

# **William Stallings**

# **Comunicaciones y Redes de**

# **computadoras**

# **7ma Edition**

---

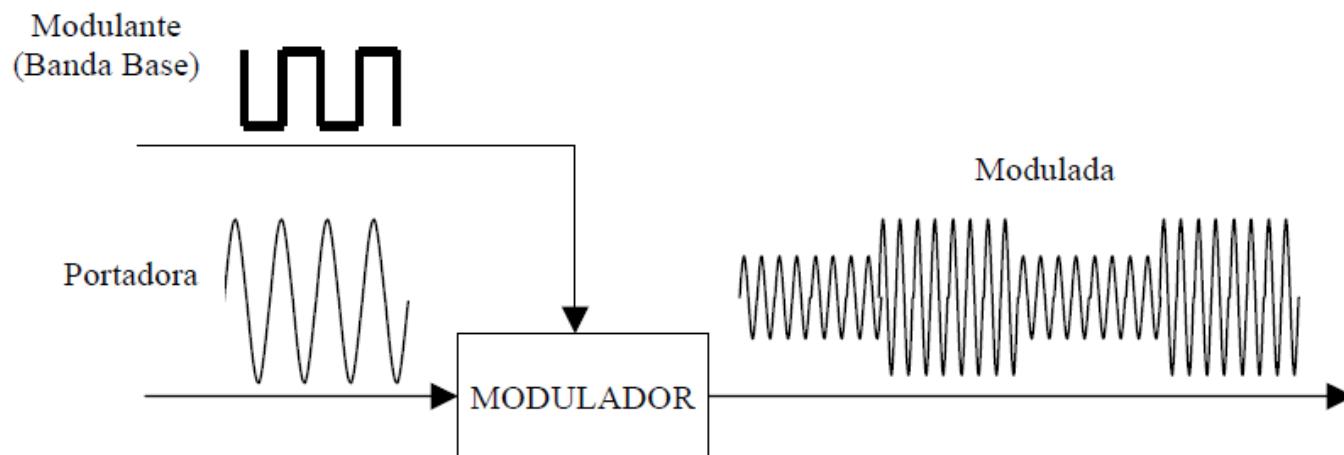
## **Capítulo 5**

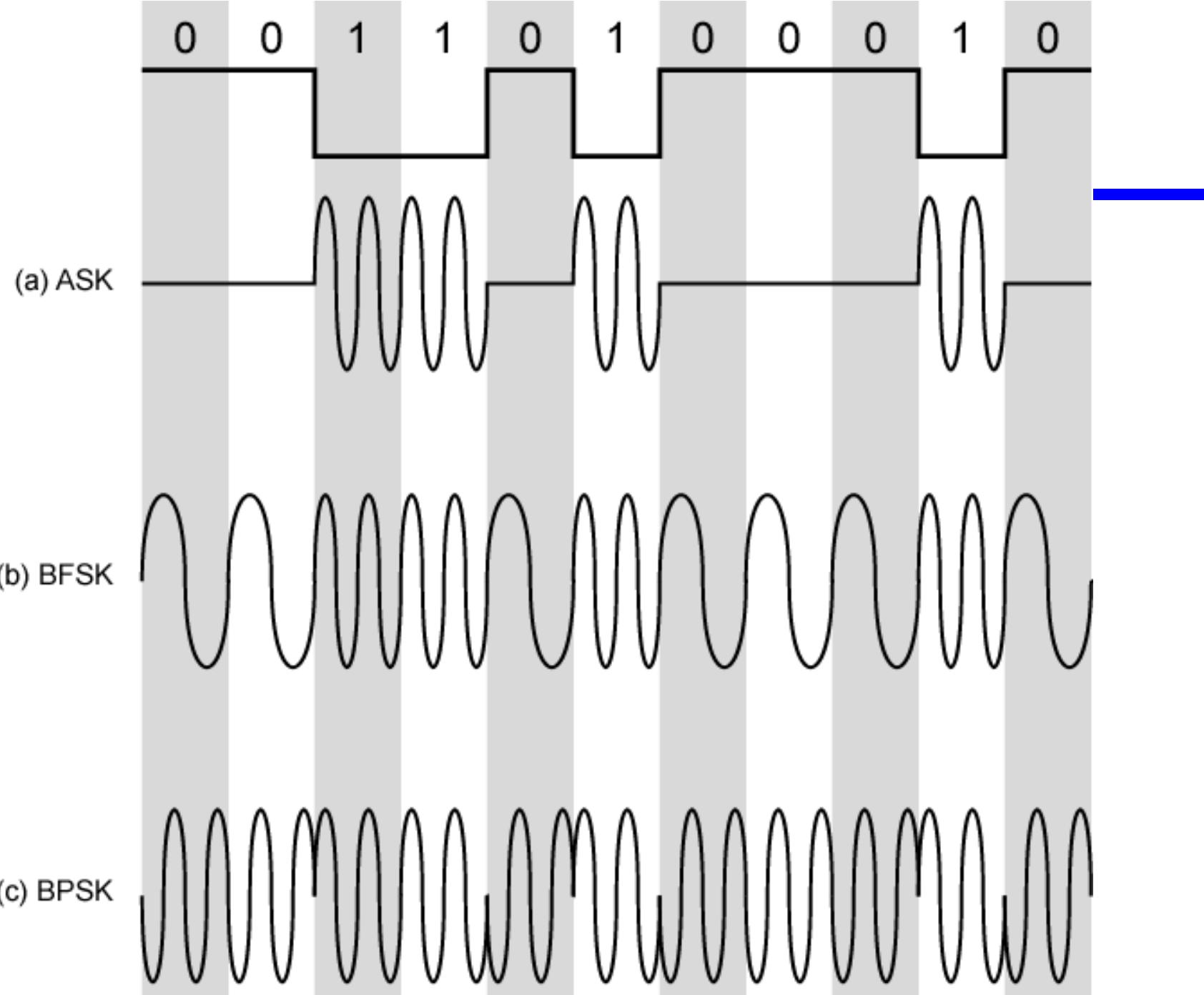
### **Técnicas para la codificación de señales**

# Dato digital, Señal Analógica

---

- Sistema público telefónico
  - 300Hz a 3400Hz
  - Modem (modulador-demodulador)
- ASK = Amplitude shift keying
- FSK = Frequency shift keying
- PSK = Phase shift keying





# Modulación por desplazamiento de amplitud

---

- Los dos valores binarios se representan mediante dos amplitudes diferentes de la portadora.
- Usualmente, una amplitud es cero
  - Ej. Presencia y ausencia de portadora.
- Es sensible a cambios repentinos de la ganancia
- Técnica bastante ineficaz.
- Hasta 1200bps en líneas de voz.
- Es usado en fibra óptica.

$$s(t) = \begin{cases} A \sin(2\pi fct) \\ 0 \end{cases}$$

# Modulación por desplazamiento de frecuencia

---

- La forma mas común es BFSK (binary FSK)
- Dos valores binarios son representados por diferentes frecuencias, próximas a la frecuencia portadora.
- Es menos susceptible a errores que ASK
- Hasta 1200bps en canales de voz
- Se usa en transmisiones de radio de alta frecuencia

$$s(t) = \begin{cases} A \sin(2\pi f_1 t) & 1 \text{ binario} \\ A \sin(2\pi f_2 t) & 0 \text{ binario} \end{cases}$$

# Multiple FSK

---

- Mas de dos frecuencias son utilizadas
- Mas eficiente uso del ancho de banda
- Mas susceptible a errores
- Cada elemento de señal representa mas que un bit.

$$S_i(t) = A \cos(2 \pi f_i t), \quad 1 \leq i \leq M$$

$$f_i = f_c + (2i - 1 - M) f_d$$

$f_c$  = la frecuencia de la portadora

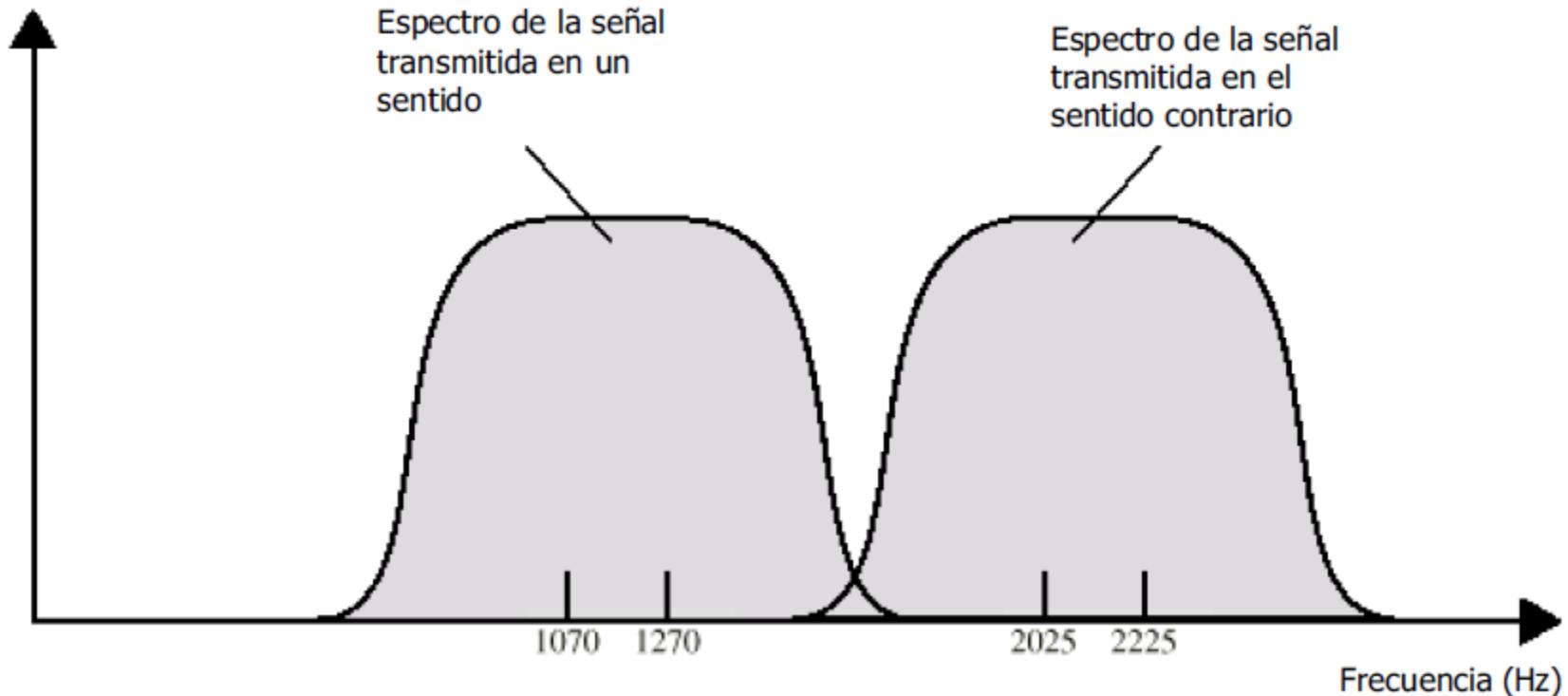
$f_d$  = la diferencia de frecuencias

$M$  = el número de elementos de señalización diferentes

$L$  = número de bits por elemento de señalización

# FSK en una línea de voz

Energía de la señal



Transmisión “full-duplex” en una línea de calidad telefónica.

# Ejemplo de FSK

---

- Siendo  $f_c = 250 \text{ khz}$ ,  $f_d = 25 \text{ Khz}$  y  $M = 8$  ( $L = 3\text{bits}$ )
- Usamos las formulas anteriores y obtenemos que:
- $f_1=75 \text{ khz}$  para 000 -  $f_2=125 \text{ khz}$  001
- $f_3=175 \text{ khz}$  para 010 –  $f_4=225 \text{ khz}$  011
- $f_5=275 \text{ khz}$  para 100 –  $f_6=325 \text{ khz}$  101
- $f_7=375 \text{ khz}$  para 110 –  $f_8=425 \text{ khz}$  111
- Velocidad de transmisión igual a :  
 $2f_d=1/T_s=50\text{kbps}$
- $W_d=2Mf_d=M/T_s = \text{ancho de banda} = 400 \text{ khz}$

# Modulación por desplazamiento de fase

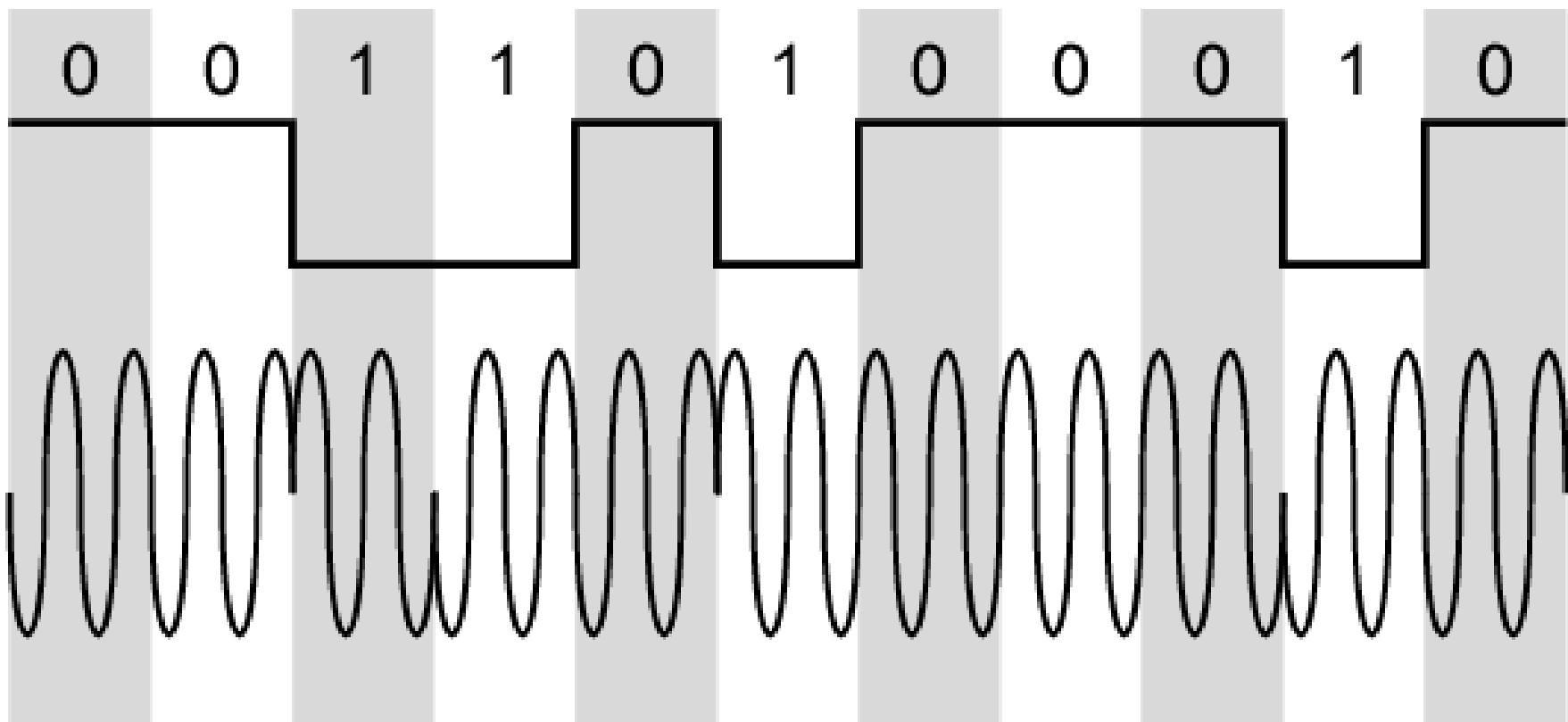
---

- La fase de la portadora es desplazada para representar los diferentes estados.
- PSK binario
  - Dos fases representan dos dígitos binarios
- PSK diferencial
  - El desplazamiento de fase es relativo a la fase correspondiente al último símbolo transmitido, en lugar de ser relativo a algún valor constante de referencia.

$$s(t) = \begin{cases} A \operatorname{sen}(2\pi f_{ct}) & 1 \text{ binario} \\ A \operatorname{sen}(2\pi f_{ct} + \pi) & 0 \text{ binario} \end{cases}$$

# PSK diferencial

---



# Desplazamiento en fase en cuadratura

---

- Se puede conseguir una utilización mas eficaz del ancho de banda, si cada elemento de señalización representa a mas de un bit:
  - Ej. Desplazamiento de fase de  $\pi/2$  ( $90^\circ$ )
  - Cada elemento representa 2 bit
  - Se puede usar 8 ángulos de fase para tener varias amplitudes.
  - En un modem de 9600 bps se usan 12 ángulos de fase, cuatro de los cuales tienen dos posibles amplitudes.

# Niveles de modulación

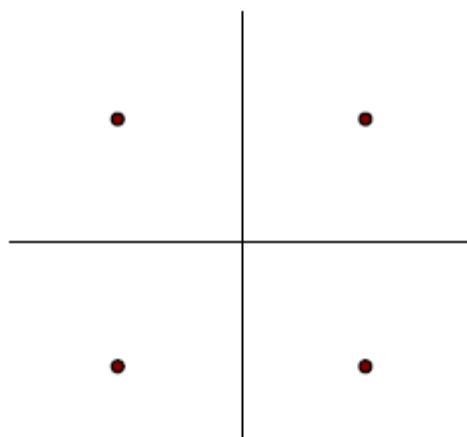
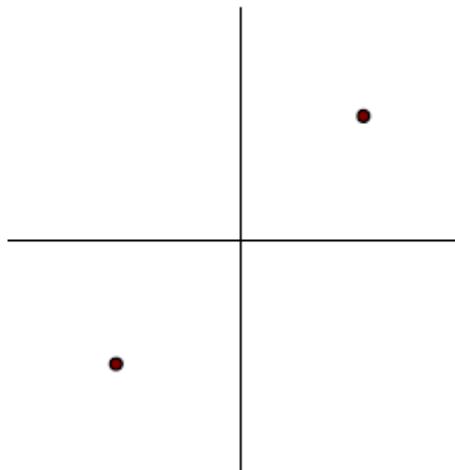
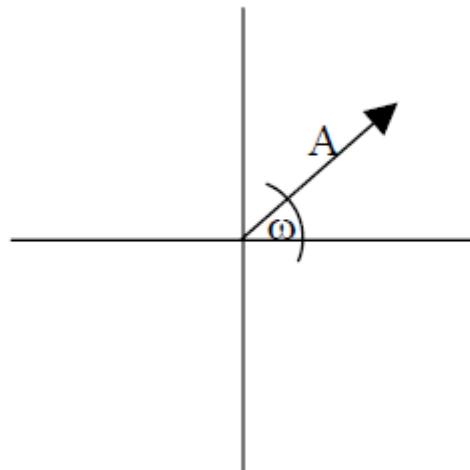
---

- Estado modulado: es una condición de la portadora en la que representa un símbolo.
- Una técnica mononivel representa un bit por cada símbolo. Ej. ASK, podemos representarla como: 2ASK
- En el caso que un símbolo represente a dos bit, la técnica se llamará multinivel y podría ser 4FSK o 4 PSK
- $L = \log_2(M)$ 
  - L cantidad de bits
  - M cantidad de estados modulados

# Técnica de representación

---

- *Representación polar para una modulación 2PSK*

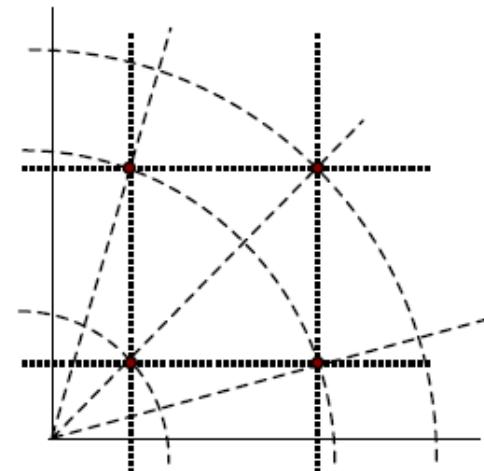
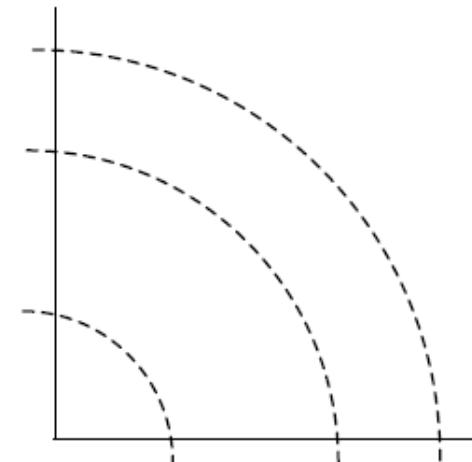
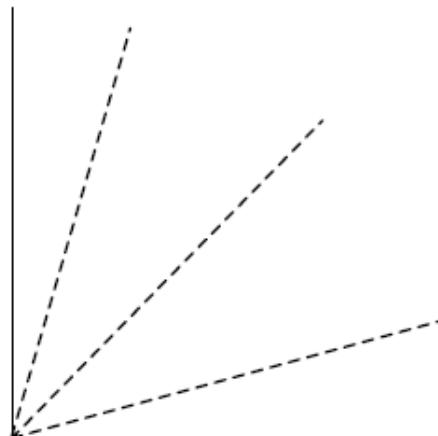


*Constelación de 4PSK*

# Modulación de amplitud en cuadratura

---

- QAM es usado en ADSL y algunas técnicas wireless
- Combina a ASK y PSK
- Extensión lógica de QPSK
- Envía simultáneamente dos señales diferentes sobre la misma frecuencia portadora.



# Límites de Nyquist y Shannon

---

- Nyquist demostró la existencia de una frecuencia de muestreo que es igual al doble de la frecuencia natural de entrada =  $F_n$
- $F_n = 2F$  ó  $F_n = 2\Delta F$
- Si los canales son sin ruido demostró y transmisión mononivel.
  - $\text{bps} = 2\Delta F$
- Si la transmisión es multinivel:
  - $\text{bps} = 2\Delta F \log_2 M$

# **Límites de Nyquist y Shannon**

---

- Ejemplo: si tengo una técnica 64QAM que velocidad máxima binaria podría obtener si el canal donde opero es un canal de voz:
- Rta: bps=48000

# Límites de Nyquist y Shannon

---

- Shannon, demostró que los canales son ruidosos, por lo tanto encontró una ecuación que relaciona la relación señal a ruido con la cantidad de niveles de modulación.
- Shannon establece:  $M_{max} = \sqrt{1 + S/N}$
- Donde S/N es adimensional
- Juntando los dos límites:

$$bps = 2 \Delta F \log_2 \sqrt{(1 + S/N)} \quad \rightarrow \quad bps = \Delta F \log_2(1 + S/N)$$