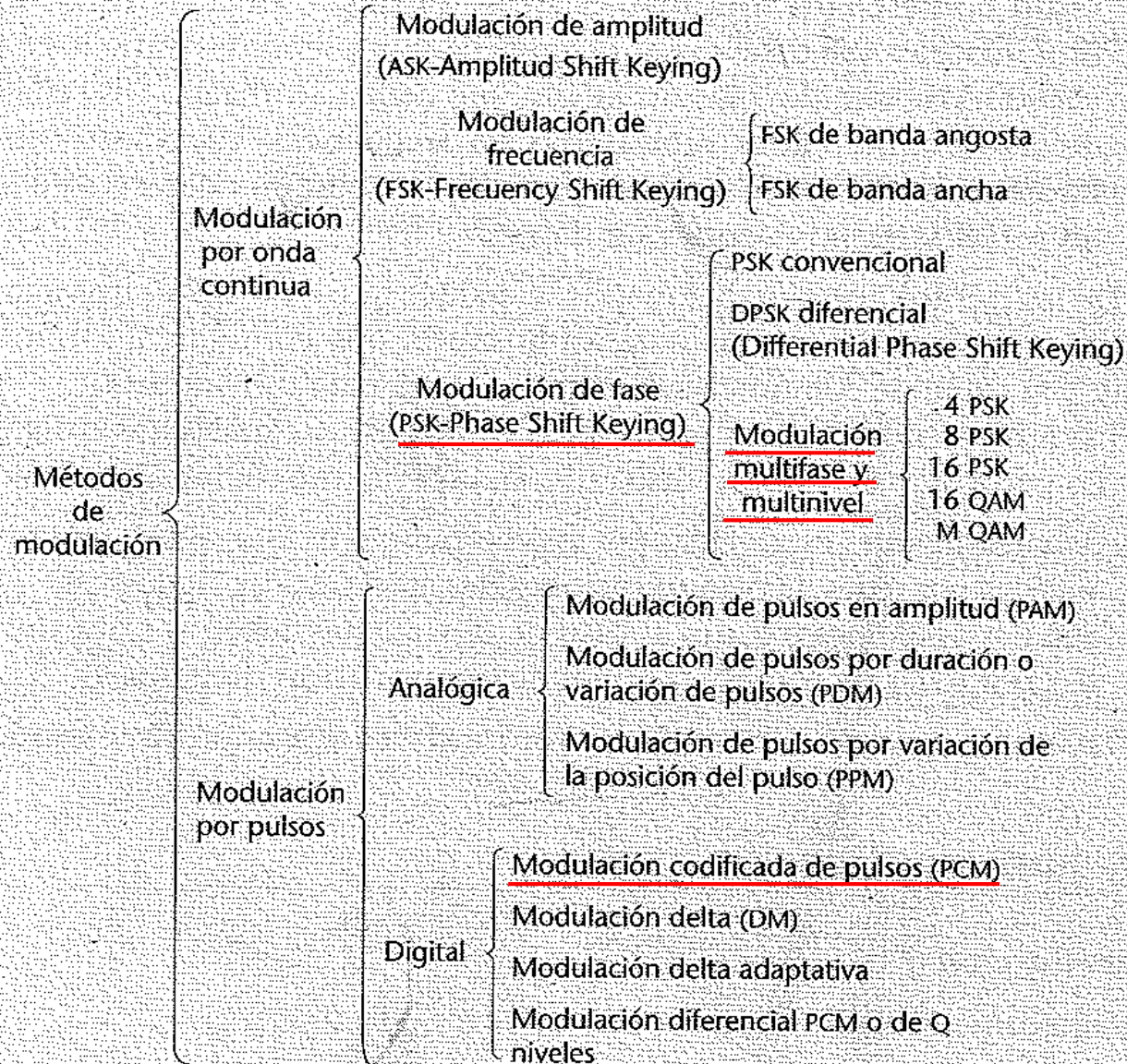


## Clasificación de los métodos de modulación



## Modulación de Multifase (MPSK)

En este sistema la fase de onda portadora puede tomar secuencialmente M valores posibles separados entre si por un ángulo definido por la expresión:

$$\theta = 2\pi / M.$$

Donde M es el número de niveles.

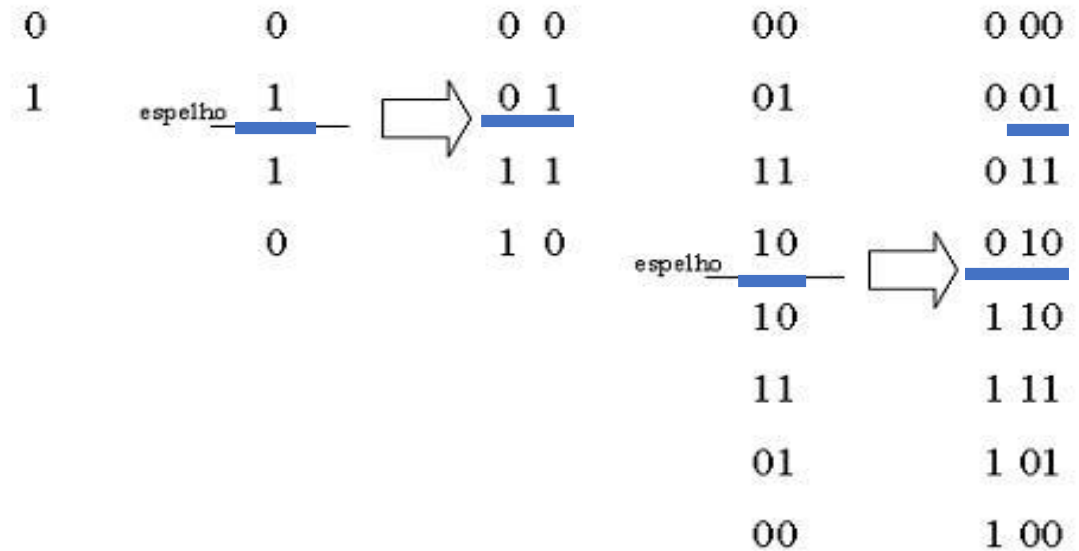
Por ejemplo se usamos un valor de M de 4 la señal portadora puede tomar 4 posibles combinaciones de una secuencia de 2 bits.

$$V_t = 1/T * \log_2 n$$

## Código de Gray

1 bit <> entre fases adyacentes

2 bits <> entre fases opuestas



(a)

(b)

(c)

# 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°	

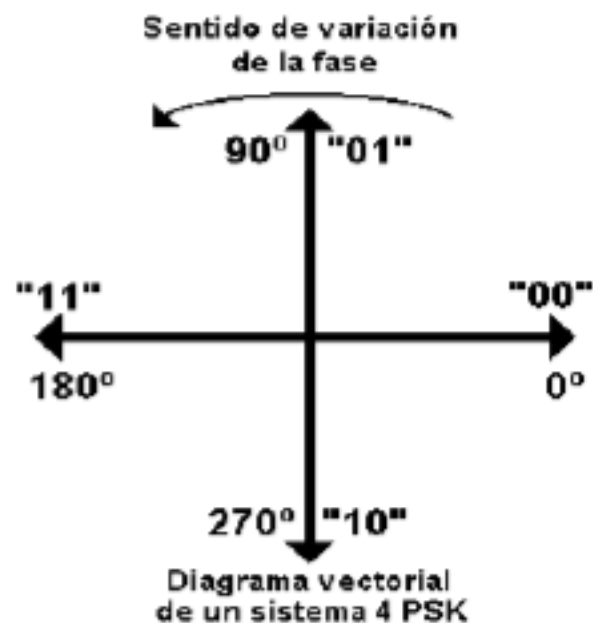
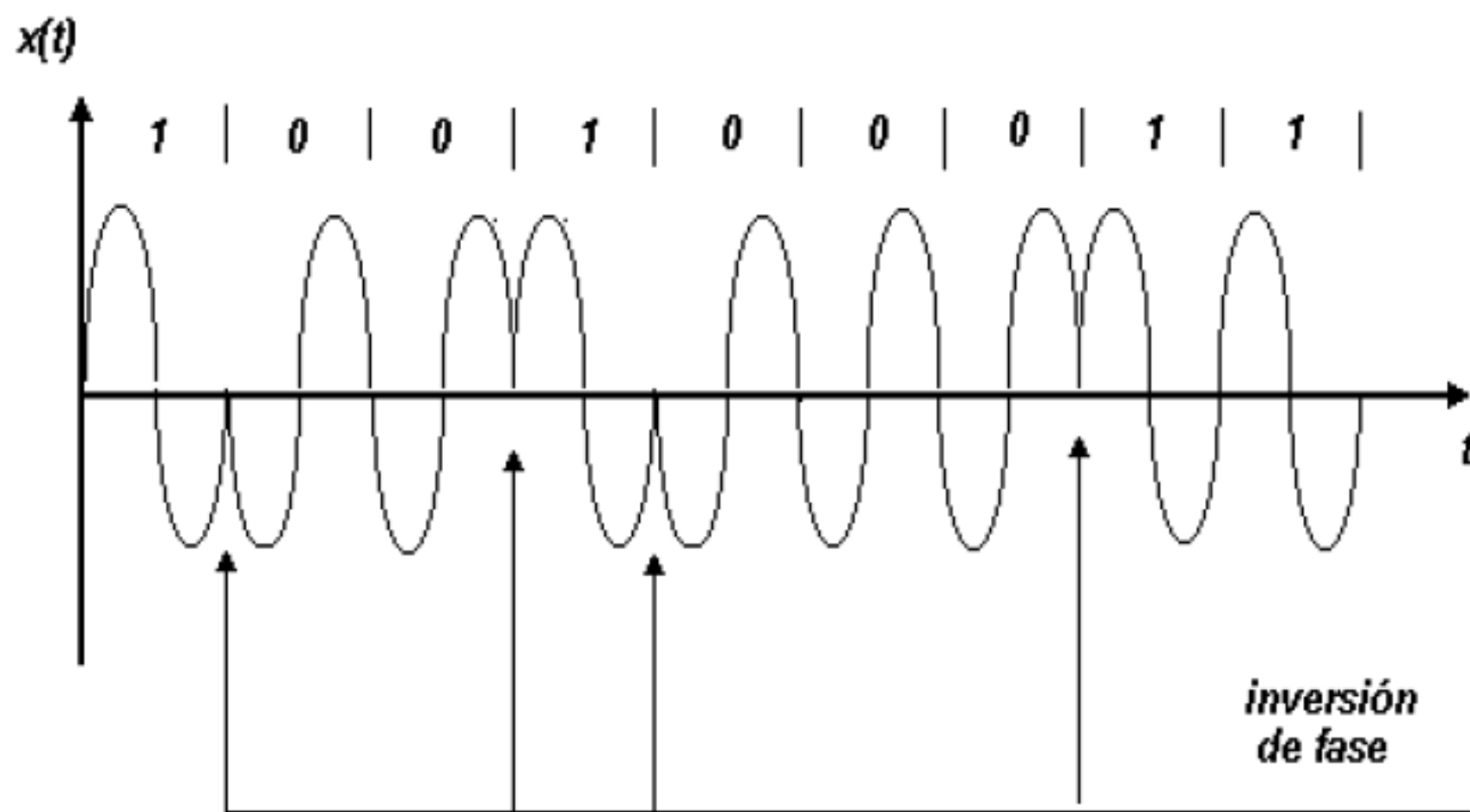


Diagrama de Estados, de Fases o Vectorial

## SEÑAL 2-PSK / B-PSK



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

# Modulación Codificada de Pulsos (PCM)

La norma de la UIT-T distribuye los 32 canales que forman la trama del grupo básico de la manera que se indica en la figura 4.59. Analizaremos a continuación las características principales de esta norma:

- Frecuencia de muestreo: 8000 Hz.
- Número de bits/muestra: 8.
- Número de canales telefónicos: 30 (numerados del 1 al 30).
- Número de canales para señalización y sincronización: 2.
- Velocidad de transmisión en el canal del grupo básico: 2,048 Mbps.
- Duración de la trama: 125  $\mu$ s.
- Número de bits por trama: 256.
- Ley de compresión: Ley A.
- Número de segmentos de compresión: 13.
- Número de intervalos de tiempo por trama: 32.
- Valor del slot de tiempo del canal de 8 bits:  $\approx 3,9 \mu$ s.

En la figura 4.60 se muestra la forma de la distribución de canales en un sistema PCM 30.

$$V_{\text{muestreo}} = 8000 \text{ m/s}$$

$$\text{Velocidad Binaria} = V_{\text{muestreo}} * \text{bits muestra}$$

$$C = Vt = \text{Velocidad Binaria} * \text{Cantidad de Canales}$$

$$\text{AB Canal} = 1/\text{Duracion Trama} * \text{bits muestra}$$

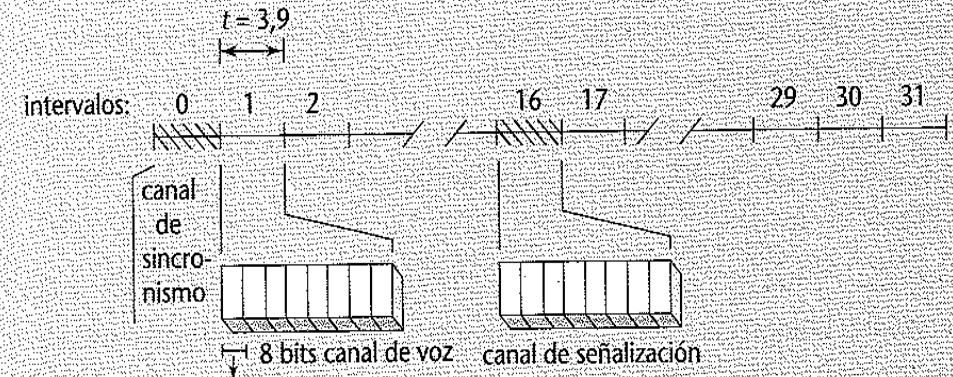
$$\text{AB Total} = \text{AB Canal} * \text{Cantidad de Canales}$$

## Grupo básico UIT-T Distribución de los canales

Canales	0	sincronismo
Canales	1 a 15	señales de voz <sup>1</sup>
Canales	16	señalización
Canales	17 a 31	señales de voz

FIGURA 4.59

## Distribución de canales Sistema PCM 30



$$1 \text{ bit} = 488 \text{ ns}$$

Primer orden digital posee 31 canales y opera a 2048 Kbps

30 canales de voz

1 canal de señalización (ch 16)

1 canal de sincronismo (ch 0)

8000 tramos de 256 bits c/u

FIGURA 4.60



# Modulación Codificada de Pulsos (PCM)

La norma de los Laboratorios BELL, conocida como sistemas PCM de 24 canales, presenta la característica de que la información de señalización y sincronización está incluida en el interior de la trama. Esta es la norma usada en los Estados Unidos con canales que usan velocidades de 56 000 bps. Analizaremos a continuación las características principales de esta norma:

- Frecuencia de muestreo: 8000 Hz.
- Número de bits/muestra: 7.
- Número de canales telefónicos: 24.
- Velocidad de transmisión en el canal del grupo básico: 1,544 Mbps.
- Duración de la trama: 125  $\mu$ s.
- Número de bits por trama: 193.
- Ley de Compresión: Ley  $\mu$ .
- Número de segmentos de compresión: 15.
- Número de intervalos de tiempo por trama: 24.
- Valor del slot de tiempo del canal de 8 bits:  $\approx 5,2 \mu$ s.
- Formato de la trama: 193 bits organizados en 24 conjuntos de 8 bits por canal, siete de datos y uno de señalización, lo que hace un total

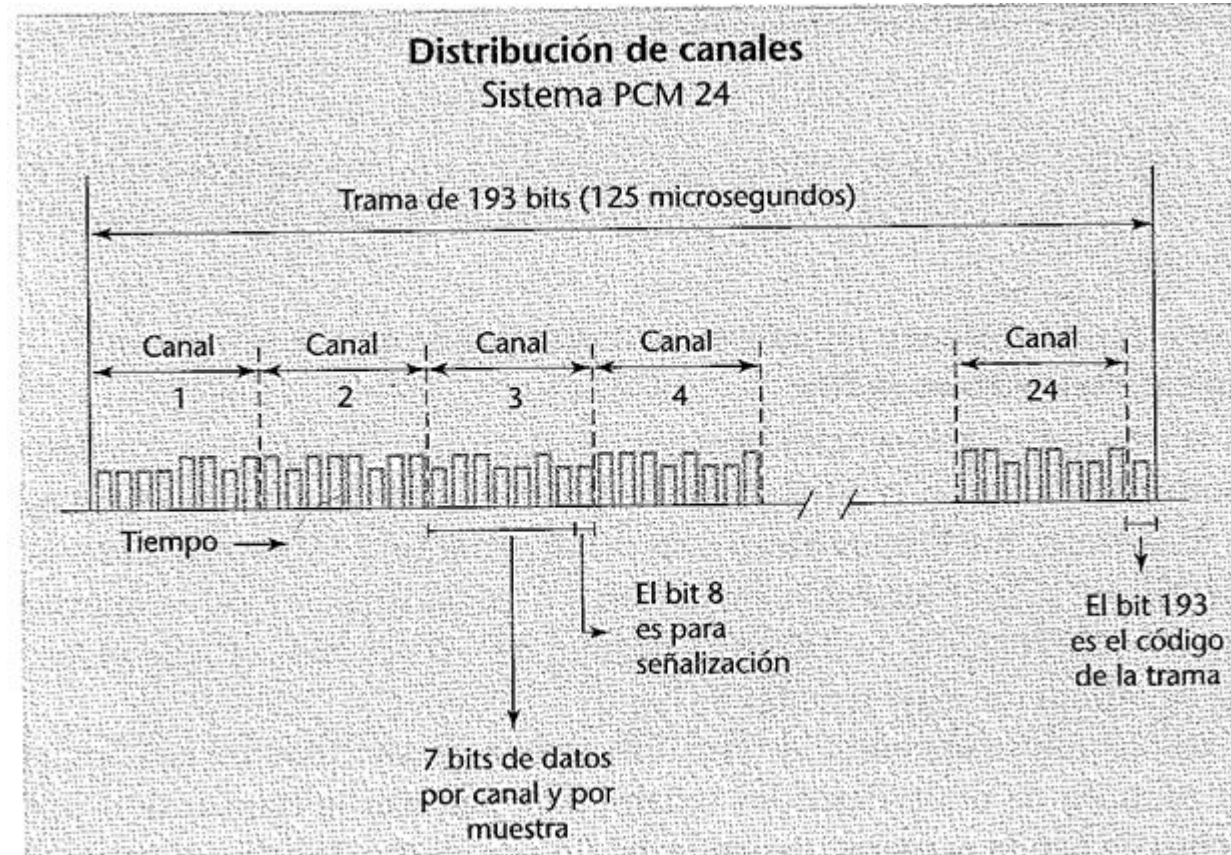
$$V_{\text{muestreo}} = 8000 \text{ m/s}$$

$$\text{Velocidad Binaria} = V_{\text{muestreo}} * \text{bits muestra}$$

$$C = V_t = \text{Velocidad Binaria} * \text{Cantidad de Canales}$$

$$AB \text{ Canal} = 1/\text{Duracion Trama} * \text{bits muestra}$$

$$AB \text{ Total} = AB \text{ Canal} * \text{Cantidad de Canales}$$



# Trabajo Practico Nro. 8

## Ejercicio Nro. 1

Se tiene que transmitir una señal analógica que pasa a través de un filtro de 4000 Hz de ancho de banda. Dicha señal entra a un modulador PCM donde se toman **muestras cada 125 microsegundos**, codificándose cada muestra según un proceso de cuantificación de **128 niveles**. Hallar la capacidad que debe tener el vínculo de salida del modulador.

¿Cuál sería dicha capacidad si fueran 256 niveles cuánticos?

**Duracion de la Trama = 125μseg**

**VMuestreo = 8000 m/s**

**Velocidad Binaria = VMuestreo \* bits muestra**

**C = Vt = Velocidad Binaria \* Cantidad de Canales**

**a) Bits x muestra =  $\log_2 (128) = 7$  bits**

**C = 8000 · 7 = 56kbps**

**b) Bits x muestra =  $\log_2 (256) = 8$  bits**

**C = 8000 · 8 = 64kbps**

# Trabajo Practico Nro. 8

## Ejercicio Nro. 2

Se dispone de un modem que trabaja con el tipo de modulación **16-PSK**

Calcule el desfase entre estados que adopta la señal modulada.

$$\theta = 2\pi / M$$

$$\theta = 2\pi / 16$$

$$\theta = \pi / 8$$

$$\theta = 22,5^\circ \text{ es el desfase}$$

# Trabajo Practico Nro. 8

## Ejercicio Nro. 3

Partiendo del ejercicio anterior: ¿Qué relación hay entre la velocidad de transmisión  $V_t$  y la velocidad de modulación  $V_m$ ?

Modulación **16-PSK**

$$V_t = 1/T * \log_2 n$$

$$V_t = V_m * \log_2 16$$

$$V_t = 4 V_m$$

La relación entre la velocidad de transmisión “ $V_t$ ” y la velocidad de modulación “ $V_m$ ” es 4.



# Trabajo Practico Nro. 8

## Ejercicio Nro. 4

Se tiene un modem cuyo tipo de modulación es **8-PSK**. Indicar:

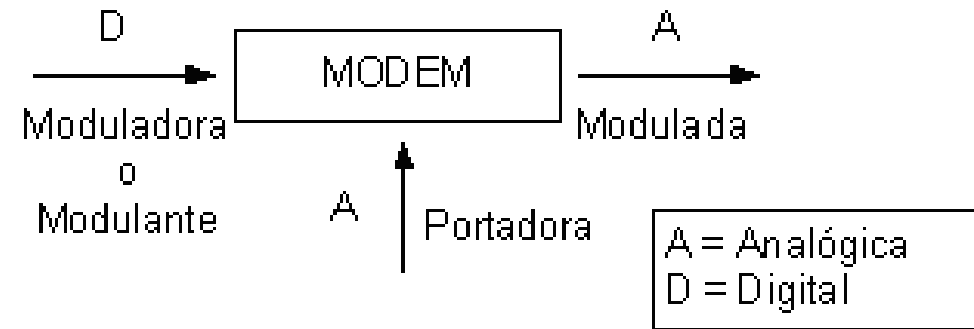
- a) De la señal moduladora, portadora y modulada, ¿cuáles son analógicas y cuáles digitales?
- b) Proponer una asignación de fases a secuencias de bits y realizar el diagrama de fases.
- c) Qué relación existe entre la velocidad de modulación y la velocidad de transmisión?

**a)** Tipos de señales intervinientes:

Moduladora: Digital

Portadora: Analógica

Modulada: Analógica



# Trabajo Practico Nro. 8

## Ejercicio Nro. 4

**b)** asignación de fases a secuencias de bits y realizar el diagrama de fases.

Estamos trabajando con una modulación de **8-PSK**, entonces aplicando la ecuación queda:

$$\theta = 2\pi / M$$

$$\theta = 2\pi / 8$$

$$\theta = \pi / 4$$

**$\theta = 45^\circ$**  es el desfase

Las combinaciones posibles de bits son 8 ( $2^3$ ), entonces la tabla de combinaciones usando el **Código de Gray** queda de la siguiente manera:

0	0	0	0°
0	0	1	45°
0	1	1	90°
0	1	0	135°
1	1	0	180°
1	1	1	225°
1	0	1	270°
1	0	0	315°

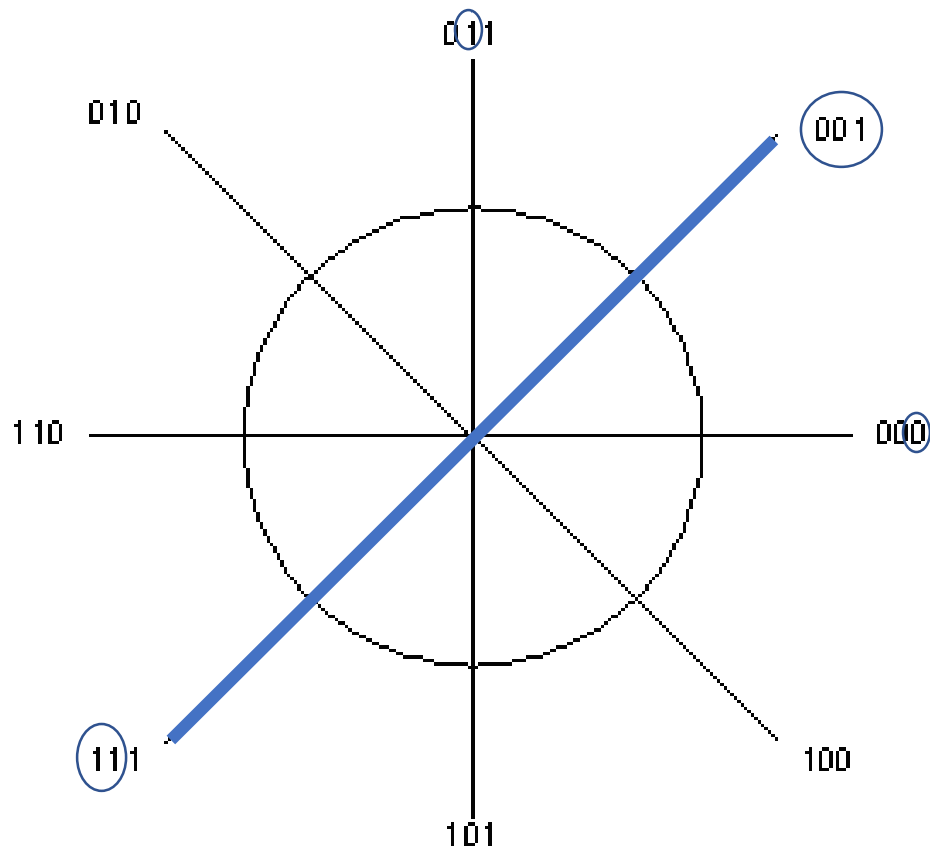
# Trabajo Practico Nro. 8

## Ejercicio Nro. 4

**b)** asignación de fases a secuencias de bits y realizar el diagrama de fases.

Entre fases adyacentes varía 1 bit.

Entre fases opuestas varía 2 bits.



**c)** relación existe entre la velocidad de modulación y la velocidad de transmisión

### Modulación 8-PSK

$$V_t = 1/T * \log_2 n$$

$$V_t = V_m * \log_2 8$$

$$V_t = 3 V_m$$

La relación entre la velocidad de transmisión “ $V_t$ ” y la velocidad de modulación “ $V_m$ ” es 3.

# Trabajo Practico Nro. 8

## Ejercicio Nro. 5

Se quiere transmitir por un canal telefónico a 9600 bps y se cuenta con un modem de 2400 baudios que opera con transmisión multinivel y modulación PSK. Hallar:

- a) Qué tipo de modulación PSK debe emplearse para transmitir a la velocidad de transmisión requerida.
- b) El diagrama vectorial y la asignación de fases correspondiente.

a)  $V_t = 1/T * \log_2 n$

$$9600 = 2400 * \log_2 n$$

$n = 16$

Debe emplearse una modulación de **16-PSK**

# Trabajo Practico Nro. 8

## Ejercicio Nro. 5

b) El diagrama vectorial y la asignación de fases correspondiente.

Se dispone de un modem que trabaja con el tipo de modulación **16-PSK**

$$\theta = 2\pi / M$$

$$\theta = 2\pi / 16$$

$$\theta = \pi / 8$$

$\theta = 22,5^\circ$  es el desfase

Las combinaciones posibles de bits son 16 ( $2^4$ ),  
entonces la tabla de combinaciones usando  
el **Código de Gray** queda de la siguiente manera:

0	0	0	0	0°
0	0	0	1	22,5°
0	0	1	1	45°
0	0	1	0	67,5°
0	1	1	0	90°
0	1	1	1	112,5°
0	1	0	1	135°
0	1	0	0	157,5°
1	1	0	0	180°
1	1	0	1	202,5°
1	1	1	1	225°
1	1	1	0	247,5°
1	0	1	0	270°
1	0	1	1	292,5°
1	0	0	1	315°
1	0	0	0	337,5°

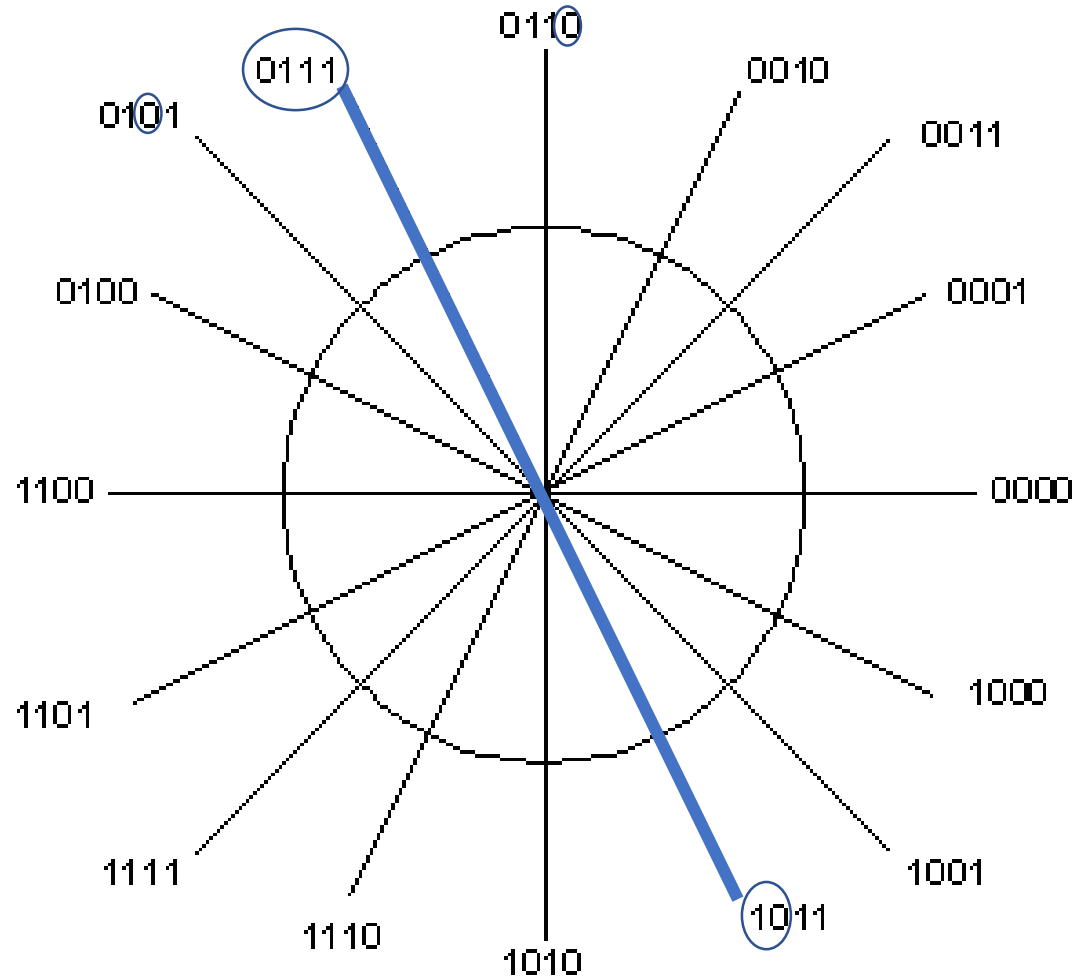
# Trabajo Practico Nro. 8

## Ejercicio Nro. 5

b) El diagrama vectorial y la asignación de fases correspondiente.

Entre fases adyacentes varía 1 bit.

Entre fases opuestas varía 2 bits.





# Trabajo Practico Nro. 8

## Ejercicio Nro. 6

Construir el espectro de frecuencias para una modulación FSK donde el desvío de frecuencia ( $\Delta f$ ) es para los dígitos binarios "0" = 200 Hz y para los "1" = - 200 Hz. Entre canales se debe dejar libre 100 Hz. Indicar cuantas comunicaciones simultáneas se pueden realizar en un canal telefónico cuyo ancho de banda es de 4 KHz. ¿Cuál es el ancho de banda (AB) de cada comunicación?

0 = 200Hz

1 = -200Hz

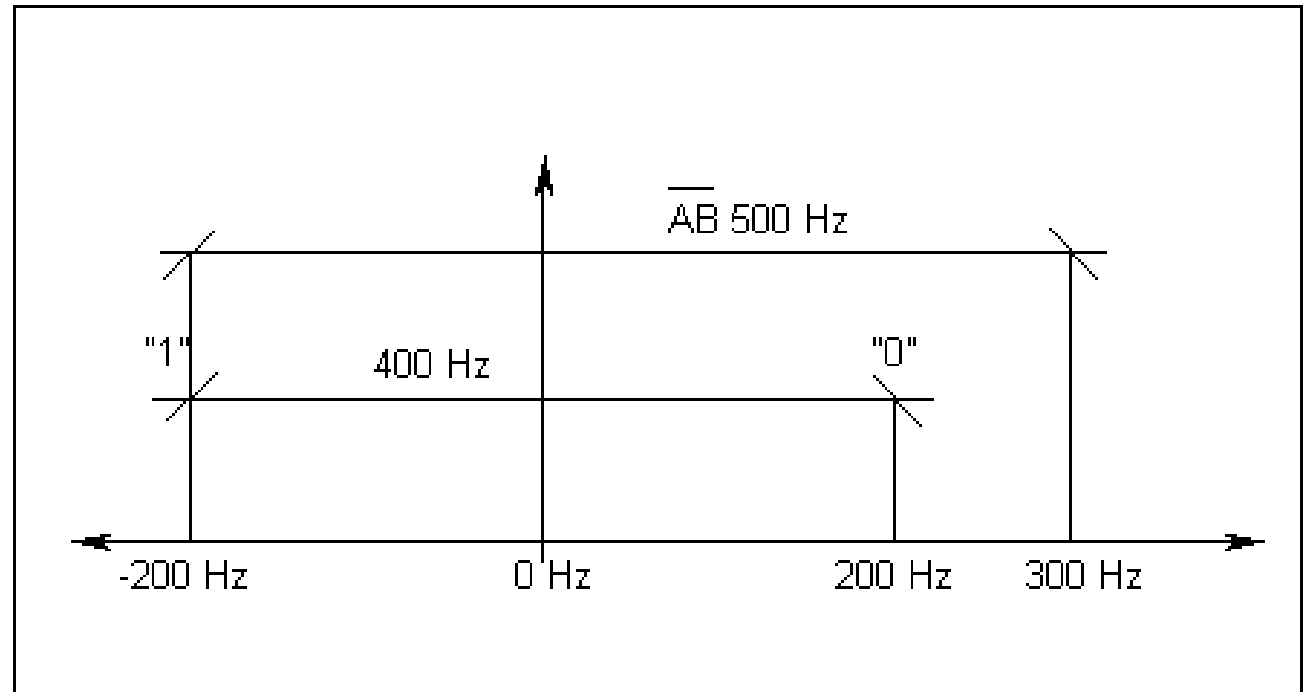
Libre entre canales = 100Hz

Ancho de Banda = 4Khz

$$N^{\circ}deCanales = \frac{4000}{500}$$

$$N^{\circ}deCanales = 8$$

El ancho de banda de cada comunicación es de 400Hz.



# Trabajo Practico Nro. 8

## Ejercicio Nro. 7 - Adicional

Se dispone de un canal de comunicaciones que soporta una velocidad de comunicación máxima de 1200 baudios y se desea alcanzar una velocidad de transmisión o binaria de 2400 bps.

- a) ¿Qué tipo de modulación de fase deberá emplearse?
- b) Proponga una correspondencia entre fases y combinación de bits de manera que entre fases adyacentes el cambio de bits sea mínimo (usar el código de Gray). Dibuje el diagrama de fases o de estados.
- c) Que relación hay entre la velocidad de transmisión  $V_t$  y la velocidad de modulación  $V_m$ ?
- d) Realice un grafico indicando las formas de onda de la modulante, portadora y modulada resultantes para la secuencia binaria 1001011111100010
- e) De la señal moduladora, portadora y modulada, ¿cuáles son analógicas y cuales digitales?

# Trabajo Practico Nro. 8

## Ejercicio Nro. 7 - Adicional

a)  $V_t = 1/T * \log_2 n$

$$2400 = 1200 * \log_2 n$$

$$n = 4$$

Debe emplearse una modulación de **4-PSK**

b)  $\theta = 2\pi / M$

$$\theta = 2\pi / 4$$

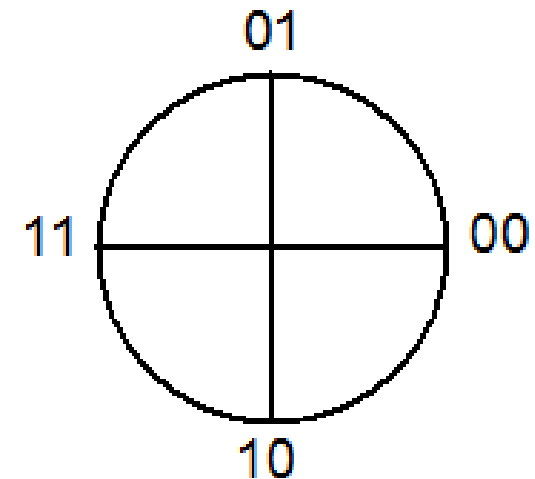
$$\theta = \pi / 2$$

$\theta = 90^\circ$  es el desfase

Las combinaciones posibles de bits son 4 ( $2^2$ ),  
entonces la tabla de combinaciones usando  
el **Código de Gray** queda de la siguiente manera:

### Código de Gray

0	0	0°
0	1	90°
1	1	180°
1	0	270°



# Trabajo Practico Nro. 8

## Ejercicio Nro. 7 – Adicional

c) Modulación **4-PSK**

$$V_t = 1/T * \log_2 n$$

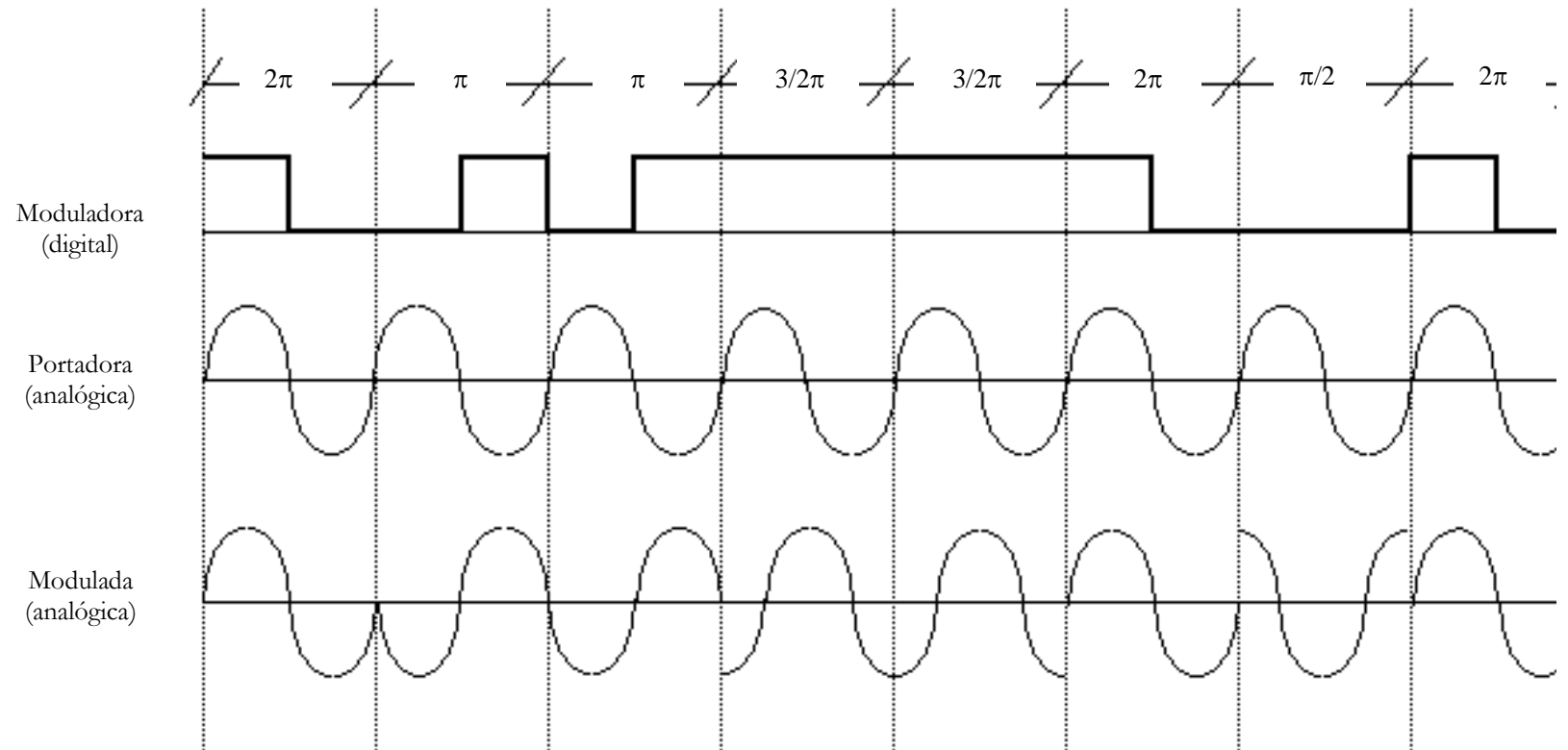
$$V_t = V_m * \log_2 4$$

**$V_t = 2 V_m$** . La relación entre la velocidad de transmisión “ $V_t$ ” y la velocidad de modulación “ $V_m$ ” es 2.

d) **10.01.01.11.11.10.00.10**

e)

0	0	$\pi / 2$
0	1	$\pi$
1	1	$3 / 2 \pi$
1	0	$2 \pi$



# Trabajo Practico Nro. 8

## Ejercicio Nro. 8 - Adicional

Se desea conocer la velocidad binaria teórica y el ancho de banda de un canal que permita transmitir 30 canales de voz más 2 para señalización y sincronismo. Se debe usar un sistema de multiplexación por división de tiempos (TDM).

Datos:

30 Canales de Voz

2 Canales de Señalización y sincron.

TDM

a) ¿Velocidad Binaria?

b) ¿Ancho de Banda ( $\Delta f$ )?

a)

$$V_m = 8000 \text{ muestras / s}$$

$$\text{Muestra} = 8 \text{ bits}$$

$$\text{Velocidad Binaria} = V_m \times \text{muestra}$$

$$\text{Velocidad Binaria} = 8000 \text{ muestras/s} \times 8 \text{ bits/muestra}$$

$$\text{Velocidad Binaria} = 64000 \text{ bps (para 1 canal)}$$

$$V_{\text{total}} = \text{Velocidad Binaria} \times \text{Cantidad de Canales}$$

$$V_{\text{total}} = 64000 \text{ bps} \times (30 + 2)$$

$$\underline{V_{\text{total}} = 2048 \text{ Mbps}}$$

b)

$$\text{Muestra} = 1/125 \mu\text{s} = 8000 \text{ Hz}$$

$$\text{Muestra 8 bits} = 8/125 \mu\text{s} = 64000 \text{ Hz}$$

$$32 \text{ canales} = 32 \times 64000 \text{ Hz}$$

$$\underline{\Delta f = 2048 \text{ Mhz}}$$

# Trabajo Practico Nro. 8

## Ejercicio Nro. 9 - Adicional

Se desea transmitir 2 señales de TV digitalizadas mediante un enlace PCM de 512 niveles de cuantificación / muestra. La señal original posee un  $\Delta f$  que se extiende a los 6 MHz. Calcule la capacidad del canal.

**Capacidad =  $2 * \Delta f * \log_2 N$  - formula de Nyquist**

**Capacidad =  $2 * 6 * \log_2 512$**

**Capacidad = 108 Mbps**

**Como se desea transmitir 2 señales**

**Capacidad = 108 Mbps \* 2**

**Capacidad = 216 Mbps**



# Trabajo Practico Nro. 8

## Ejercicio Nro. 10 - Adicional

Se desea transmitir 12 señales analógicas mediante un sencillo PCM. Se dispone de  $\Delta f = 2\text{Khz}$  y se desea una resolución de 6 bits / muestra. Calcular la capacidad necesaria.

**Capacidad =  $2 * \Delta f * \log_2 N$  - formula de Nyquist**

**Capacidad =  $2 * 2 * 6$**

**Capacidad = 24 Kbps (para 1 canal)**

**Para 12 señales**

**Capacidad =  $12 * 24 \text{ Kbps}$**

**Capacidad = 288 Kbps**