

# Fundamentos de Modulación

Juan Manuel Orduña Huertas

Telemática y Sistemas de Transmisión de Datos - Curso  
2011/2012

# Índice

- 1 Introducción
- 2 Modulación con portadora analógica
  - Modulación AM
  - Modulación FM y PM
  - Modulación por Desplazamiento en Amplitud (ASK)
  - Modulación por Desplazamiento en Frecuencia (FSK)
  - Modulación por Desplazamiento de Fase (PSK)
- 3 Muestreo de señal: Modulación por pulsos
  - Modulación PAM, PWM y PDM
- 4 Modulación con portadora y moduladora digital
- 5 Modulación en espectro expandido: CDMA

# Motivación

Banda base = No modificar el espectro original de la señal

- Señales con espectro de amplitudes de B infinito.
- Si todas las señales se transmitieran en banda base se interferirían entre ellas.
- La inductancia y capacitancia existentes en las líneas de transmisión afectan más a las señales en banda base.
- Teoría de antenas: antena  $\simeq$  longitud de onda  $\lambda$ . Voz humana  $\rightarrow f = 3 \text{ kHz}, \lambda = c/f$ .

$$\lambda = \frac{c}{3 \cdot 10^3} = 1 \cdot 10^5 = 100 \text{ Km.} \quad (1)$$

- Multiplexación en Frecuencia: Si canal de ancho de banda B, dividir en  $n$  canales de ancho de banda  $B/n$ .
- Espectro electromagnético muy amplio.

# Definiciones

**Modulación:** Transmisión de una señal a la frecuencia deseada, pero variando alguna característica de la señal (o sea, modulando la señal) de forma proporcional al mensaje o señal que queremos transmitir.

- **Señal portadora:** Señal periódica encargada de "transportar" la información a transmitir, y cuya frecuencia es la frecuencia de transmisión deseada.
- **Señal moduladora:** Señal que representa el mensaje que deseamos transmitir.
- **Modulación:** Modificación de algún parámetro de una señal por otra.
- **Señal modulada:** Señal resultante de la modulación de una señal portadora por una señal moduladora.

# Clasificación

- Tipo de señal: portadora y moduladora pueden ser analógica o digital.
- Parámetro de la portadora que se modifica: amplitud, frecuencia y fase.

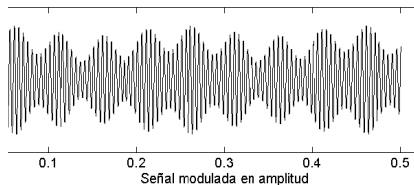
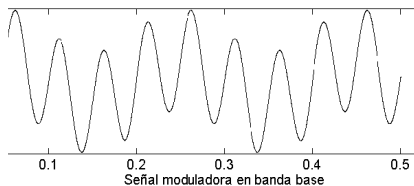
	<i>Moduladora Analógica</i>	<i>Moduladora Digital</i>
P. Analógica	AM (Amplitude Modulation) FM (Frequency Modulation) PM (Phase Modulation)	ASK (Amplitude Shift Keying) FSK (Frequency Shift Keying) PSK (Phase Shift Keying)
Port. Digital	PAM (Pulse Amplitude Modulation) PDM (Pulse Duration Modulation) PPM (Pulse Position Modulation) PCM (Pulse Codification Modulation) Modulación Delta	NRZ (Non Return to Zero) RZ (Return to Zero) Bifase Bipolar

# Índice

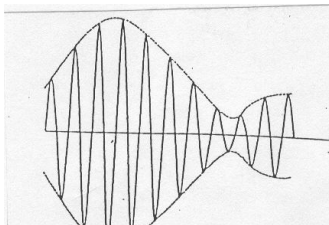
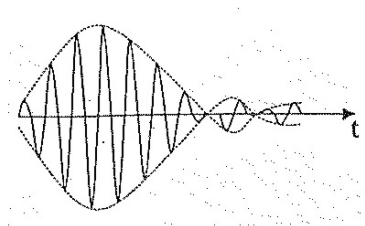
- 1 Introducción
- 2 **Modulación con portadora analógica**
  - **Modulación AM**
  - Modulación FM y PM
  - Modulación por Desplazamiento en Amplitud (ASK)
  - Modulación por Desplazamiento en Frecuencia (FSK)
  - Modulación por Desplazamiento de Fase (PSK)
- 3 Muestreo de señal: Modulación por pulsos
  - Modulación PAM, PWM y PDM
- 4 Modulación con portadora y moduladora digital
- 5 Modulación en espectro expandido: CDMA

# Definición

$$U_{AM}(t) = V_0 [1 + m x(t)] \cos(2\pi f_p t) \quad (2)$$

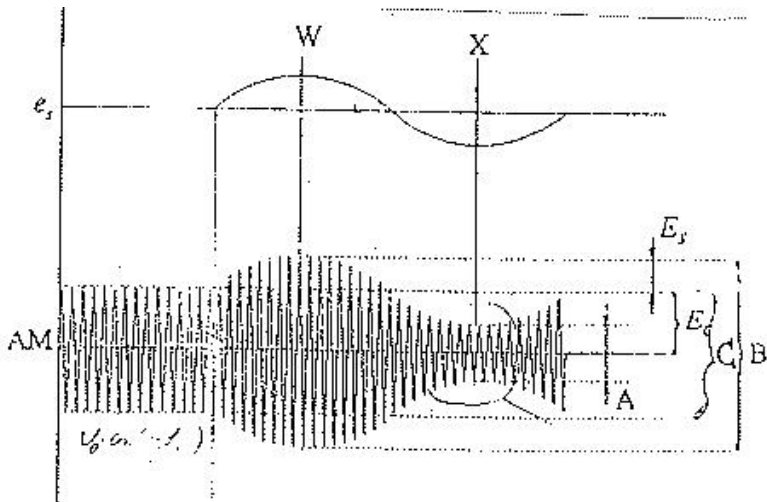


# Sobremodulación.





# Cálculo de Índice de Modulación.



# Espectro y Potencia de AM

$$F(U_{AM}(t)) = \frac{V_0}{2} [\delta(f - f_p) + \delta(f + f_p)] + \frac{mV_0}{2} [X(f - f_p) + X(f + f_p)] \quad (3)$$

$$\delta(\omega) = \begin{cases} 1 & \omega = 0 \\ 0 & \omega \neq 0 \end{cases}$$

$$B = 2W \quad (4)$$

$$\bar{P} = \frac{V_0^2}{2} + \frac{m^2 V_0^2}{2} \bar{x}(t)^2 = \frac{V_0^2}{2} [1 + m^2 \bar{x}(t)^2] \quad (5)$$

## Conclusiones sobre AM

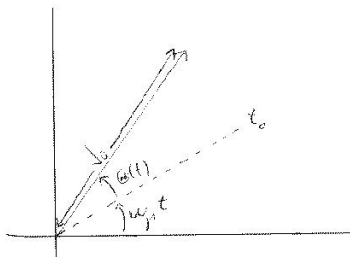
- Al menos el 50 % de la potencia de la señal modulada se usa para transmitir la señal portadora, que no contiene información.
- La señal transmitida contiene información redundante, ya que transmite 2 veces el espectro de la señal moduladora
- El ancho de banda de la señal modulada es el doble del ancho de banda de la señal en banda base

$$U_{DBL}(t) = V_0 m x(t) \cos(2\pi f_p t) \quad (6)$$

# Índice

- 1 Introducción
- 2 **Modulación con portadora analógica**
  - Modulación AM
  - **Modulación FM y PM**
  - Modulación por Desplazamiento en Amplitud (ASK)
  - Modulación por Desplazamiento en Frecuencia (FSK)
  - Modulación por Desplazamiento de Fase (PSK)
- 3 Muestreo de señal: Modulación por pulsos
  - Modulación PAM, PWM y PDM
- 4 Modulación con portadora y moduladora digital
- 5 Modulación en espectro expandido: CDMA

# Relación entre FM y PM

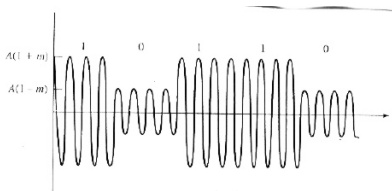


# Índice

- 1 Introducción
- 2 **Modulación con portadora analógica**
  - Modulación AM
  - Modulación FM y PM
  - **Modulación por Desplazamiento en Amplitud (ASK)**
  - Modulación por Desplazamiento en Frecuencia (FSK)
  - Modulación por Desplazamiento de Fase (PSK)
- 3 Muestreo de señal: Modulación por pulsos
  - Modulación PAM, PWM y PDM
- 4 Modulación con portadora y moduladora digital
- 5 Modulación en espectro expandido: CDMA

# Amplitude Shift Keying

$$U_{\text{ASK}}(t) = A \left[ 1 \pm \frac{V}{A} \right] \cos(2\pi f_p t) = A [1 \pm m] \cos(2\pi f_p t) \quad (7)$$



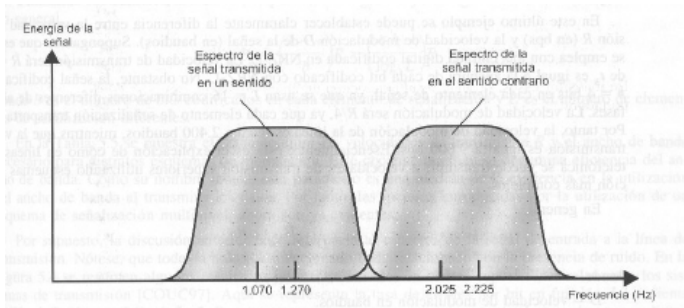
# Índice

- 1 Introducción
- 2 Modulación con portadora analógica
  - Modulación AM
  - Modulación FM y PM
  - Modulación por Desplazamiento en Amplitud (ASK)
  - **Modulación por Desplazamiento en Frecuencia (FSK)**
  - Modulación por Desplazamiento de Fase (PSK)
- 3 Muestreo de señal: Modulación por pulsos
  - Modulación PAM, PWM y PDM
- 4 Modulación con portadora y moduladora digital
- 5 Modulación en espectro expandido: CDMA



# Definición. Uso

$$U_{\text{FSK}}(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_1 t + \Theta_p) & f_1 = f_p + \Delta f_p \Leftrightarrow "1" \\ A \cos(2\pi f_2 t + \Theta_p) & f_2 = f_p - \Delta f_p \Leftrightarrow "0" \end{cases} \quad (8)$$



# MFSK: MFSK Múltiple

$$\mathbf{U}_{\text{MFSK}}(\mathbf{t}) = A \cos(2\pi f_i t) \quad 1 \leq i \leq M \quad (9)$$

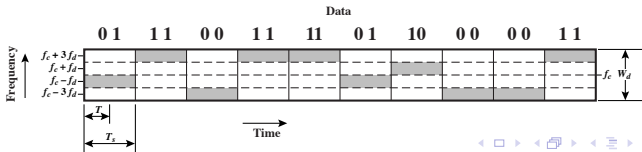
$$f_i = f_c + (2i - 1 - M)f_d$$

$f_c$  = la frecuencia de la portadora

$f_d$  = la diferencia mínima de frecuencias entre cualquier tono y la frecuencia portadora

$M$  = número de elementos de señalización diferentes (4, 8, 16, etc.) =  $2^L$

$L$  = número de bits por elemento de señalización



# Índice

- 1 Introducción
- 2 **Modulación con portadora analógica**
  - Modulación AM
  - Modulación FM y PM
  - Modulación por Desplazamiento en Amplitud (ASK)
  - Modulación por Desplazamiento en Frecuencia (FSK)
  - **Modulación por Desplazamiento de Fase (PSK)**
- 3 Muestreo de señal: Modulación por pulsos
  - Modulación PAM, PWM y PDM
- 4 Modulación con portadora y moduladora digital
- 5 Modulación en espectro expandido: CDMA

# BPSK: PSK Binario

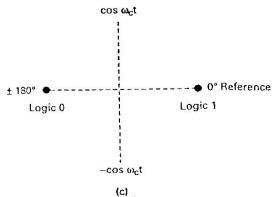
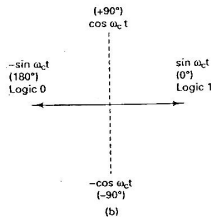
$$\mathbf{U}_{\text{BPSK}}(\mathbf{t}) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_p t + \pi) & \Leftrightarrow \text{"0"} \\ A \cos(2\pi f_p t) & \Leftrightarrow \text{"1"} \end{cases} \quad (10)$$

$$B = 2w_m = 2 \frac{V_{trans}}{2} = V_{trans} \quad (11)$$

# BPSK: Diagrama Constelación

Binary input	Output phase
Logic 0	180°
Logic 1	0°

(a)



# BPSK: Modulador

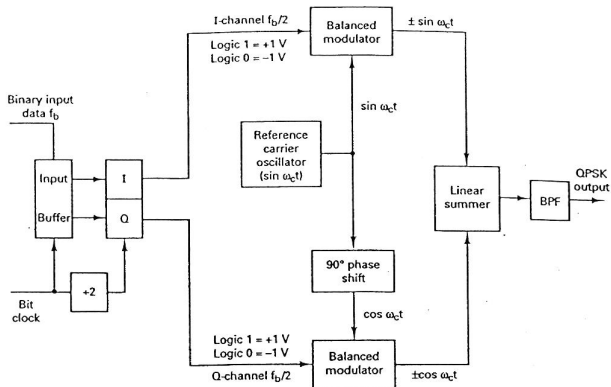
## Ancho de banda

$$\begin{aligned}
 s(t) &= (\text{sen}(w_m t)) \cdot (\text{sen}(w_p t)) \\
 &= \frac{1}{2} \cos(w_p - w_m)t + \frac{1}{2} \cos(w_p + w_m)t
 \end{aligned} \tag{12}$$

$$B = 2w_m = 2 \frac{V_{trans}}{2} = V_{trans} \tag{13}$$

# QPSK: PSK Cuaternario

$$U_{\text{QPSK}}(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_p t + 45^\circ) & \Leftrightarrow "11" \\ A \cos(2\pi f_p t + 135^\circ) & \Leftrightarrow "10" \\ A \cos(2\pi f_p t + 225^\circ) & \Leftrightarrow "00" \\ A \cos(2\pi f_p t + 315^\circ) & \Leftrightarrow "01" \end{cases} \quad (14)$$



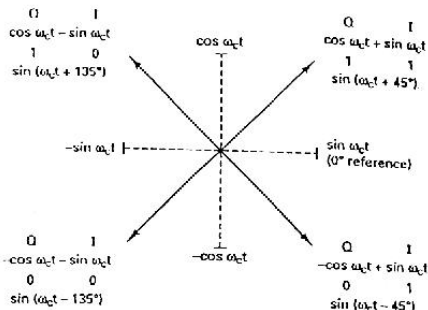
# QPSK: Ancho de banda

$$\begin{aligned}
 s(t) &= (\text{sen}(w_m t)) \cdot (\text{sen}(w_p t)) \\
 &= \frac{1}{2} \text{cos}(w_p - w_m)t + \frac{1}{2} \text{cos}(w_p + w_m)t \\
 B &= w_p + w_m - (w_p - w_m) = 2w_m = V_{trans} \\
 w_{m_{QPSK}} &= 1/2 w_{m_{BPSK}} \Rightarrow B = 1/2 V_{trans} \quad (15)
 \end{aligned}$$

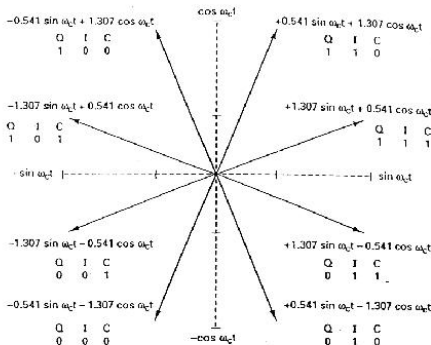


# Diagrama constelación QPSK

Binary input		QPSK output phase
Q	I	
0	0	-135°
0	1	-45°
1	0	+135°
1	1	+45°

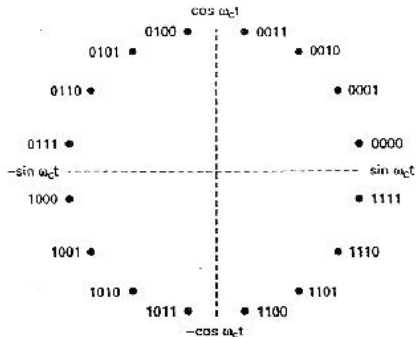


# Modulación 8-BPSK



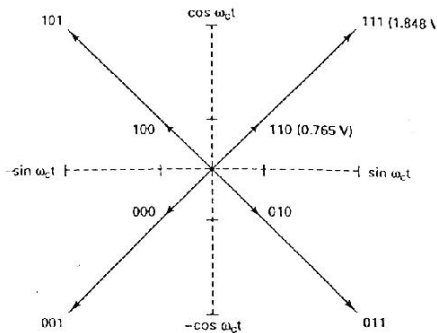
$$w_{m_{8-BPSK}} = 1/3 w_{m_{BPSK}} \Rightarrow B = 1/3 V_{trans}$$

# Modulación 16-BPSK



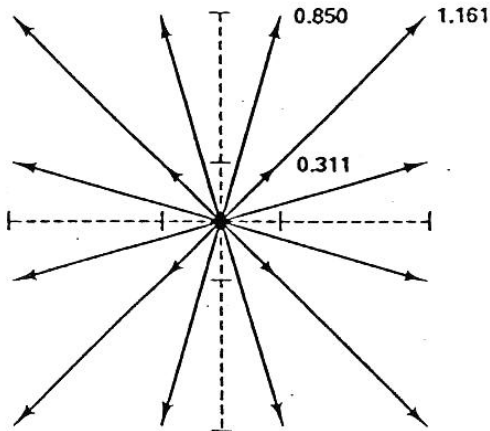
$$w_{m_{16-BPSK}} = 1/4 w_{m_{BPSK}} \Rightarrow B = 1/4 V_{trans}$$

# Modulación 8-QAM



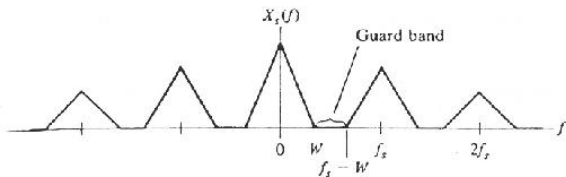
$$w_{m8-QAM} = 1/3 w_{mBPSK} \Rightarrow B = 1/3 V_{trans}$$

# Modulación 16-QAM



$$w_{m16-QAM} = 1/4 w_{mBPSK} \Rightarrow B = 1/4 V_{trans}$$

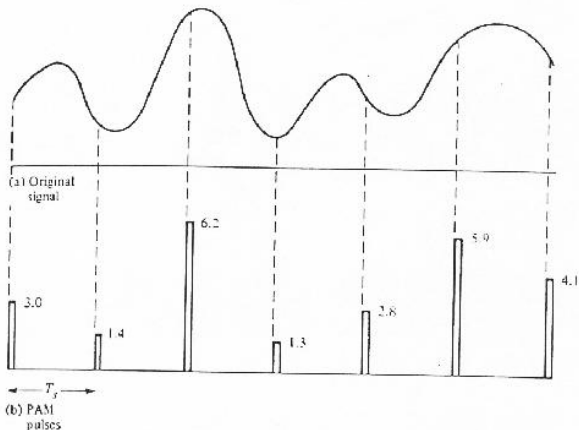
# Teorema de Muestreo



# Índice

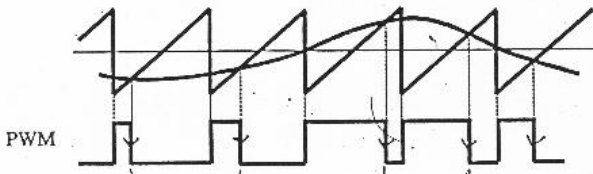
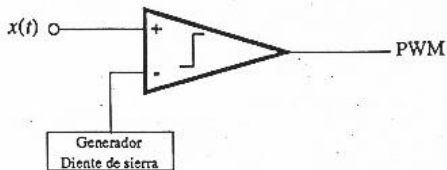
- 1 Introducción
- 2 Modulación con portadora analógica
  - Modulación AM
  - Modulación FM y PM
  - Modulación por Desplazamiento en Amplitud (ASK)
  - Modulación por Desplazamiento en Frecuencia (FSK)
  - Modulación por Desplazamiento de Fase (PSK)
- 3 Muestreo de señal: Modulación por pulsos
  - Modulación PAM, PWM y PDM
- 4 Modulación con portadora y moduladora digital
- 5 Modulación en espectro expandido: CDMA

# Modulación por amplitud de pulso (PAM)

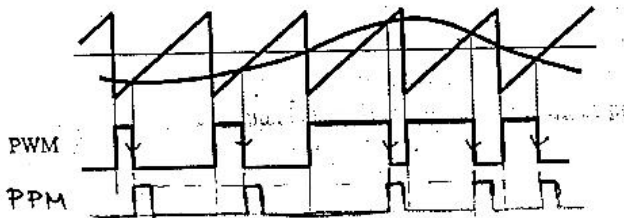




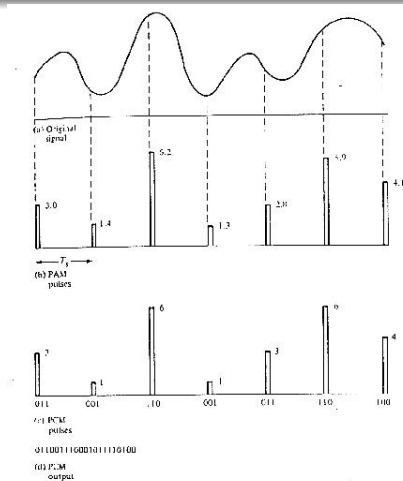
# Modulación por duración de pulso (PWM)



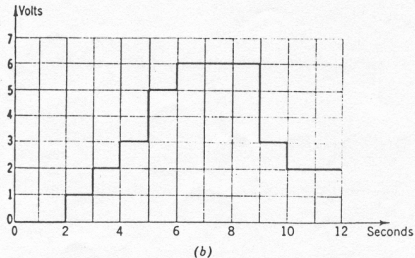
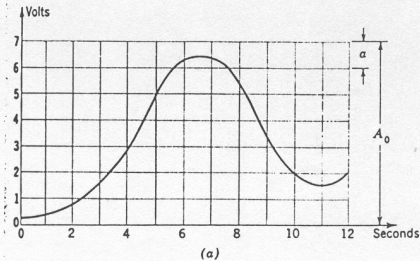
# Modulación por posición de pulso (PPM)



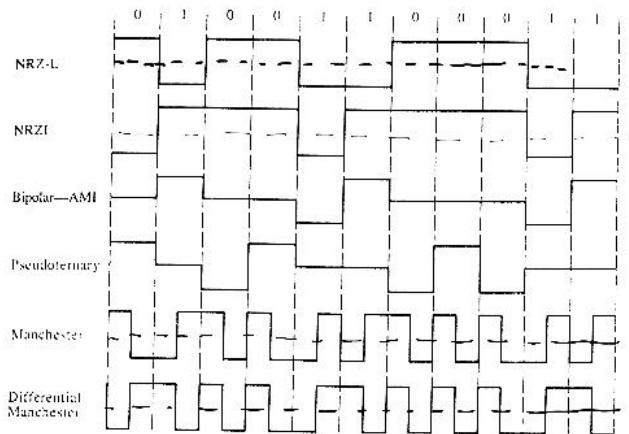
# Modulación PCM



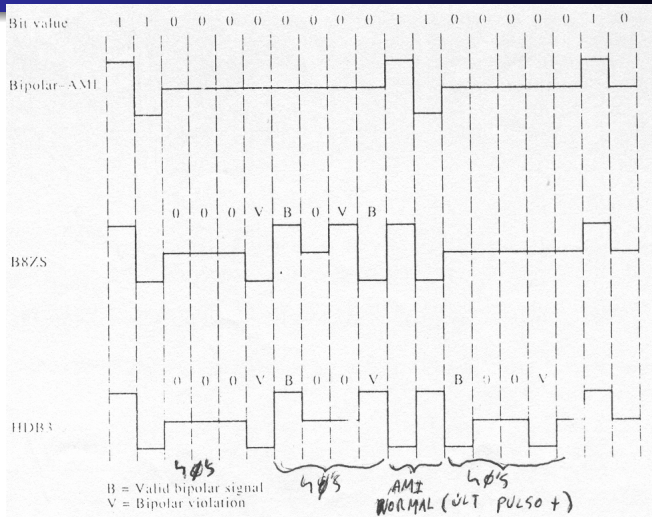
# Cuantificación



# Técnicas de recodificación



# Técnicas de inserción de bits



# Concepto de espectro expandido

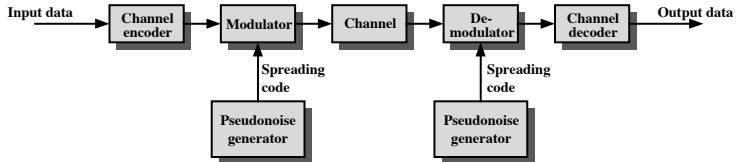


Figure 9.1 General Model of Spread Spectrum Digital Communication System

# Espectro expandido por salto de frecuencias: FHSS

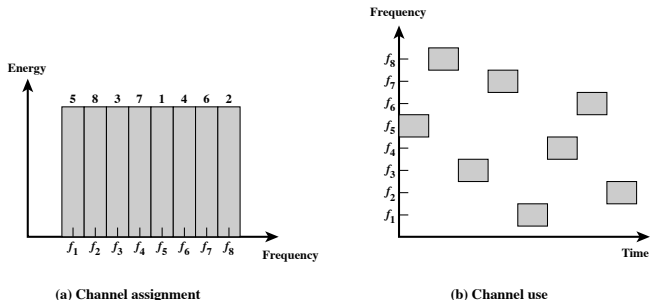


Figure 9.2 Frequency Hopping Example



# FHSS lento

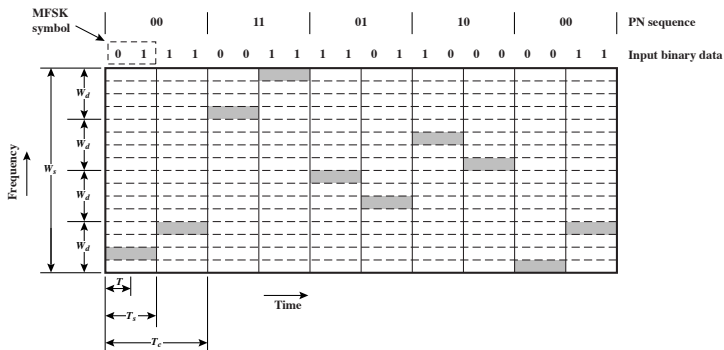


Figure 9.4 Slow Frequency Hop Spread Spectrum Using MFSK ( $M = 4, k = 2$ )

# FHSS rápido

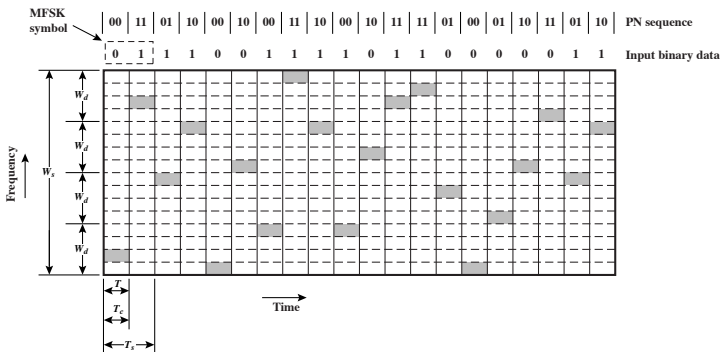


Figure 9.5 Fast Frequency Hop Spread Spectrum Using MFSK ( $M = 4$ ,  $k = 2$ )

# Acceso Múltiple por División de Código: CDMA

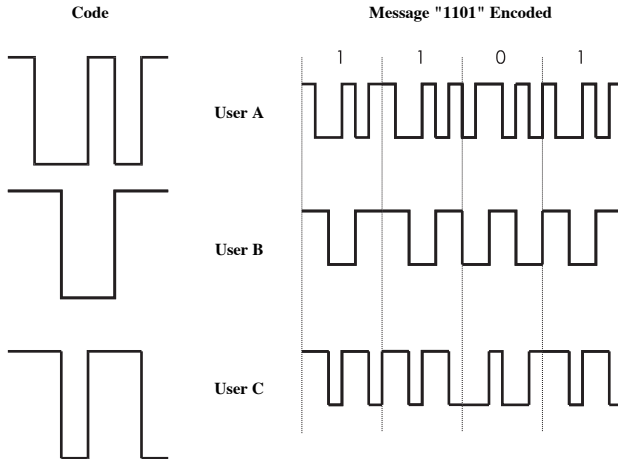


Figure 9.10 CDMA Example

(a) User's codes

User A	1	-1	-1	1	-1	1	
User B	1	1	-1	-1	1	1	
User C	1	1	-1	1	1	-1	

(b) Transmission from A

Transmit (data bit = 1)	1	-1	-1	1	-1	1	
Receiver codeword	1	-1	-1	1	-1	1	
Multiplication	1	1	1	1	1	1	= 6

Transmit (data bit = 0)	-1	1	1	-1	1	-1	
Receiver codeword	1	-1	-1	1	-1	1	
Multiplication	-1	-1	-1	-1	-1	-1	= -6

(c) Transmission from B, receiver attempts to recover A's transmission

Transmit (data bit = 1)	1	1	-1	-1	1	1	
Receiver codeword	1	-1	-1	1	-1	1	
Multiplication	1	-1	1	-1	-1	1	= 0



(d) Transmission from C, receiver attempts to recover B's transmission

Transmit (data bit = 1)	1	1	-1	1	1	-1	
Receiver codeword	1	1	-1	-1	1	1	
Multiplication	1	1	1	-1	1	-1	= 2

(e) Transmission from B and C, receiver attempts to recover B's transmission

B (data bit = 1)	1	1	-1	-1	1	1	
C (data bit = 1)	1	1	-1	1	1	-1	
Combined signal	2	2	-2	0	2	0	
Receiver codeword	1	1	-1	-1	1	1	
Multiplication	2	2	2	0	2	0	= 8

# Bibliografía I

-  Andrew S. Tanenbaum, *“Redes de Computadores”, Ed. Prentice Hall, 4a. ed., 2003*
-  William Stallings, *Comunicaciones y Redes de computadores”, Ed. Prentice-Hall, 7a. Edición, 2004*