

# Sistemas de Comunicación

## - Comunicaciones Digitales - - Definciones -

Ph.D. Cristian Guarnizo Lemus

[cristianguarnizo@itm.edu.co](mailto:cristianguarnizo@itm.edu.co)

# Contenido – Comunicaciones Digitales

1. Introducción
2. Cuantificación - ADC.
3. ADC Modulación.
4. Codificación de línea.
5. Modulación digital.

# Por qué ir hacia lo Digital?

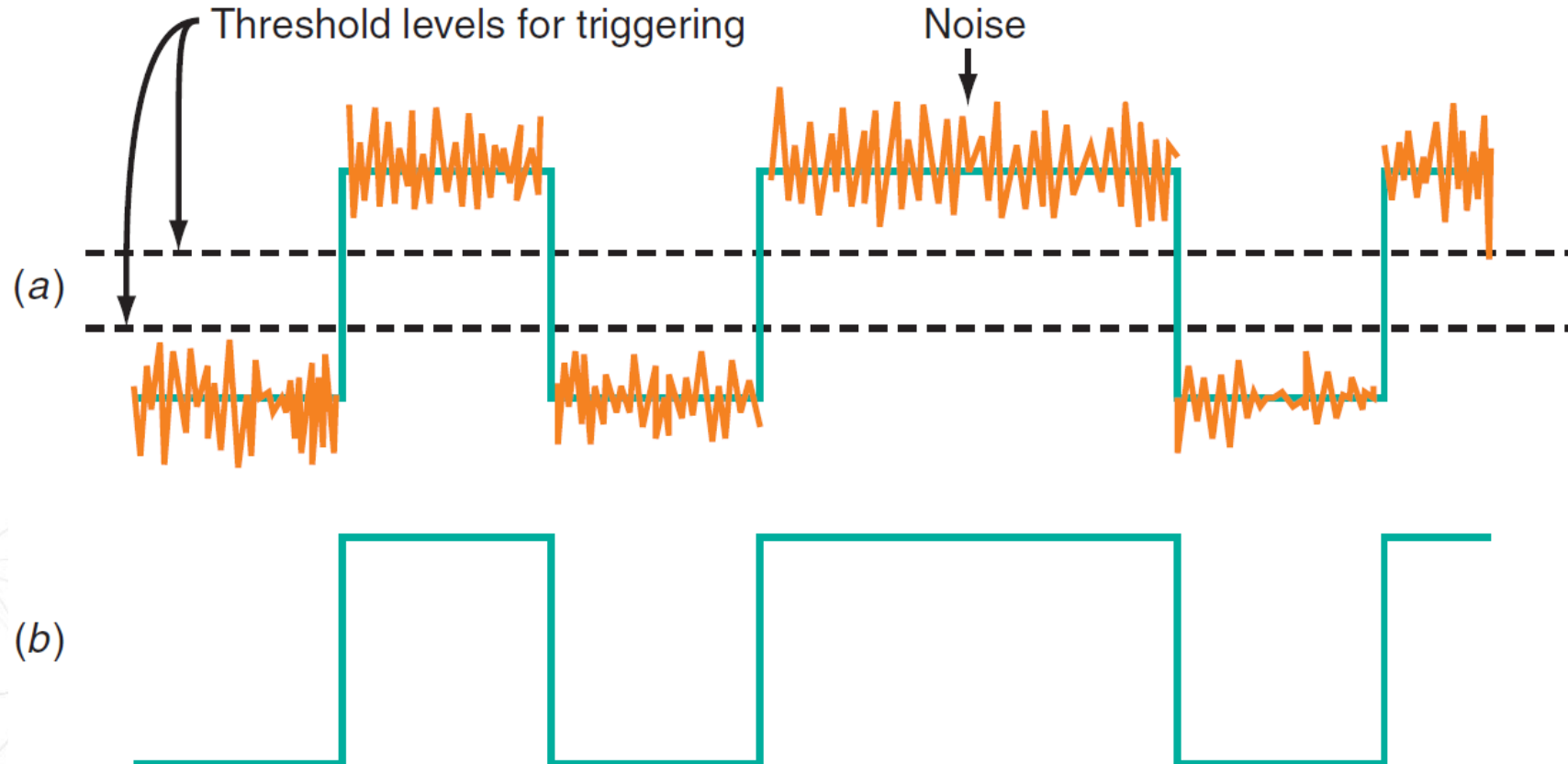
- El incremento de la demanda por servicios de comunicaciones, pero el espectro es limitado.
  - Se necesita de formas mas eficientes de transmitir datos a través de RF.
- Los esquemas de modulación digital tiene una **mayor capacidad para enviar grandes cantidades de información** que los esquemas análogos.

# Por qué ir hacia lo Digital?

- La comunicación digital es mas robusta que la analógica.
- Es mas fácil multiplexar señales digitales que analógicas.
- La señales digitales se pueden codificar y encriptar.

# Inmunidad al ruido

(a) Noise on a binary signal. (b) Clean binary signal after regeneration.



# Comparación entre sistemas

## Sistema de Comunicación Análoga:

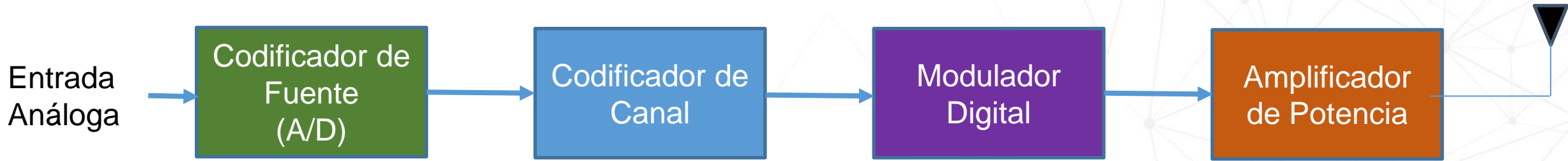


## Sistema de Comunicación Digital:





# Transmisión Digital



## 1. Mod. Pulso

PWM

PPM

PAM

## 2. Mod. Cod. Pulso

## 3. Mod. Delta

## Cod. de línea

1. RZ

2. NRZ

3. AMI

4. Etc.

## 1. ASK

2. FSK

3. PSK

4. QAM

## 2. Cuantificación - ADC

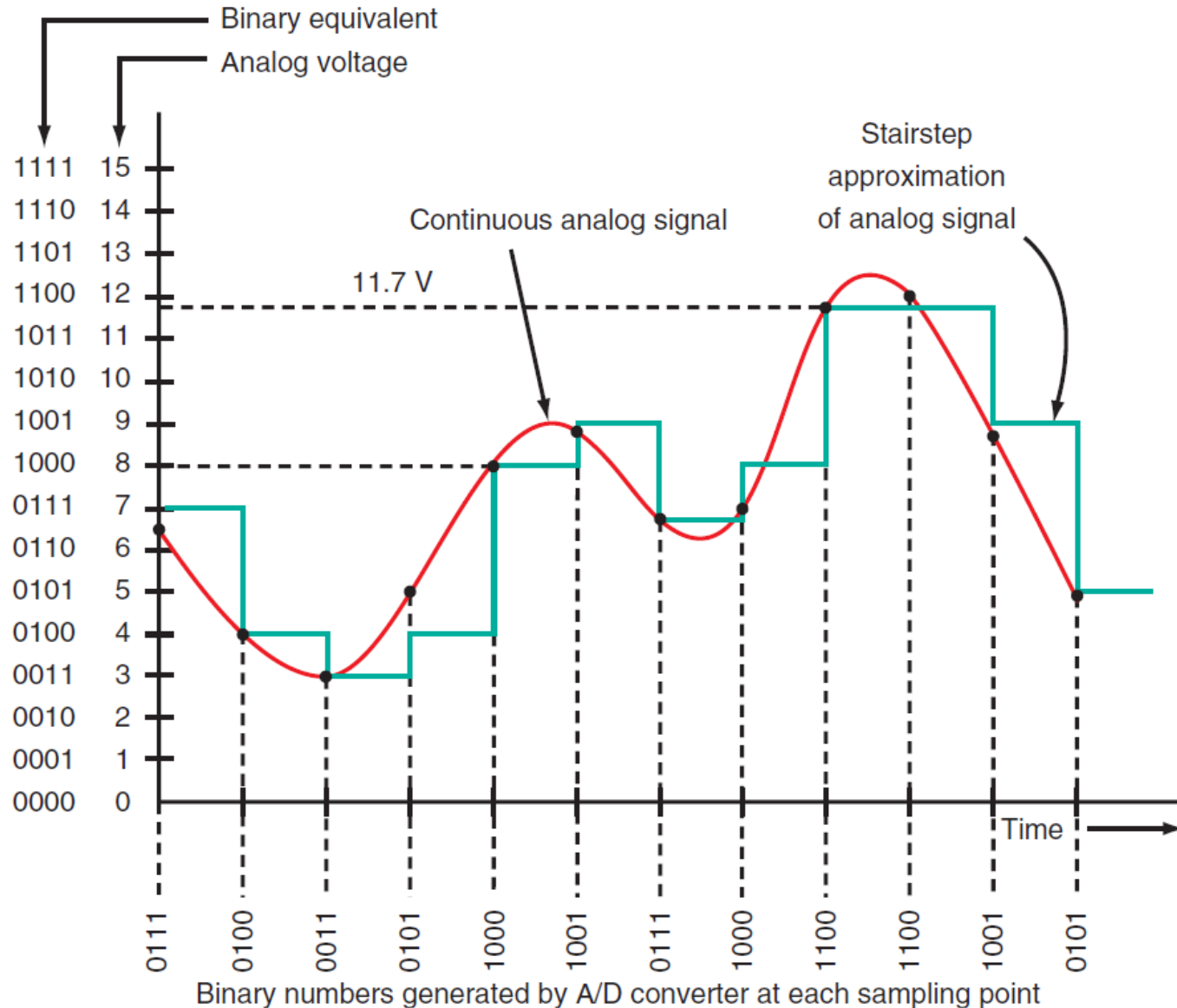
- En muchos procesos de comunicación, el primer paso es convertir la información de analógica a su forma digital.
- Las señales continuas son cambiadas en series de números binarios.
- En el receptor, los datos digitales deben ser re-convertidos a la forma analógica antes de ser utilizada por el usuario.



## 2. Cuantificación - ADC

- Traducir una señal análoga en una señal digital se realiza por el dispositivo conocido como conversor análogo a digital o ADC (Analog-to-Digital Conversor).
- El conversor Digital a Análogo o DAC (Digital-to-Analog Conversor), decodificador, realiza la operación inversa del ADC.

## 2. Cuantificación - ADC



$N$  Numero de bits

$2^N$  Numero de niveles

$2^N - 1$  Numero de incrementos

## 2. Cuantificación - ADC

Ejemplo: el rango de voltajes de un conversor A/D que utiliza 14-bit es de -6 a +6 V. Determinar a) El numero discreto de niveles (códigos binarios), b) el numero de incrementos de voltaje, y c) la resolución de la digitalización expresada en su incremento de voltaje mas pequeño.

$$a) \quad 2^N = 2^{14} = 16384$$

$$b) \quad 2^N - 1 = 16384 - 1 = 16383$$

$$c) \quad \frac{6 - (-6)}{16383} = \frac{12}{16383} = 0.7325\text{mV}$$

## 2. ADC - Especificaciones

- **Resolución:** es la cantidad mas pequeña de voltaje reconocida por el conversor.
- **Rango dinámico:** una medida del rango de voltajes de entrada que pueden ser convertidos.
- **Relación Señal-a-Ruido (S/N):** La relación del voltaje de entrada con respecto al ruido total en el sistema.

## 2. ADC – Codificación M-aria

- Bi-nario representa un dígito que tiene 2 niveles. Ej: 2 bits (1 y 0).
- M-ario representa un dígito que tiene M niveles.

$$N = \log_2(M)$$

$$2^N = M$$

N = número de bits necesarios

M = número de niveles, o combinaciones posibles con N bits

Para binario  $M=2 \rightarrow N=1$

## 2. ADC – Baudio

- Baudio es la medida es la razón de cambio de una señal sobre el medio de transmisión después que la codificación y la modulación han ocurrido.
- Un modo de medir la calidad de la señal en el transmisor, justo antes de ser transmitida.
- También conocido como símbolos por segundo

$$\text{baudio} = f_s = \frac{1}{t_s}$$

$f_s$  = rata de símbolos (símbolos por segundo)

$t_s$  = intervalo de tiempo de un símbolo



## 2. ADC – Bit-rate - Capacida

- Bit es el cambio del símbolo a la entrada del modulador.

$$f_b = f_s N = 2BN = 2B \log_2(M)$$

$f_b$  = bit-rate: bit por segundo (bps)

$f_s$  = baudio (símbolos por segundo)

$B$  = ancho de banda mínimo de Nyquist (hertz)

$M$  = numero de señales discretas o niveles de voltaje

$N$  = numero de bits codificados en cada símbolo

## 2. ADC – Ancho de Banda

- Para un sistema M-ario, sabemos que

$$f_b = f_s N = 2BN = 2B \log_2(M)$$

Entonces el ancho de banda es

$$B = \frac{f_b}{2 \log_2(M)} = \frac{f_b}{2N}$$

## 2. ADC – Capacidad de Información

- Representa el numero de símbolos independientes que pueden ser transportados a través del sistema en un unidad de tiempo dada.
- Utilizando el limite de Shannon para la capacidad de información, se define como

$$I = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) = 3.32 B \log_{10} \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

$$\log_a(N) = \frac{\log_b(N)}{\log_b(a)}, \quad a^P = N, \quad p = \log_a(N)$$

## 2. ADC – Capacidad de Información

Ejemplo: Un canal de comunicación estándar de voz tiene una potencia SNR de 1000 (30dB) y una señal con ancho de banda de 2.7kHz. Determinar la capacidad de información.

$$I = 3.32B \log_{10} \left( 1 + \frac{S}{N} \right) = (2.7\text{kHz})(3.32) \log_{10}(1 + 1000)$$

$$I = 26.9\text{kbps}$$

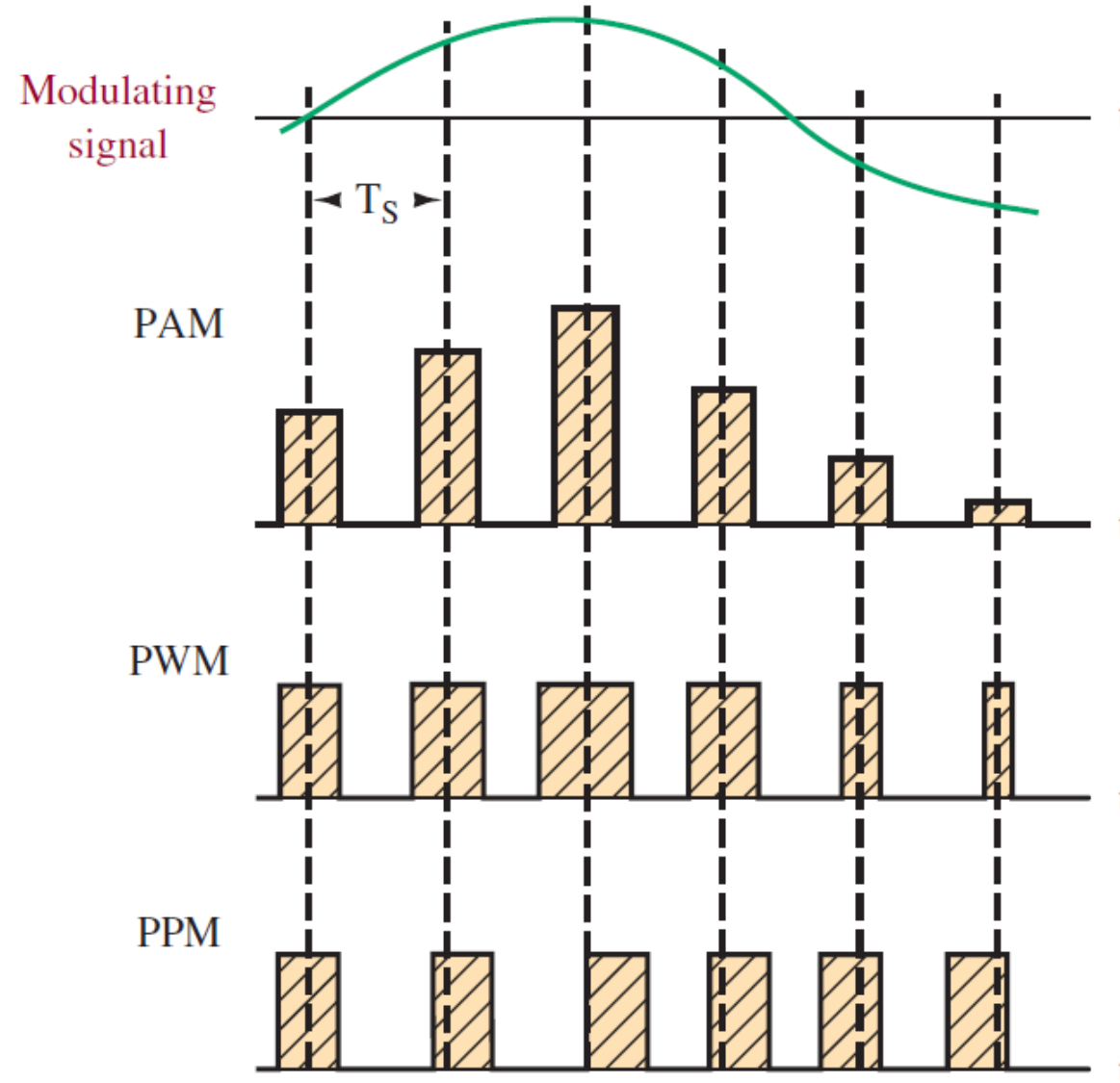
## 2. ADC – Capacidad de Información

**Ejercicio:** Un canal de comunicación estándar de voz tiene una potencia SNR de 20dB y una señal con ancho de banda de 3kHz. Determinar la capacidad de información.

$$I = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) = 3\text{kHz} \cdot 3.32 \cdot \log_{10}(1 + 100) = 19.96\text{kbps}$$

$$\frac{S}{N} = 20\text{dB} \Rightarrow 10^{20/10} = 100$$

# 3. ADC Modulación





## 3. ADC Modulación

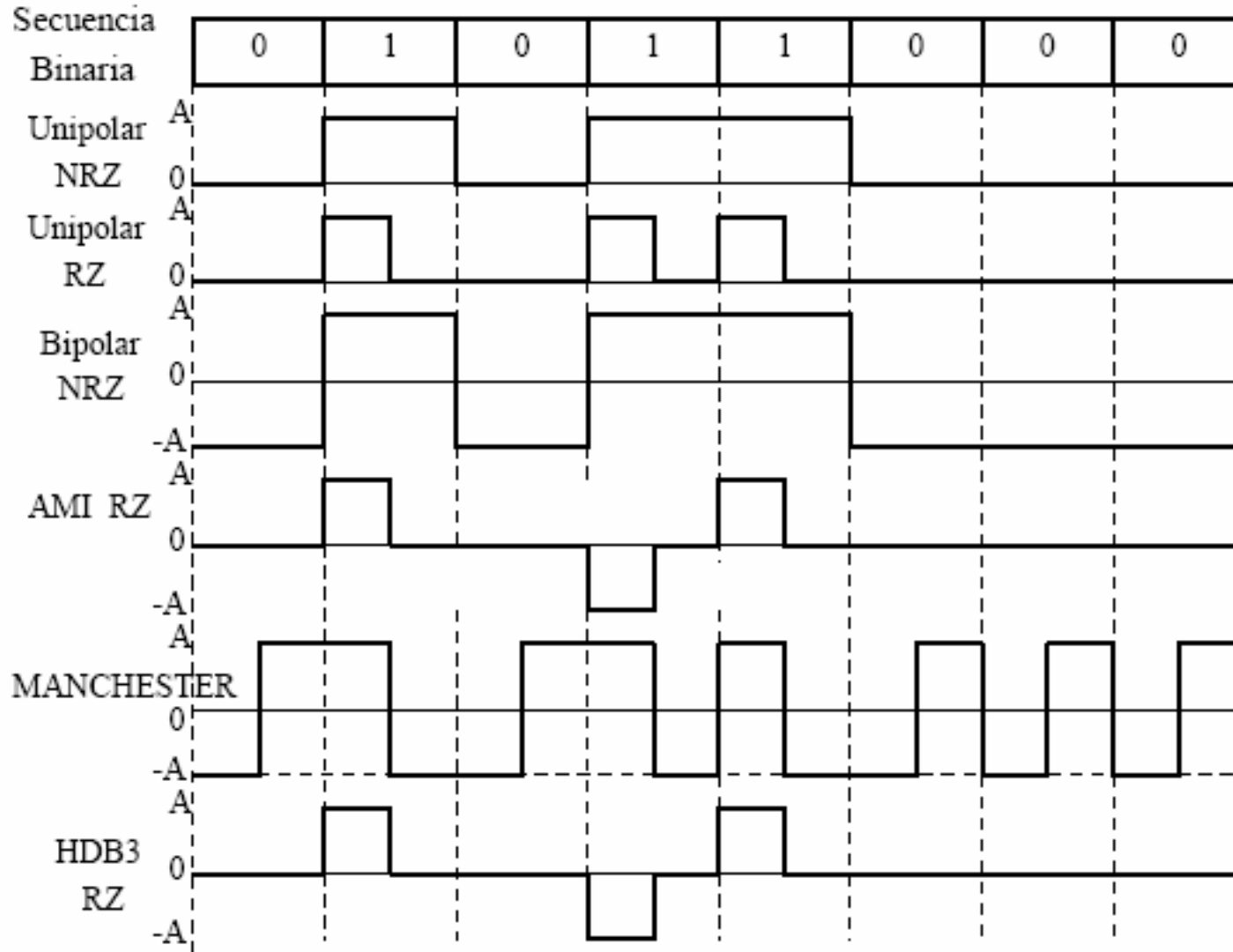
**PAM (Pulse Amplitude Modulation):** la amplitud del pulso denota la información análoga. Es una serie de pulsos en donde cada pulso representa la amplitud de la señal de información en un instante de tiempo dado.

### 3. ADC Modulación de Pulso

**PWM (Pulse Width Modulation):** el ancho del pulso varia de manera proporcional a la amplitud de la señal análoga en el instante de muestreo.

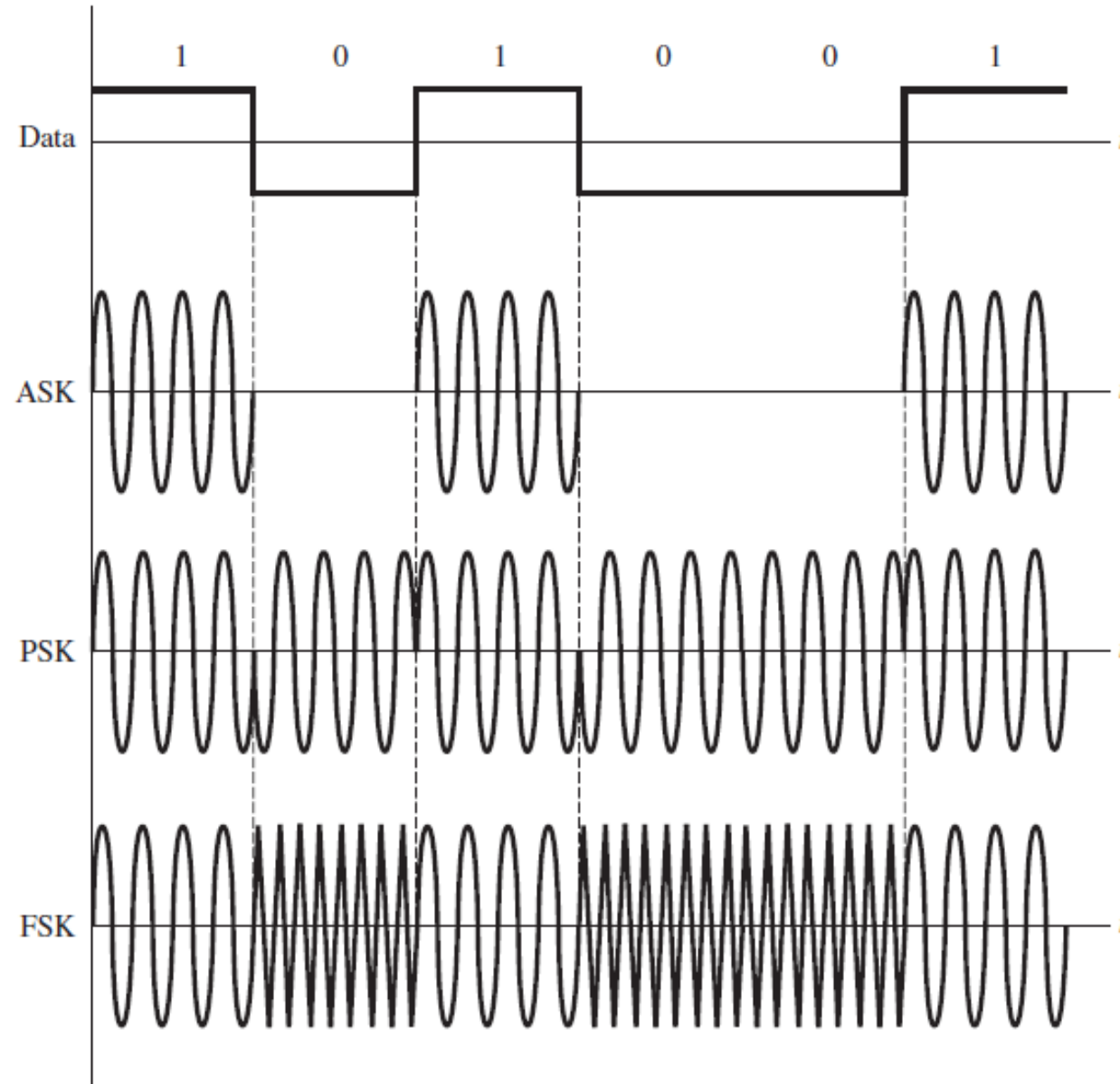
**PPM (Pulse Position Modulation):** es una serie de pulsos donde el tiempo de cada pulso representa la amplitud de la señal análoga en un instante de tiempo dado.

## 4. Codificación de línea



RZ: Return to Zero.  
NRZ: No RZ.

# 5. Modulación Digital



## 5. Modulación Digital de Amplitud

La técnica de modulación más sencilla es la modulación digital de amplitud., que corresponde a AM-DSB.

$$v_{\text{ask}}(t) = [1 + v_m(t)] \left[ \frac{A}{2} \cos(\omega_c t) \right]$$

$v_{\text{ask}}(t)$  = voltaje de la onda de amplitud modulada

$\frac{A}{2}$  = amplitud de la portadora no modulada (volts)

$v_m(t)$  = señal binaria moduladora (volts)

$\omega_c t$  = frecuencia de la portadora en radianes (rad por segundo)

## 5. ASK – On-Off Keying

$v_m(t)$  es un código de línea NRZ. Entonces

Cuando  $v_m(t) = 1$

$$v_{\text{ask}}(t) = [1 + 1] \left[ \frac{A}{2} \cos(\omega_c t) \right] = A \cos(\omega_c t)$$

Cuando  $v_m(t) = -1$

$$v_{\text{ask}}(t) = [1 - 1] \left[ \frac{A}{2} \cos(\omega_c t) \right] = 0$$



# 5. Modulación Digital de Amplitud

Aplicaciones:

ASK se usa en fibra óptica, RFID, NFC.

OOK por su consumo menor, se emplea en controles remotos, y también en fibra óptica.

## 5. Modulación Dig. De frecuencia

Similar a su homologo análogo, se define la modulación digital en frecuencia, FSK (Frequency Shift Keying) como

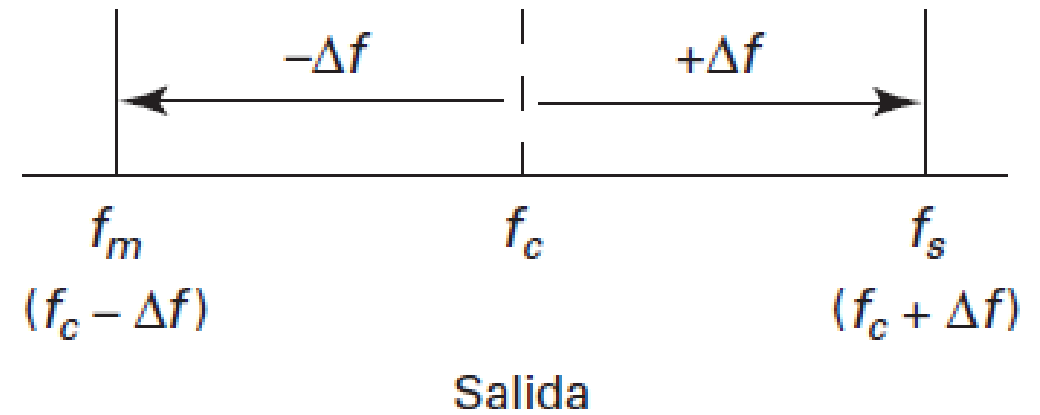
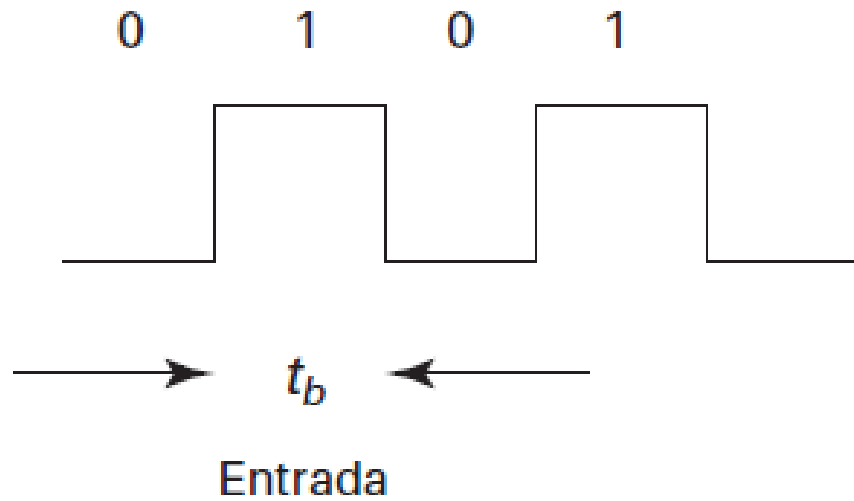
$$v_{fsk}(t) = V_c \cos(2\pi(f_c + v_m(t)\Delta f)t)$$

$v_{fsk}(t)$  = voltaje de la onda modulada en frecuencia

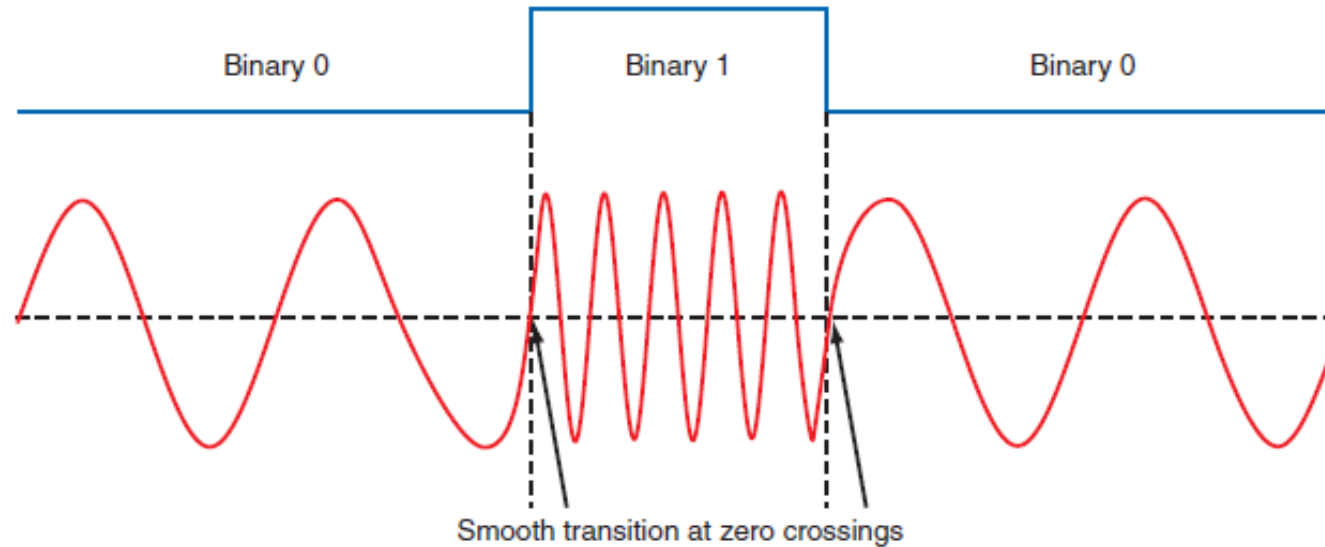
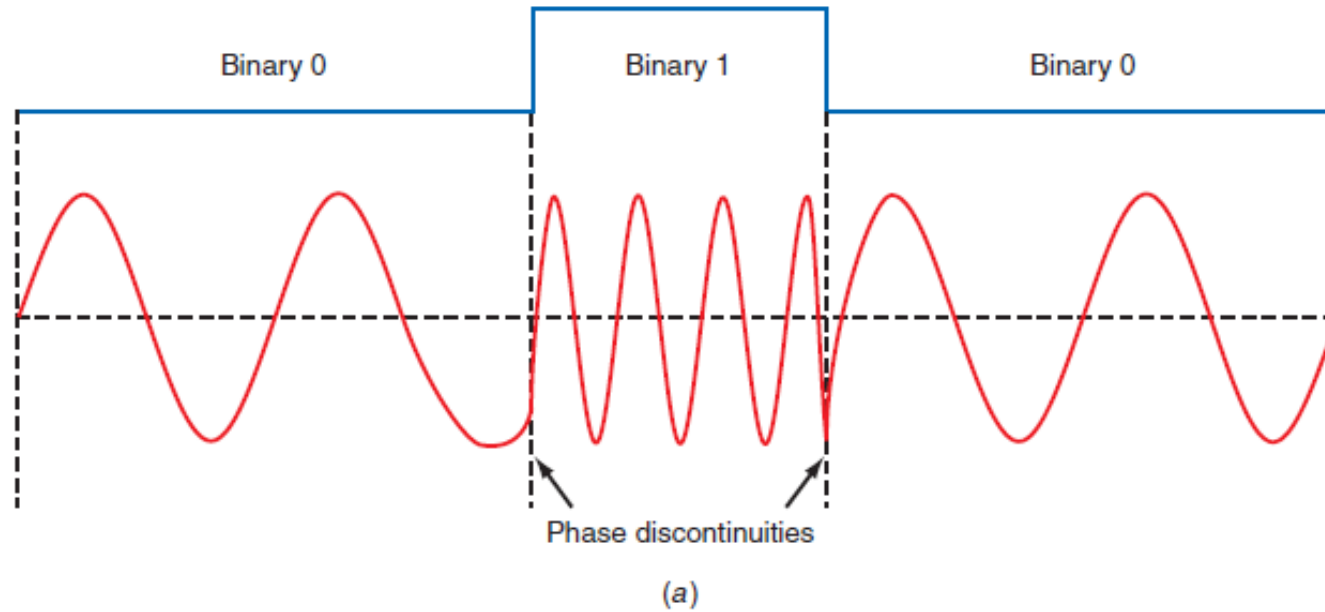
$\Delta f$  = desviación de frecuencia (hertz)

$v_m(t)$  = señal binaria moduladora (volts)

# 5. Modulación Dig. De frecuencia



# 5. Modulación Dig. De frecuencia



## 5. Modulación Dig. De frecuencia

En FSK, el índice de modulación es

$$\Delta f = \frac{|f_m - f_s|}{2}$$

$\Delta f$  = desviación máxima de frecuencia (hertz)

$f_m$  = frecuencia de marca (hertz)

$f_s$  = frecuencia de espacio (hertz)

## Bibliografía

- FRENZEL, Louis. (2016) Principles of Electronic Communication Systems. 4<sup>th</sup> Edition.
- WAYNE, Tomásí. (2003) Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. 4<sup>a</sup> ed. Prentice Hall.