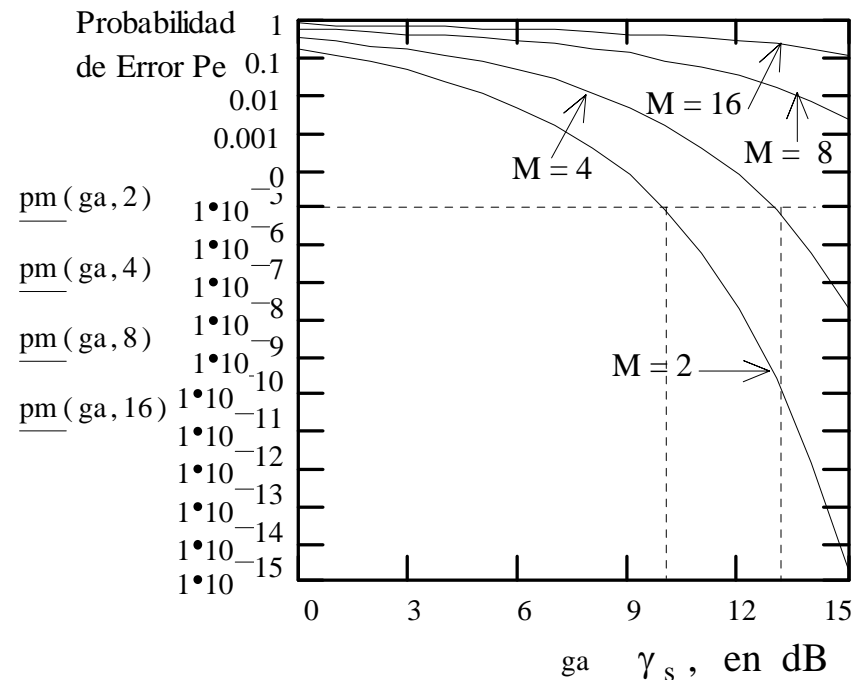
# CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION

## TECNICAS DE MODULACION M-aria

### PROBABILIDAD DE ERROR EN PSK M-ario

$$P_e = \text{erfc} \left[ \sqrt{\gamma_s \sin^2 \left( \frac{\pi}{M} \right)} \right]$$

$$\gamma_s = \frac{A^2 T_s}{2\eta} = L \cdot \gamma$$



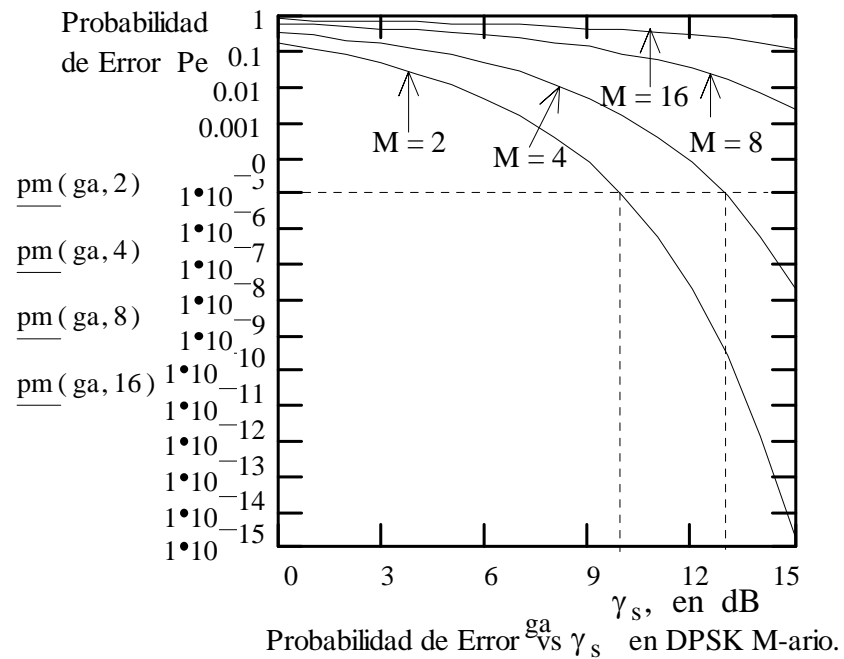
Probabilidad de Error en PSK M-ario.

**CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION**

**TECNICAS DE MODULACION M-aria**

**PROBABILIDAD DE ERROR EN DPSK M-ario**

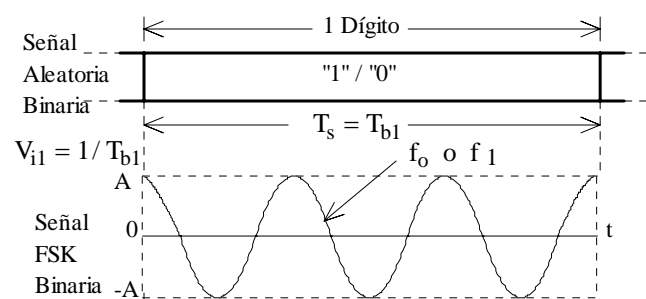
$$P_e = \text{erfc} \left[ \sqrt{2\gamma_s \sin^2 \left( \frac{\pi}{2M} \right)} \right]$$



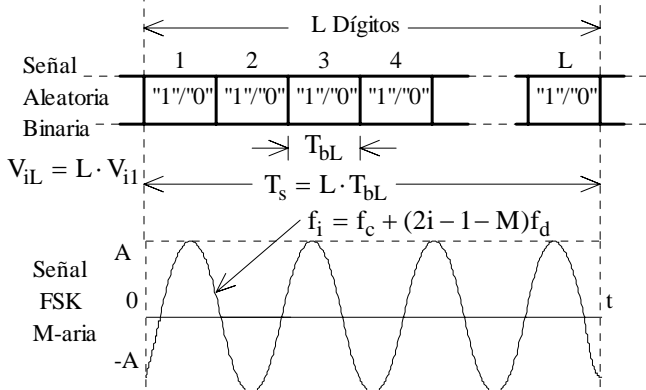
# CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION

## TECNICAS DE MODULACION M-aria

### MECANISMO DE MODULACION FSK M-aria



(a) Modulación FSK Binaria

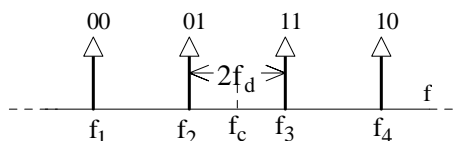


(b) Modulación FSK M-aria.

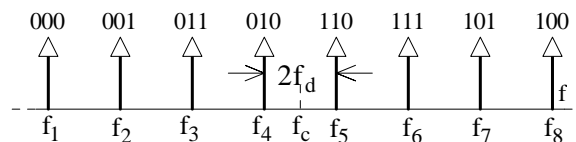
$$x_{FSKM}(t) = A \sum_{n=-\infty}^{\infty} \cos\{2\pi[f_c + (2i-1-M)f_d]t\} \cdot \Pi\left(\frac{t-nT_s}{T_s}\right)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, M$$

(a) FSK Binaria, M = 2, L = 1



(b) FSK 4-aria, M = 4, L = 2



(c) FSK 8-aria, M = 8, L = 3

$$B_c \geq \frac{M}{L} f_b = M f_s$$

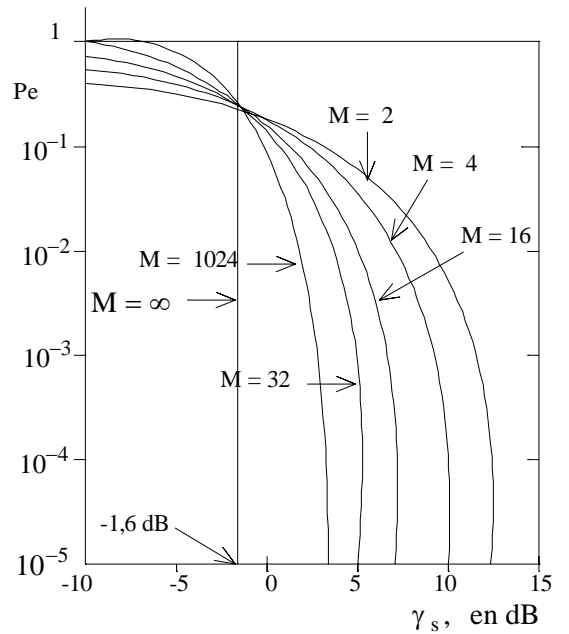
Mecanismo de la Modulación FSK Binaria y M-aria.

Asignación de Frecuencias en FSK M-aria

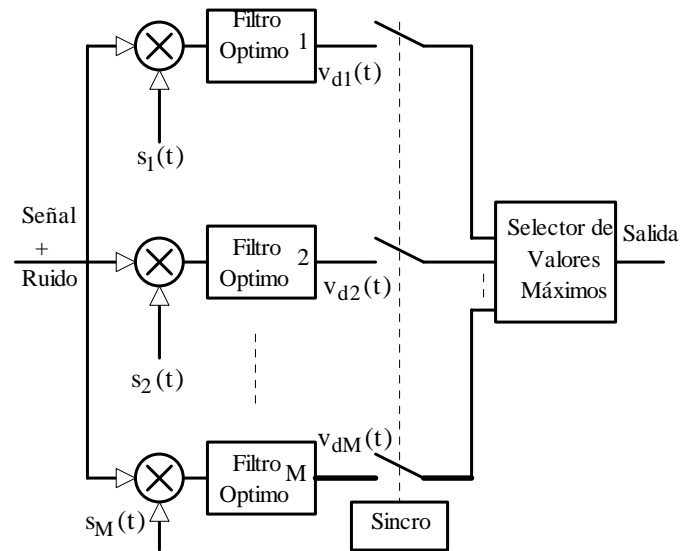
**CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION**

**TECNICAS DE MODULACION M-aria**

**MODULACION FSK M-aria**



Probabilidad de Error  $P_e$  vs  $\gamma_s$  en FSK M-aria.

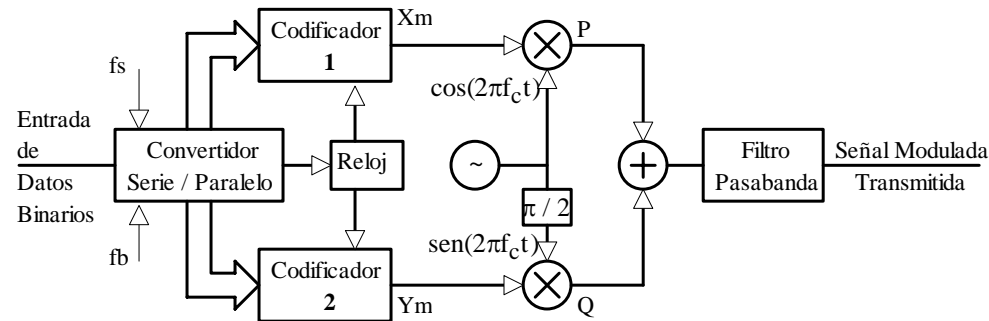


Receptor Optimo FSK M-ario Coherente.

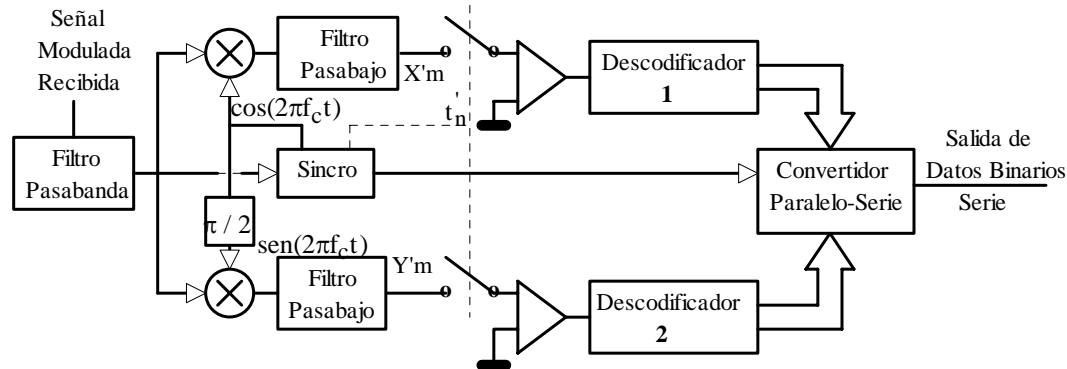
# CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION

## TECNICAS DE MODULACION M-aria

### MODULACION COMPUESTA M-PSK o M-QAM



Modulación M-PSK o M-QAM

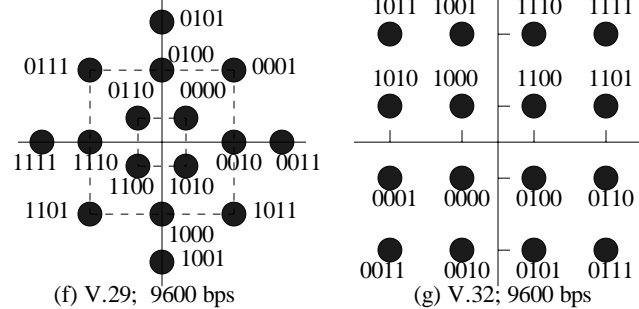
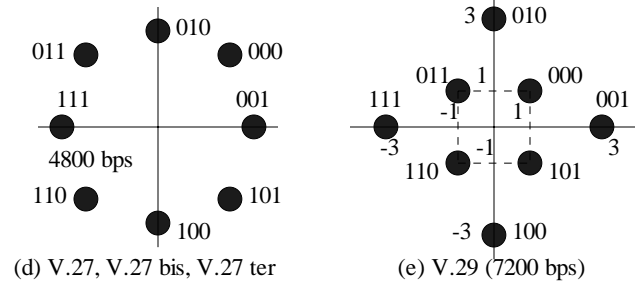
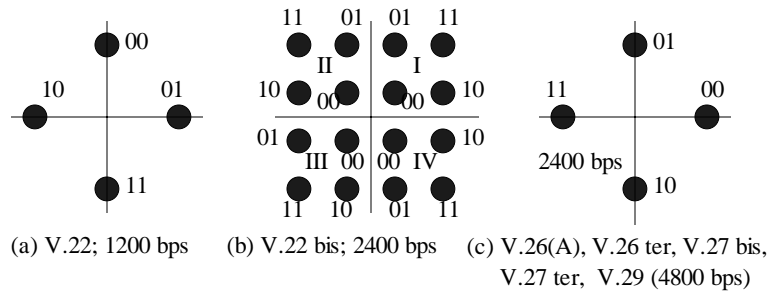


Demodulación M-PSK o M-QAM

# COMUNICACIONES DIGITALES

## CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION

### DIAGRAMAS DE FRESNEL DE MODEMS UIT-T



Diagramas de Fresnel de Modems UIT-T.

# CAPITULO II. TECNICAS DE MODULACION

## CODIGOS DE LINEA

