

# TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Ingeniería en Sistemas Computacionales

Fundamentos de Telecomunicaciones

Unidad III: Modulación

Material de clase desarrollado para la asignatura de **Fundamentos de Telecomunicaciones**  
para Ingeniería en Sistemas Computacionales

**FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES**

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

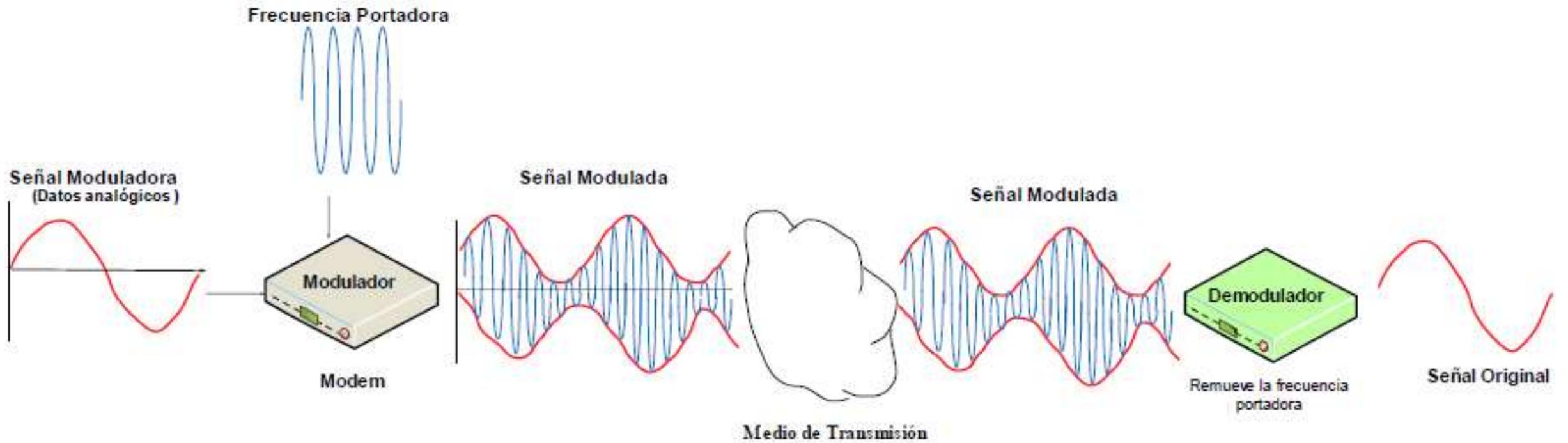
Unidad	Temas	Subtemas
3	Modulación	<p>3.1 Técnicas de modulación analógica: Modulación en amplitud (AM) y modulación en frecuencia (FM).</p> <p>3.2 Técnicas de modulación digital: Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK), modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK), modulación por desplazamiento de fase (PSK) y modulación de amplitud en cuadratura (QAM).</p> <p>3.3 Conversión analógico – digital: Muestreo, cuantización y codificación.</p> <p>3.4 Códigos de línea: RZ, NRZ, NRZ-L, AMI, pseudo-ternaria, Manchester, Manchester diferencial, B8ZS, HDB3, entre otros.</p> <p>3.7 Modem, estándares y protocolos</p>

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

## Técnicas de modulación analógica

- **Modulación:** Es el proceso de modificar una señal de alta frecuencia de acuerdo a una señal de señal de frecuencia baja, con el fin de transmitir datos (texto, voz, audio, video). Estas dos señales pasan a través de un dispositivo modulador, resultando en una señal combinada.
- La señal de frecuencia baja (7khz-30 kHz) recibe el nombre de señal pasabanda o **señal moduladora**, la señal de alta frecuencia (3 - 30 GHZ), recibe el nombre de **frecuencia portadora** o simplemente portadora. La señal resultante, después de pasar por el modulador recibe el nombre de **señal modulada**.

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES



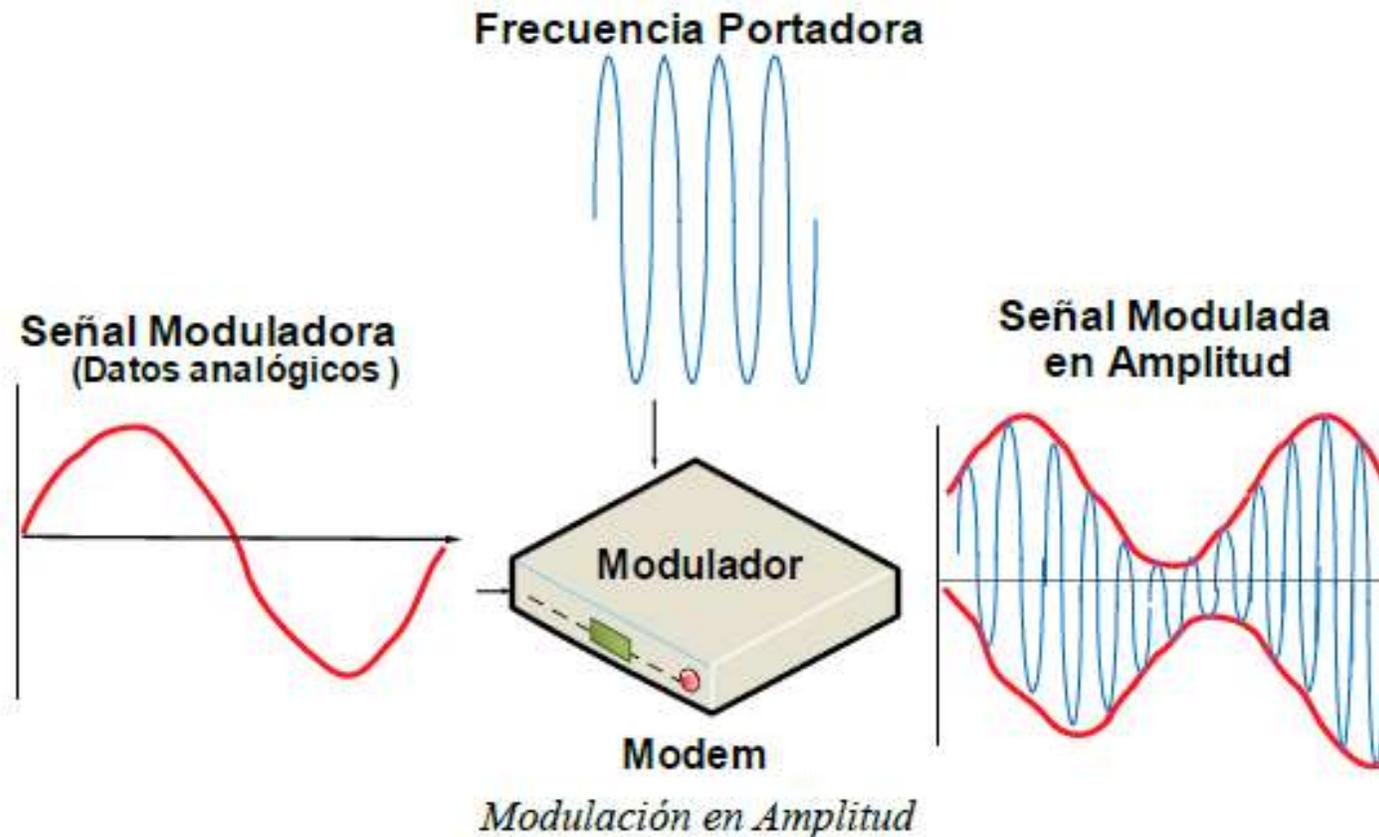
*Proceso de Modulación y Demodulación*

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

- Existen tres tipos básico de modulación (para datos analógicos y señales analógicas) que son: Modulación en Amplitud ( *Amplitude Modulation - AM*), Modulación en Frecuencia (*Frecuency Modulation FM*) y Modulación en Fase (*Phase Modulation - PM*).
- La modulación se realiza en el transmisor. la señal modulada resultante es enviada al receptor. En el receptor se realiza el proceso de **demodulación**, el cual consiste en remover la frecuencia portadora de la señal modulada, recuperando la señal original (los datos).

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

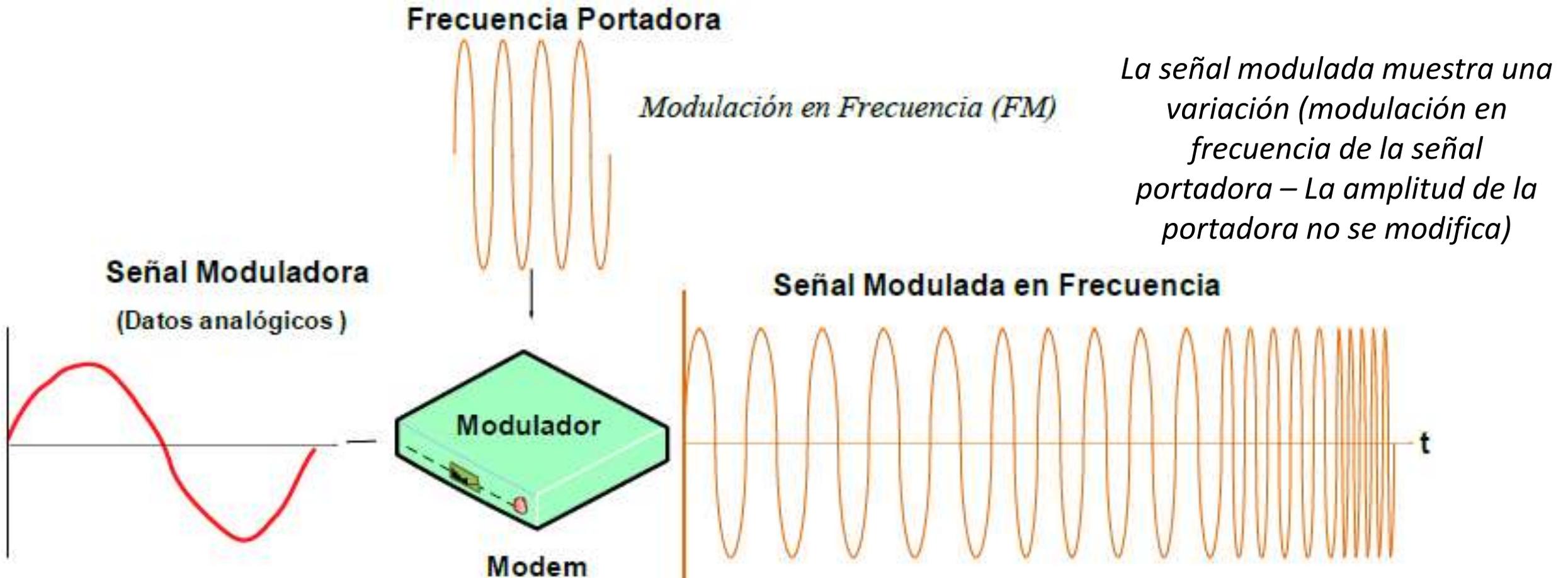
- **Modulación en Amplitud (AM):** La frecuencia portadora varía su **AMPLITUD**, de acuerdo a las variaciones en amplitud de la señal moduladora. Lo anterior da como resultado (en la salida del modulador) una **señal modulada en amplitud**.



La señal modulada muestra variaciones en amplitud de la frecuencia portadora, de acuerdo a la amplitud de la señal moduladora

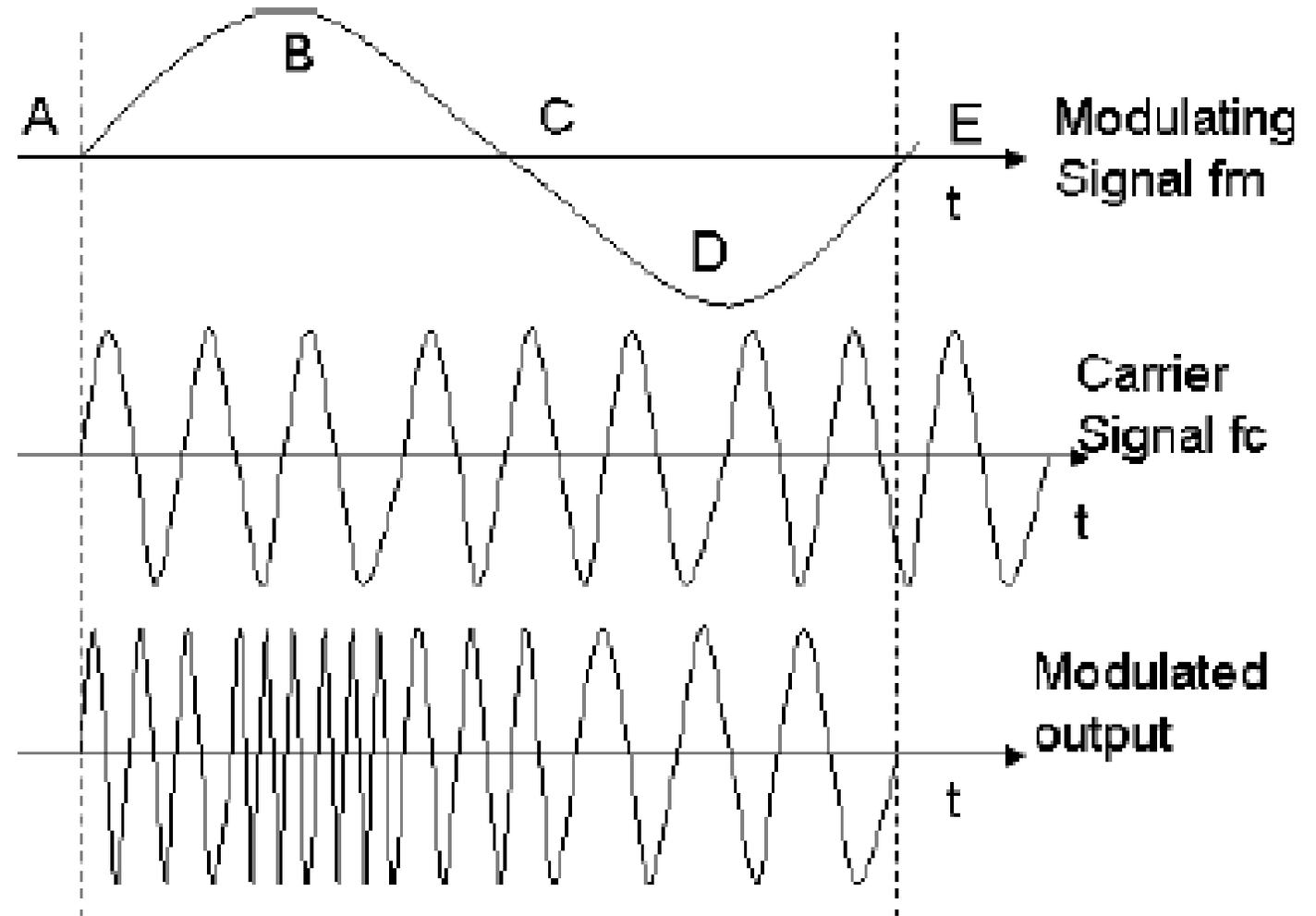
# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

- **Modulación en Frecuencia (FM):** La frecuencia portadora cambia de acuerdo al signo y a la amplitud de la señal moduladora. La amplitud de la portadora no es afectada (mantiene la misma amplitud de la señal moduladora)



# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

En la siguiente figura se muestran las diferentes variaciones de la portadora, con respecto a la señal moduladora



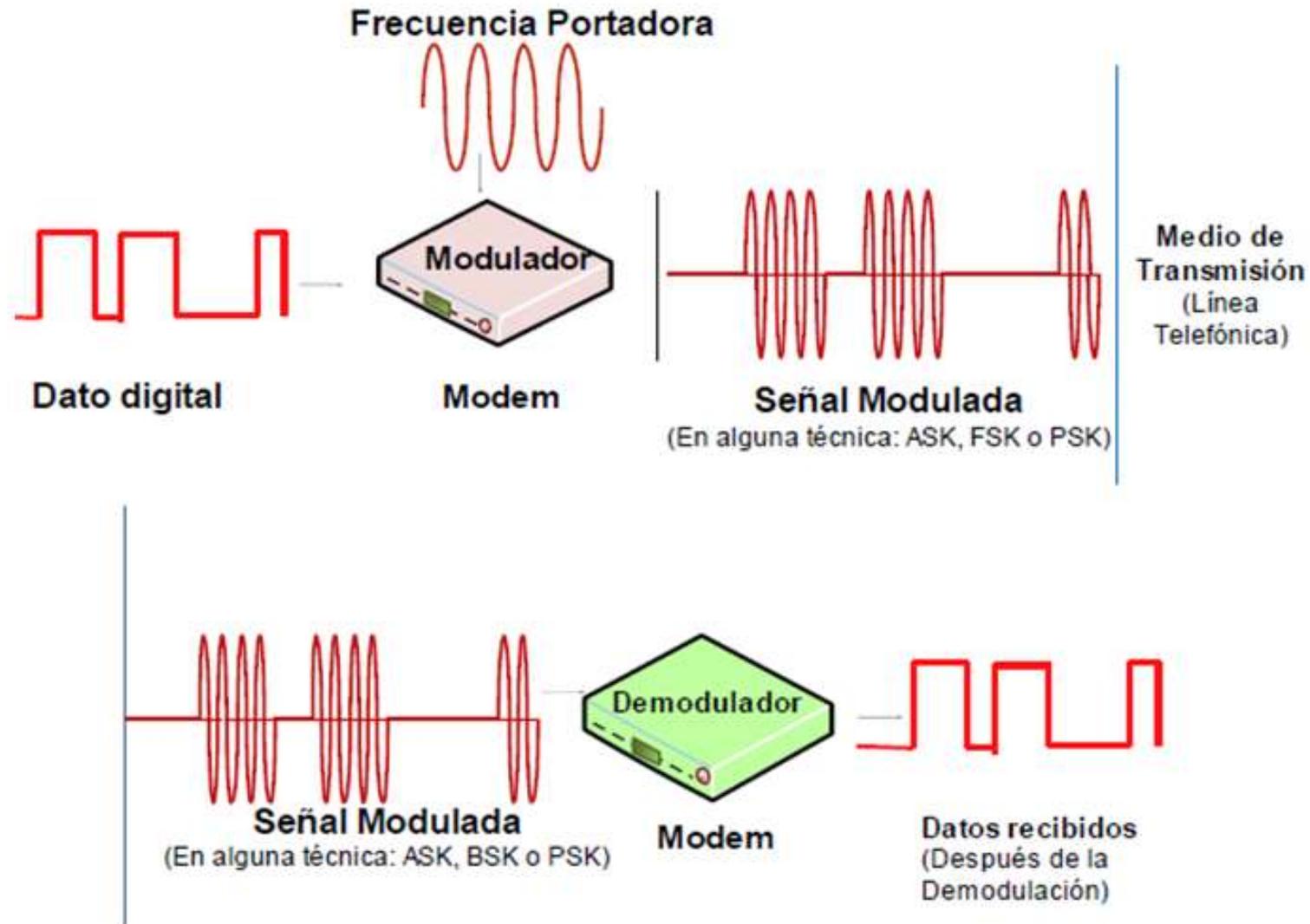
*Variaciones en amplitud y signo en la Modulación en Frecuencia*

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

## Técnicas de Modulación Digital

- La red telefónica comercial fue diseñada para recibir, conmutar y transmitir señales analógicas en el rango de frecuencias de voz (300 a 3400 Hz).
- Anteriormente no era posible recibir señales digitales del extremo emisor y transmitir las directamente, de tal forma que surgió la necesidad de agregar dispositivos digitales que convirtieran los datos digitales a señales analógicas antes de transmitirlos.
- El dispositivo que realiza la conversión de datos digitales a señales analógicas es el **modem**, (el cual consta de dos dispositivos principalmente: **modulador** –convierte datos digitales a señales analógicas en el extremo transmisor y el **demodulador** – el cual convierte de señales analógicas a señales digitales en el extremo receptor).

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES



Datos Digitales Señales Analógicas

*Esquema general de Modulación y Demodulación datos digitales y señales analógicas*

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

Existen cuatro técnicas de modulación (llamada también **Modulación Digital**) para transformar datos digitales en señales analógicas:

- Modulación por Desplazamiento de Amplitud (*Amplitude Shift Keying – ASK*)
- Modulación por Desplazamiento de Frecuencia (*Frequency Shift Keying – FSK*)
- Modulación por Desplazamiento de Fase (*Phase Shift Keying – PSK*)
- Modulación de Amplitud en Cuadratura (Quadrature Amplitude Modulation-**QAM**).

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

## Modulación por Desplazamiento de Amplitud (*Amplitude Shift Keying – ASK*)

- En esta técnica los dos valores binarios de los datos de entrada, son representados por dos diferentes amplitudes de la frecuencia portadora.
- La técnica ASK se emplea para transmitir sobre fibra óptica con tecnología LED (*light emitting diode*). Para un valor de '0', la señal portadora tiene una amplitud:  
de cero, para un valor de '1', la portadora presenta una amplitud máxima constante

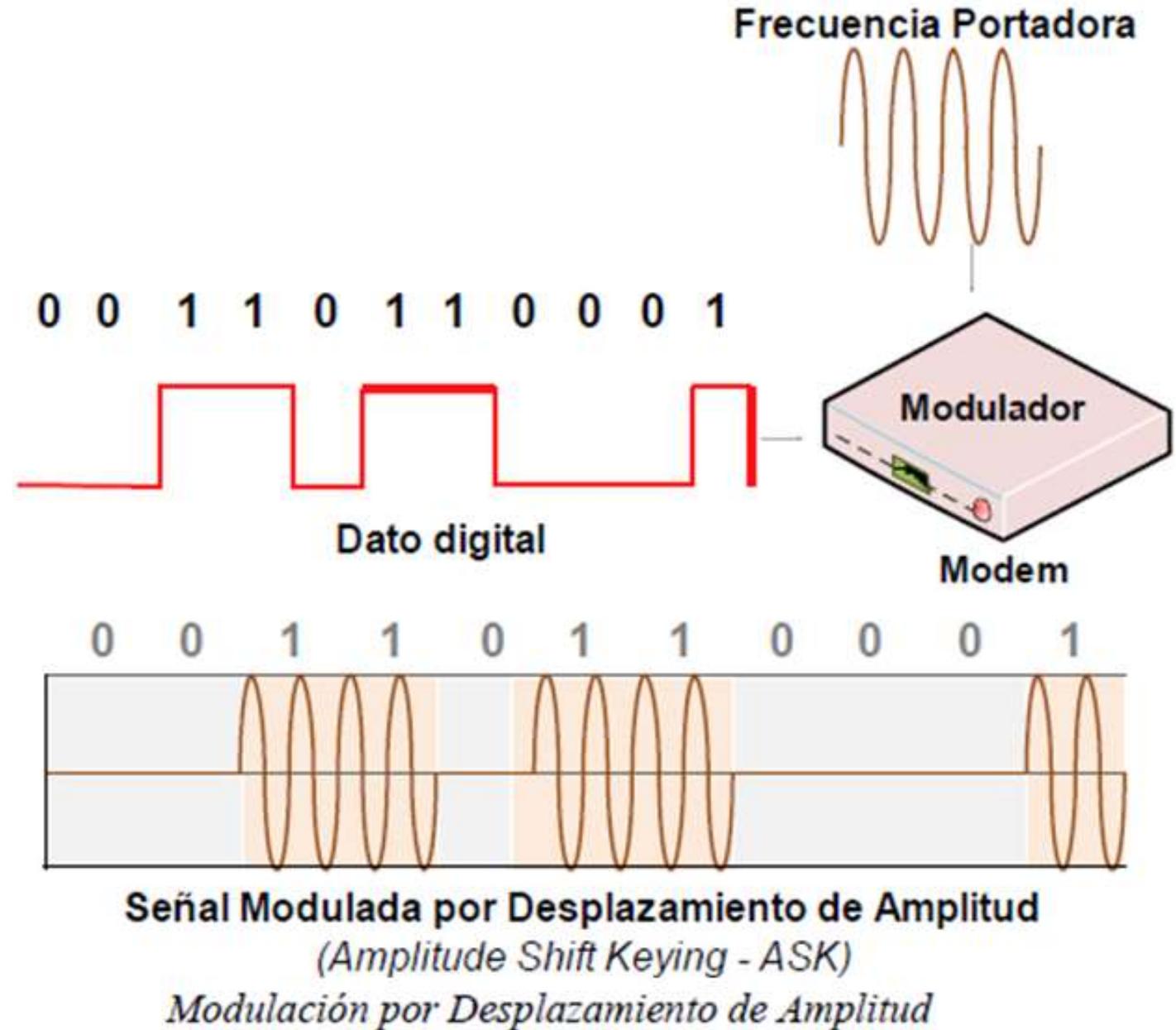
*'0' = Amplitud cero de la portadora*

*'1' =  $A \cos(2\pi fct)$  – Amplitud máxima constante de la portadora*

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

En la figura anterior se observa donde inicia la portadora cuando el dato es 1

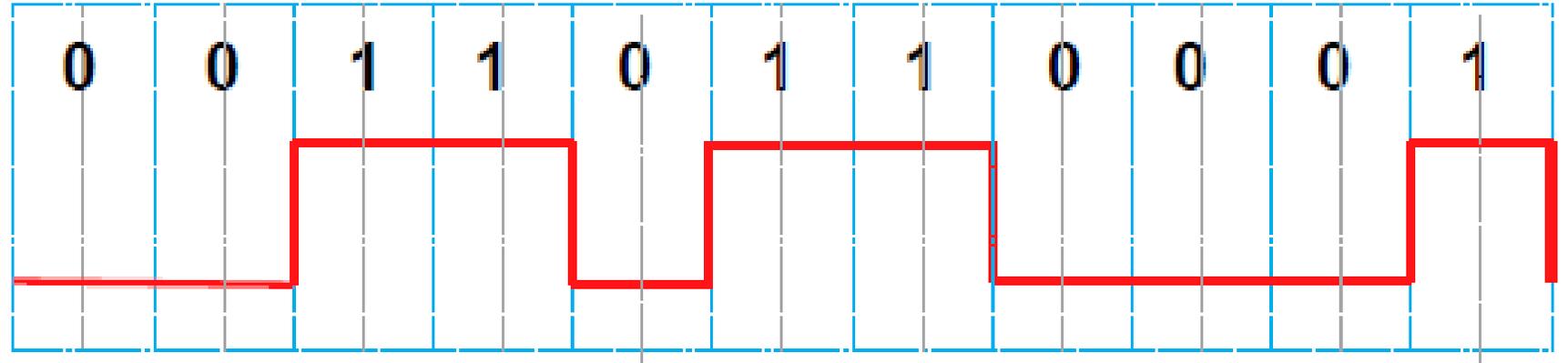
(esto se debe al valor  $\text{Acos}(2\pi fct)$ )



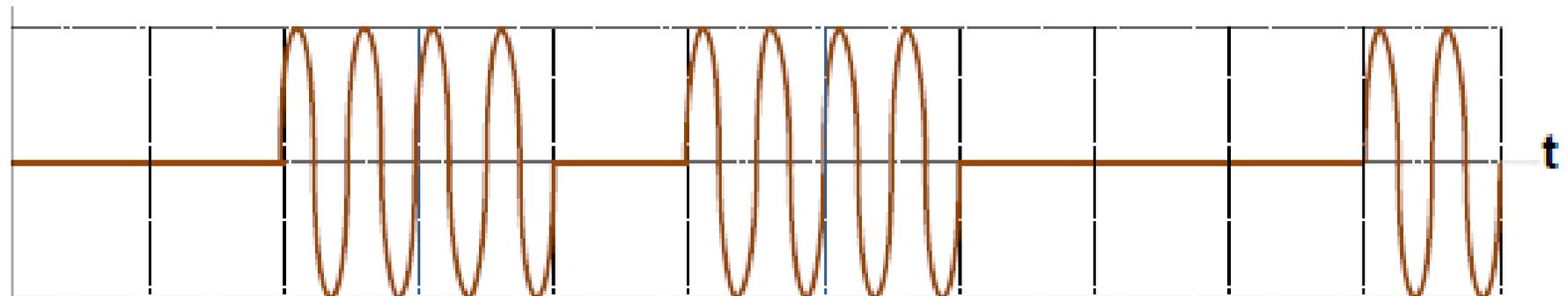
# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

## *Desplazamientos en Amplitud en ASK*

**Dato digital**  
de entrada



**Amplitud**



**Señal Modulada por Desplazamiento de Amplitud (ASK)**

"0" = Cero amplitud de la portadora

"1" = máxima amplitud de la portadora

En la sig. Figura se muestran los 'Desplazamientos' en amplitud de la frecuencia portadora de la señal modulada, de acuerdo a los valores de los datos digitales de entrada

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

## Modulación por desplazamiento de Frecuencia (*Frequency Shift Keying –FSK*)

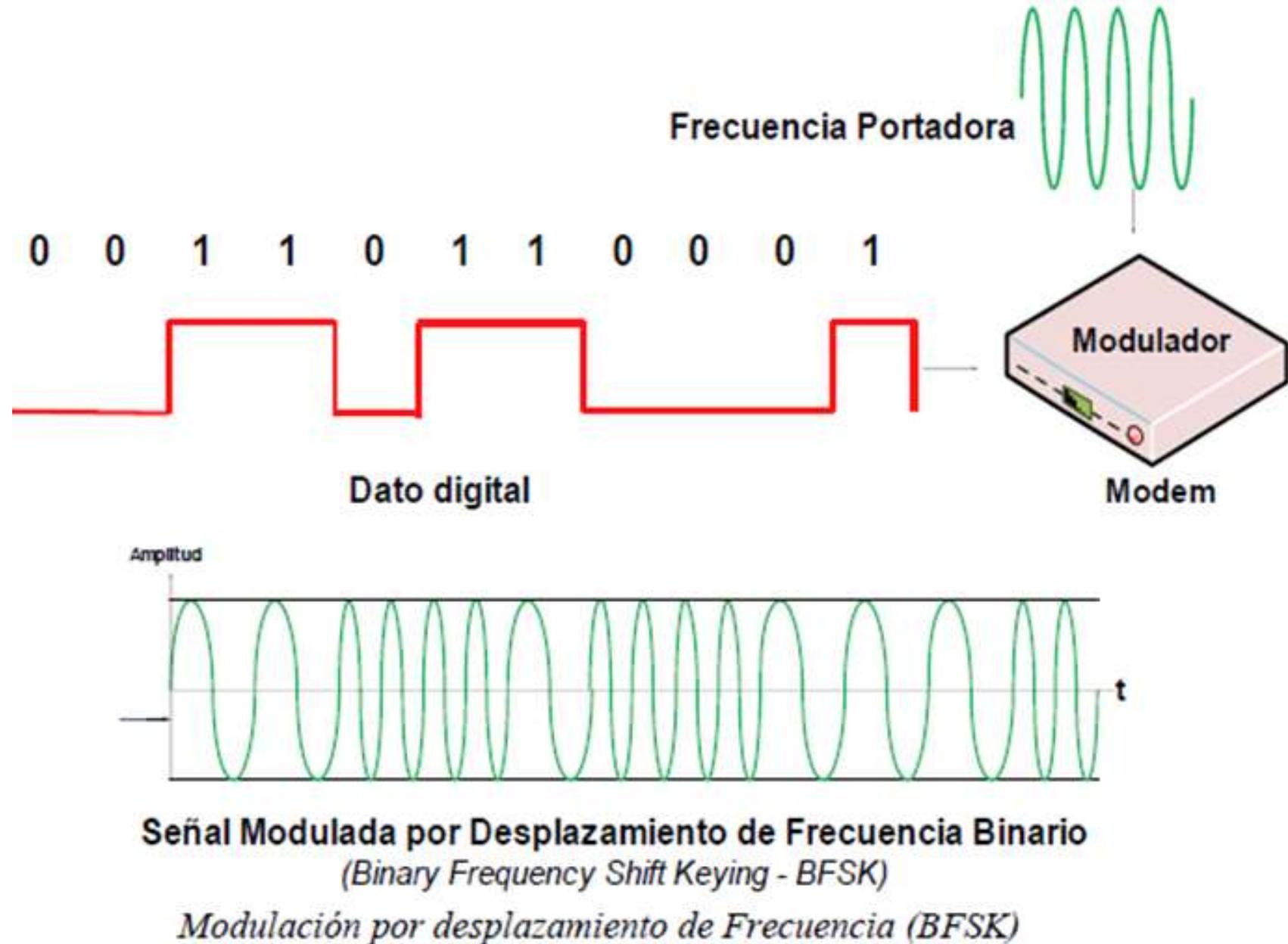
- La forma más común de esta técnica se denomina Modulación por desplazamiento de frecuencia Binaria (*Binary Frequency Shift Keying –BFSK*) en la cual dos valores binarios ( 1 y 0)son representados por dos diferentes frecuencias ( $f_1$  y  $f_2$  las cuales tiene desplazamientos cercanos a la frecuencia portadora cuyos valores son de la siguiente forma:

0 =  $f_2$  (frecuencia cercana a la portadora)

1 =  $f_1$  (en donde  $f_1 = 2f_2$ ).

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

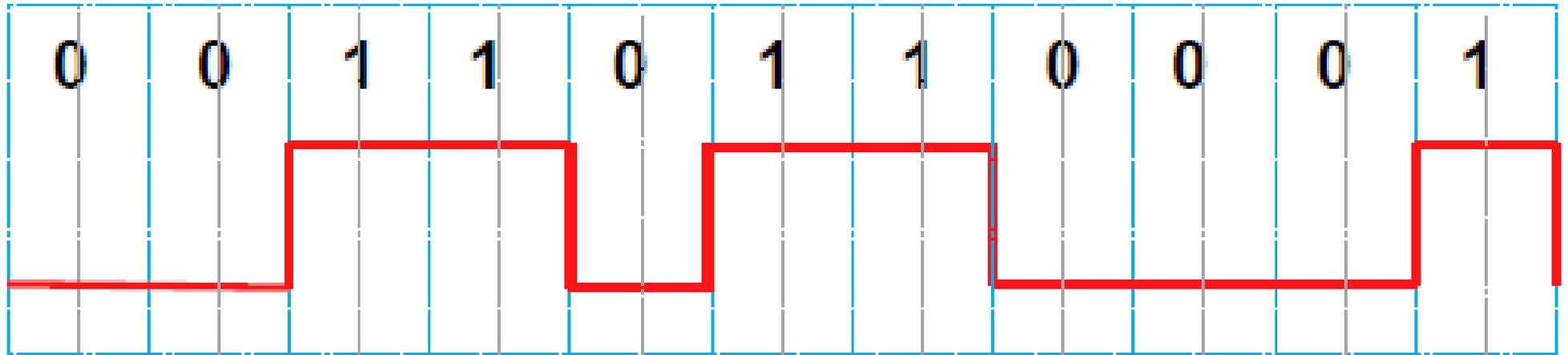
La técnica BFSK, es usada para velocidades de 1200 bps; también para transmisiones de alta frecuencia (3 a 30 MHz) y para aplicaciones en redes de área local con cable coaxial.



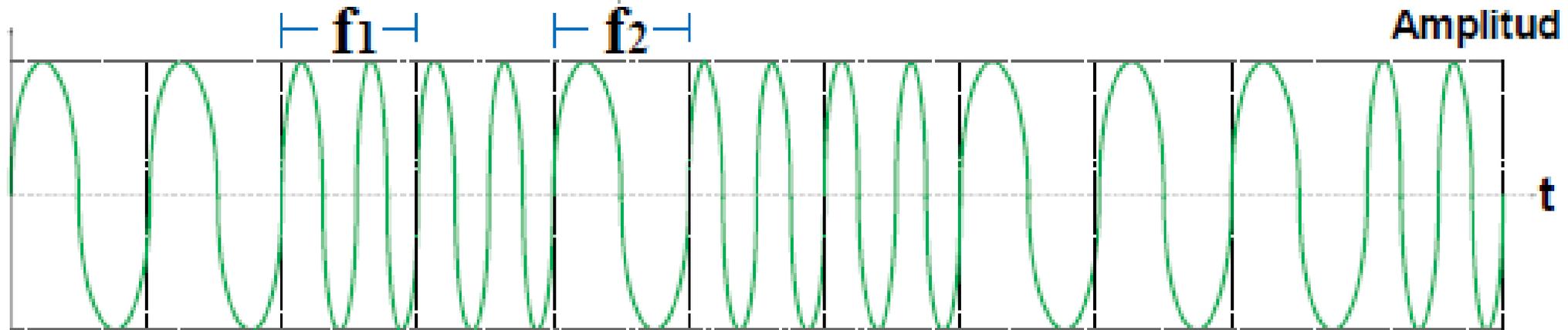
# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

*Desplazamientos de frecuencia (BFSK) de acuerdo a los datos digitales de entrada*

**Dato digital de entrada**



En esta figura se muestran los desplazamientos de frecuencia (BFSK) de acuerdo a los datos digitales de entrada



**Señal Modulada por desplazamiento de Frecuencia Binaria (BFSK)**

## Modulación por Desplazamiento de Fase

*(Phase Shift Keying – PSK)*

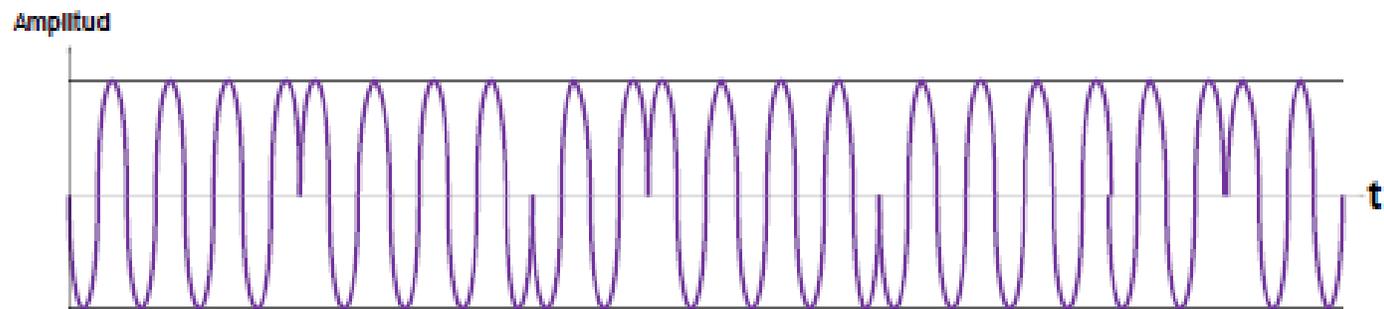
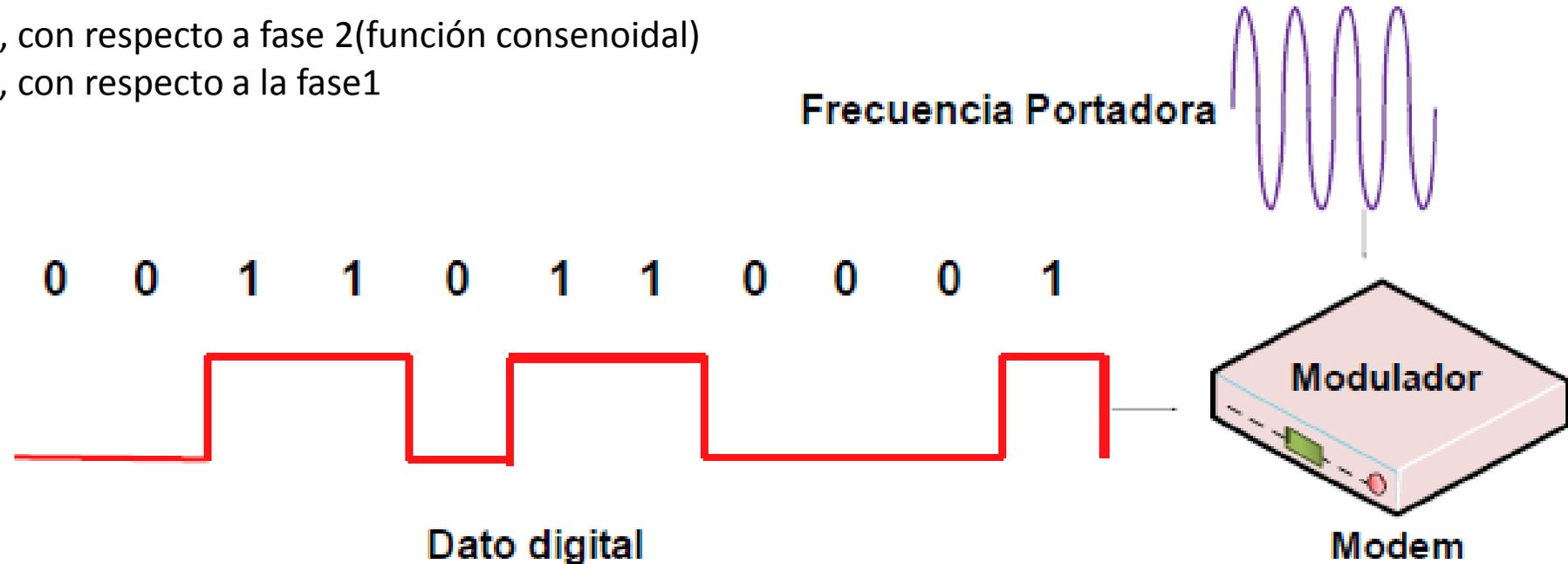
- En la Modulación PSK , la portadora tiene corrimientos (desplazamientos) de la fase, El esquema más simple de PSK usa dos fases para representar dos dígitos binarios . Esta técnica es conocida como **Modulación por Desplazamiento de Fase binaria** (*Binary Phase Shift Keying – BPSK*). En la figura 6, se muestra un esquema general de Modulación por Desplazamiento de Fase Binaria.

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

'0' = fase 1, desplazamiento de  $180^\circ$ , con respecto a fase 2 (función cosenoidal)

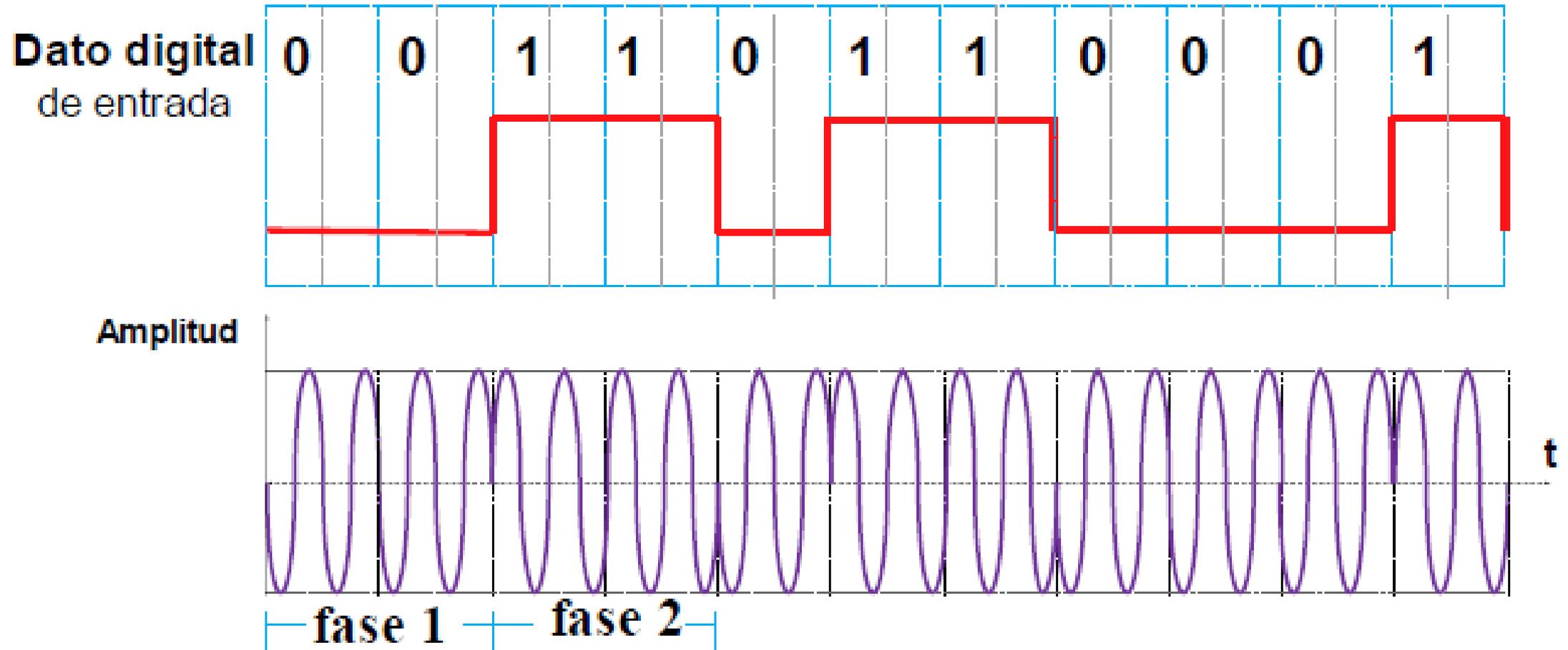
'1' = fase 2, desplazamiento de  $180^\circ$ , con respecto a la fase 1

Se muestran los desplazamientos de fase de la frecuencia portadora de acuerdo a los valores binarios de los datos de entrada. Los valores de las dos fases de la portadora son de la siguiente forma:



**Señal Modulada por Desplazamiento de Fase Binario**  
(Binary Phase Shift Keying - BPSK)

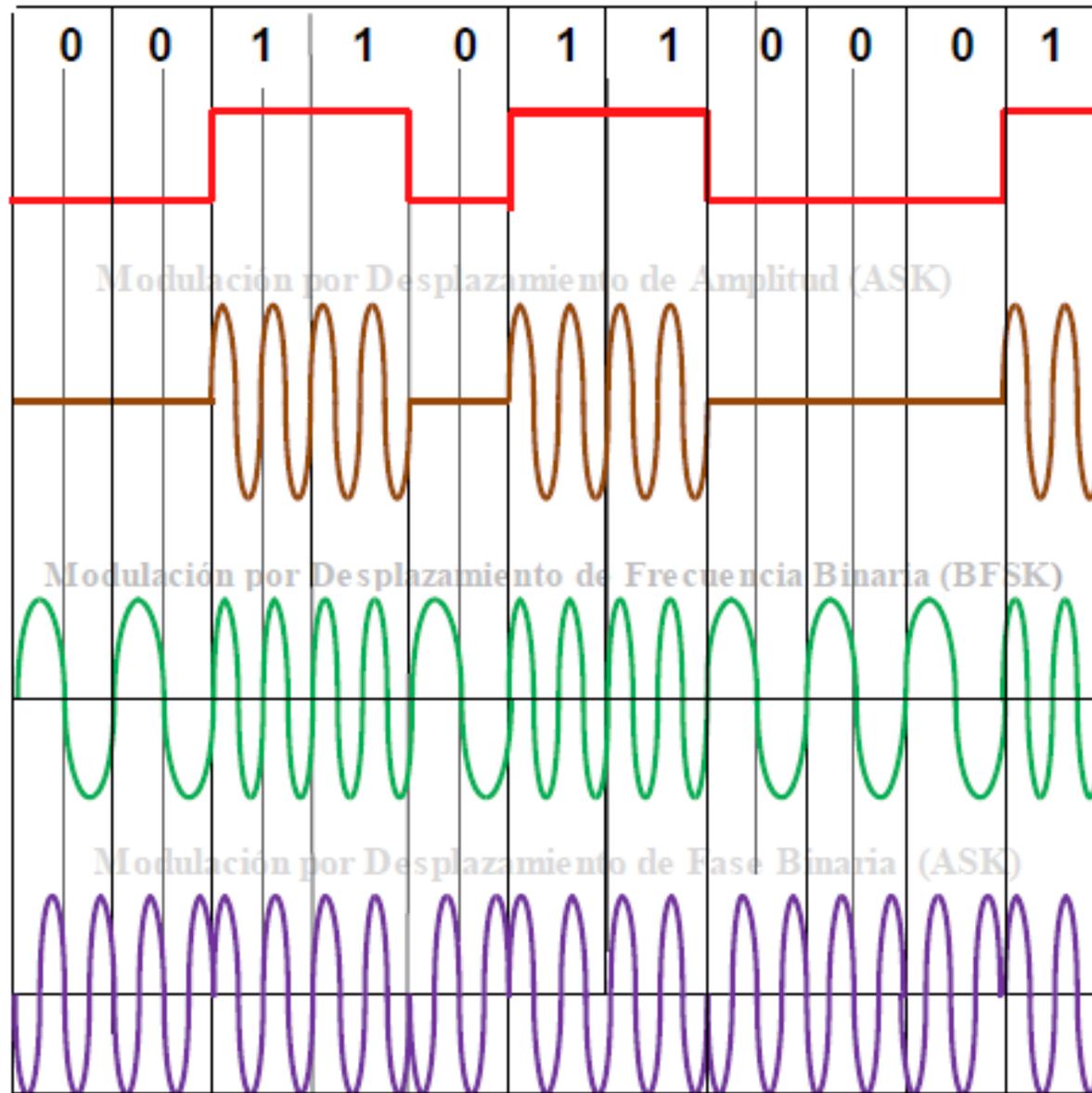
# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES



**Señal Modulada por Desplazamiento de Fase Binaria (BPFK)**

*Desplazamientos de las dos fases*

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES



*Esquemas de Modulación ASK, BFSK, BPSK*

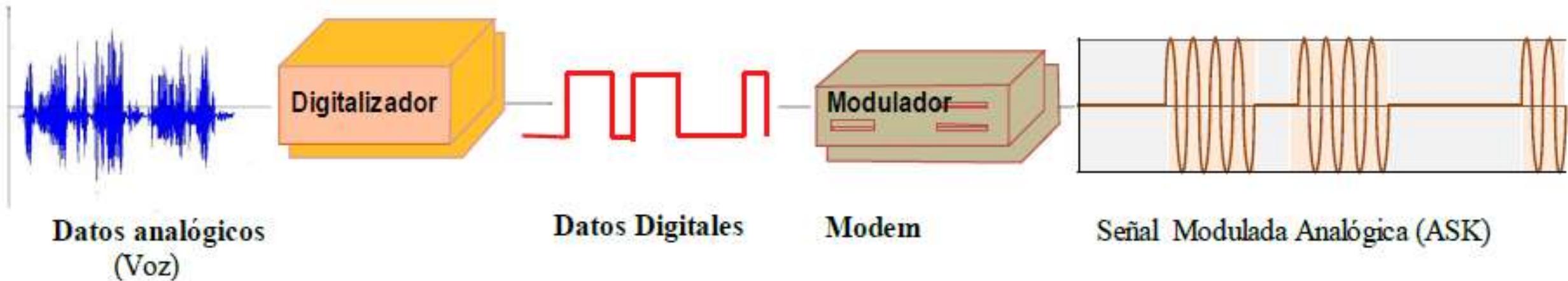
# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

## Conversión analógico a digital (*Datos analógicos -> señales digitales*)

- Primero se realiza la **Digitalización** (proceso de convertir de datos analógicos a datos digitales). El dispositivo que convierte los datos analógicos a datos digitales se le nombra **CODEC ( COder –DECoder)** o **digitalizador**. Una vez que se tiene los datos digitales se tienen varias opciones:
  - Convertir a señales digitales y transmitirlos por algún esquema de codificación.
  - Convertir a señales analógicas y transmitirlos por algún esquema de modulación.

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

## Proceso de digitalización y modulación digital



Hay dos técnicas para convertir datos analógicos en datos digitales

1. **Modulación por código de Pulsos (PCM –*Pulse Code Modulation*)**
2. **Modulación Delta**

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

- Las dos técnicas están basadas en el teorema de muestreo:

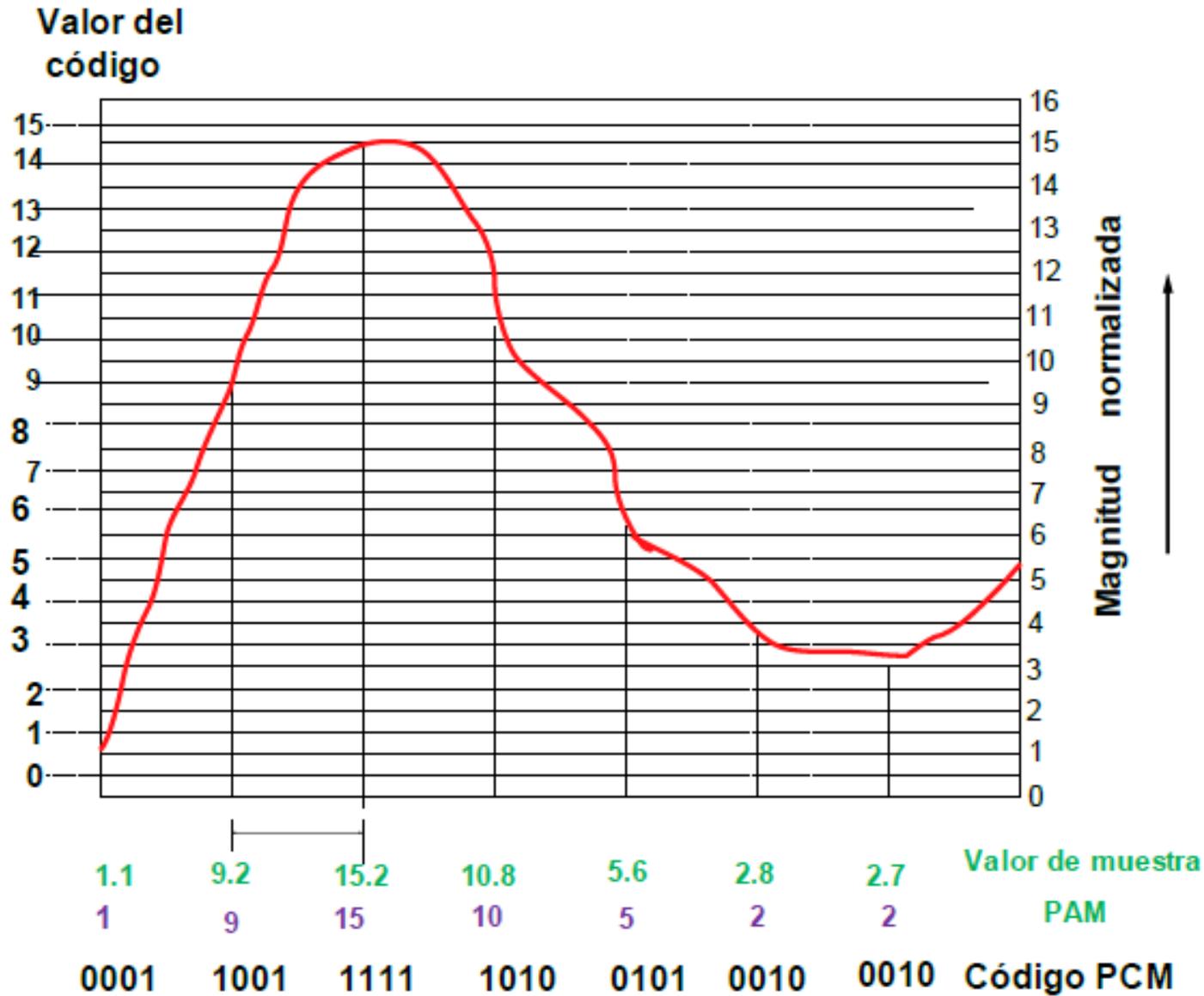
*“ Si una señal es muestreada a un número de intervalos regulares mayor que el **doblo de la frecuencia mas alta de esa señal**, entonces las muestras contienen toda la información de la señal original”*

- Ejemplo: una señal de 3800 Hz, requiere 8000 muestras por segundo.

## Modulación PCM

- Se obtiene a partir de los tres pasos siguientes:
  - a) se obtienen muestras PAM intervalos iguales
  - b) se normalizan las muestras
  - c) se obtiene el valor binario del código PCM
- Para este ejemplo cada muestra es representada por 4 bits

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES



*Modulación PCM*

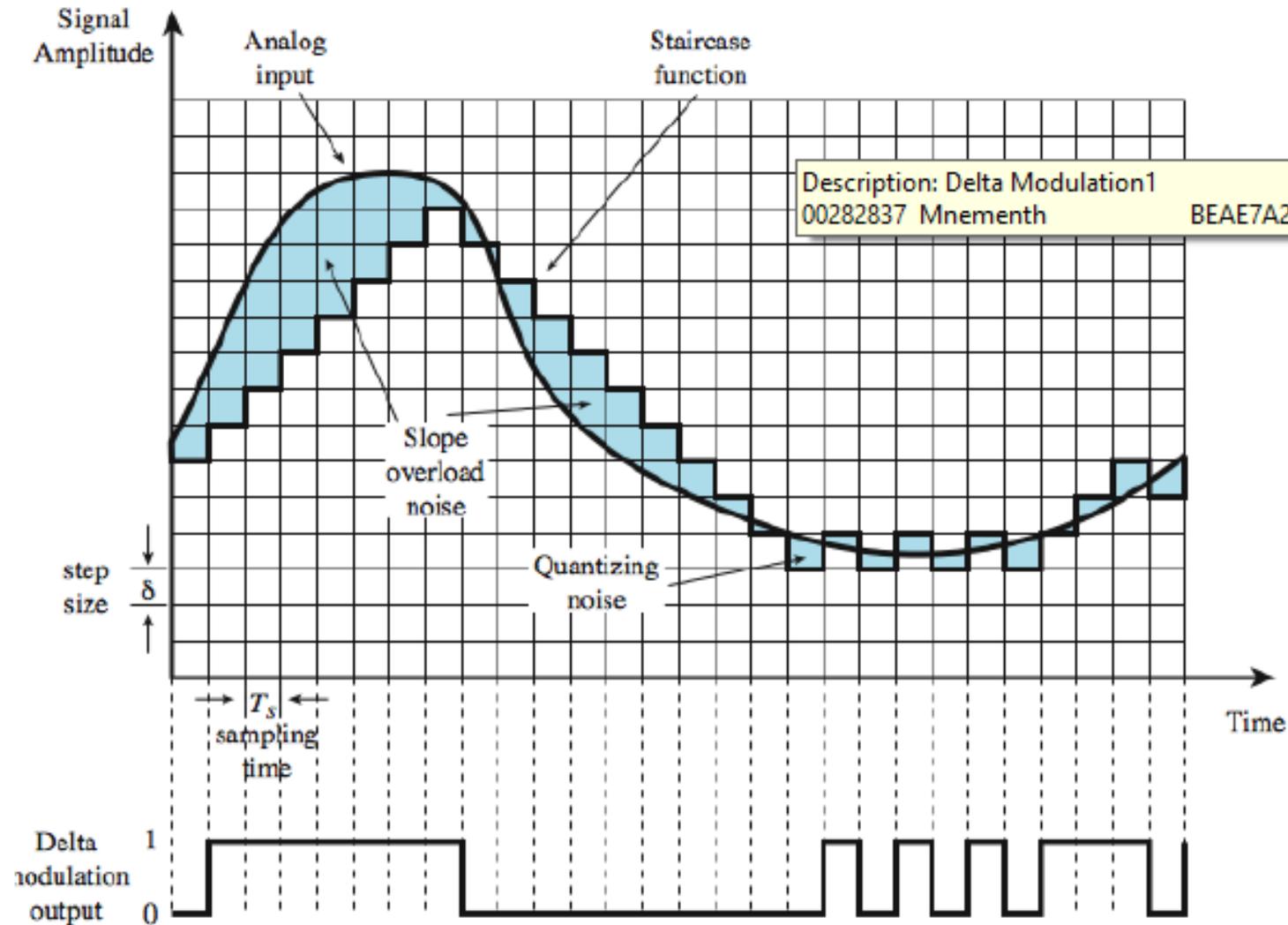
# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

## Modulación Delta

- Ya que la modulación PCM es no lineal ( el espaciamiento entre muestras puede variar) surge la técnica de Modulación Delta, la cual aumenta el rendimiento de PCM y reducir su complejidad.
- La señal analógica se muestrea usando una función de escalera (la amplitud y período son iguales en cada muestra). La función escalera puede moverse un nivel (abajo o arriba) en cada intervalo de la muestra. Tiene un comportamiento binario: puesto que la función solamente se mueve un paso hacia arriba o abajo en cada muestra, entonces cada muestra se puede representar como un bit (como se observa en la siguiente figura), con los valores:

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

“1” = movimiento de la muestra hacia arriba.  
“0” = movimiento de la muestra hacia abajo.



Modulación delta

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

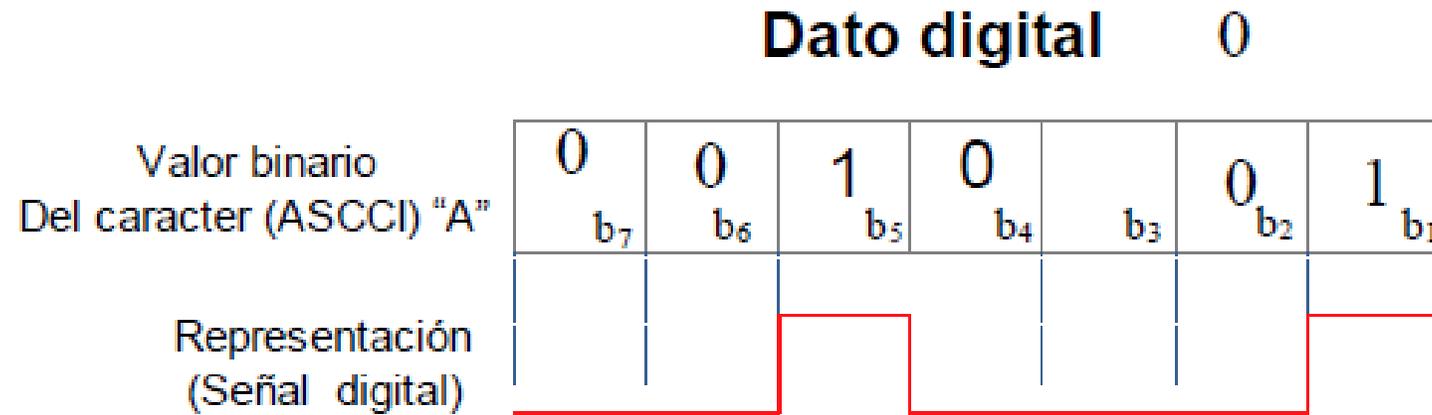
## Códigos de línea (*Datos Digitales - Señales Digitales*)

- También se conoce como **modulación en banda base** o **codificación digital**. Existen diferentes técnicas de Codificación digital, las cuales se describen a continuación:
  - Return –To-Zero (RZ) – *Regreso a Cero*
  - Return To Zero Invertde (RZI) – *Regreso – a-Cero- Invertido*
  - Nonreturn to Zero-Level (NRZ-L) – *No Regreso a Nivel- Cero*
  - Nonreturn to Zero Inverted (NRZI) – *No Regreso A Cero – Invertido*
  - Bipolar –AMI (*alternate Mark Inversion*)- *Bipolar Ami*
  - Pseudoternario
  - Manchester
  - Manchester Diferencial
  - Bipolar with 8-zeros substitution (B8ZS) – *Bipolar con substitución de 8 ceros*
  - High-density bipolar-3 zeros (HDB3) *Bipolar de alta densidad de tres ceros*

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

## Terminología:

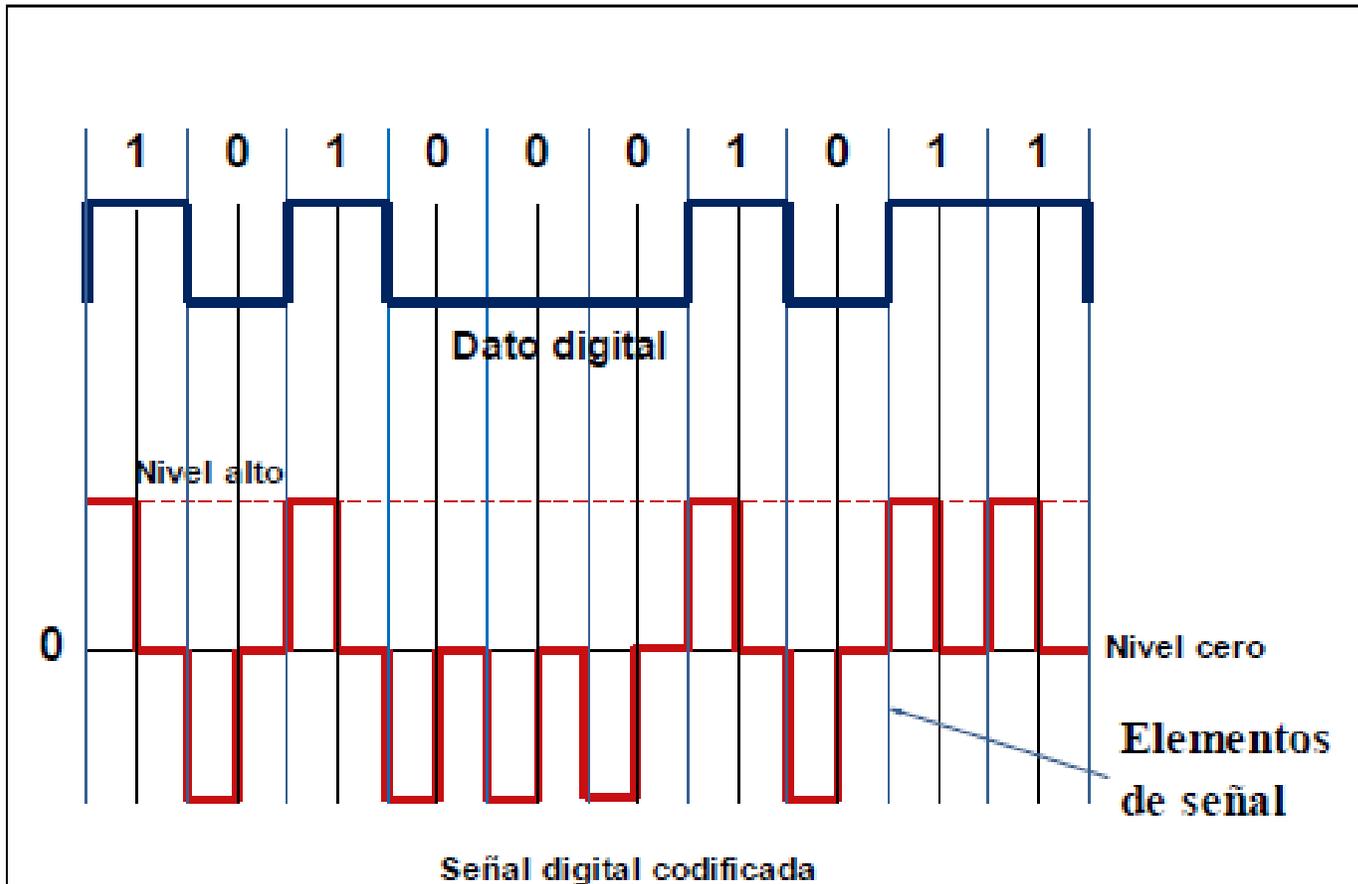
- **Dato Digital:** una representación binaria de un dato por ejemplo el carácter "A", del código binario ASCII.



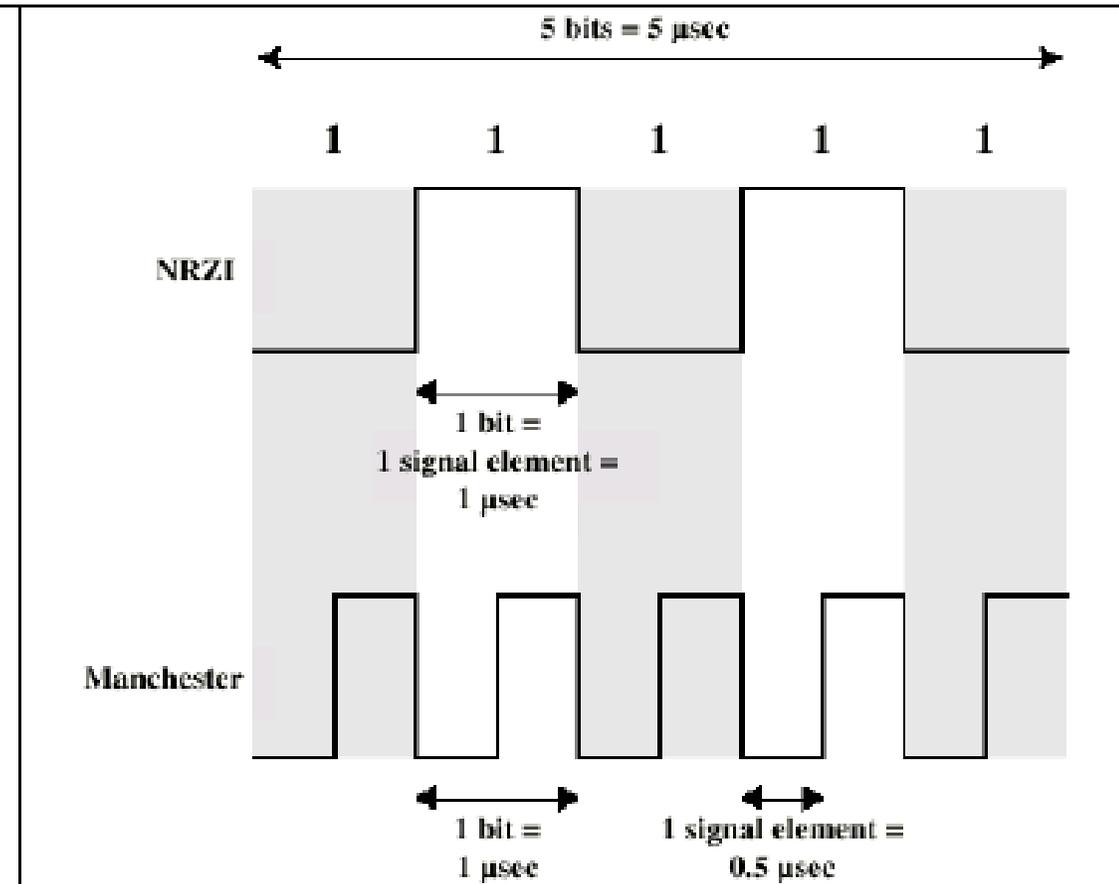
*Ejemplo de Dato Digital*

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

- **Señal digital.** Es un conjunto de valores discretos; Los datos binarios (el dato digital) son codificados en **elementos de señal** antes de ser transmitidos.



*Ejemplo de Señal digital y Elementos de Señal*



*Ejemplo de elemento de Señal*

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

- **Señal Unipolar.** Todos los elementos de señal tienen el mismo signo algebraico puede ser positivo o negativo.
- **Señal Polar:** Un estado lógico ("1") es representado por un voltaje positivo y el otro estado lógico ("0") es representado por un voltaje negativo.
- **Taza de datos (Velocidad de Transmisión):** Transmisión de datos en bits por segundo (**bps**).

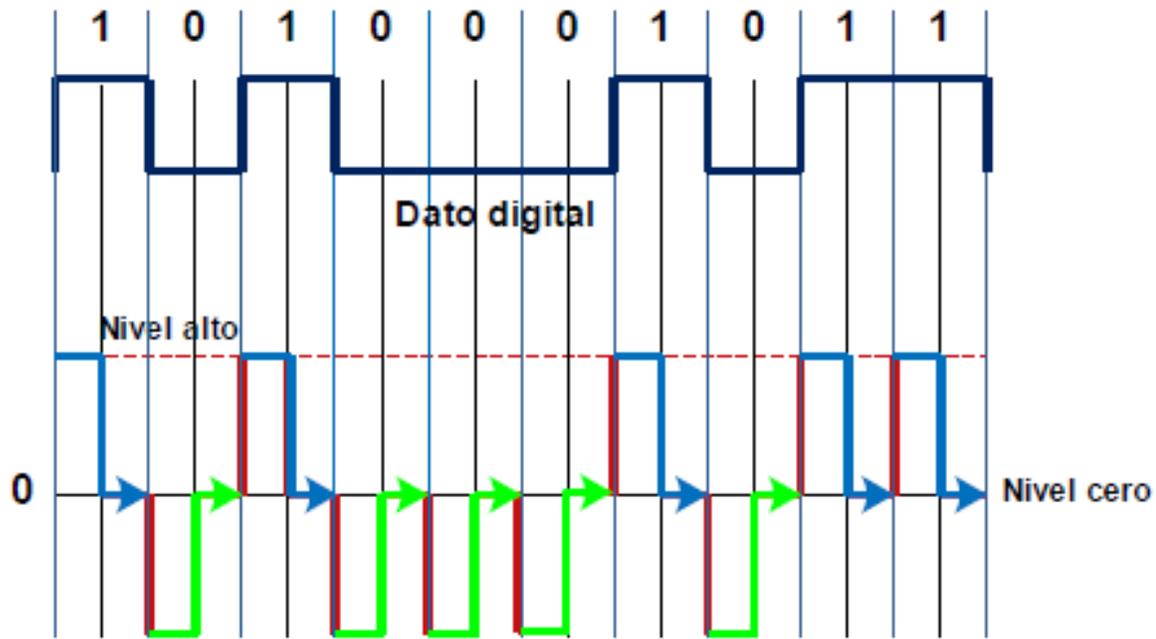
# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

- **Duración de la longitud del bit:** Tiempo de transmisión de un bit (intervalo del bit).
- **Velocidad de Modulación:** Número de cambios de nivel de la señal o número de elemento de señal por segundo (medida en **bauds**).
- **Marca y Espacio:** “1” binario y “0” binario, respectivamente.

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

## Esquemas de codificación RZ, RZI, NRZ, NRZL, NRZI

### RETURN - TO -ZERO (RZ)



Señal digital codificada con esquema RZ

### REGRESO A CERO - RZ

Siempre hay una transición a mitad del intervalo del bit

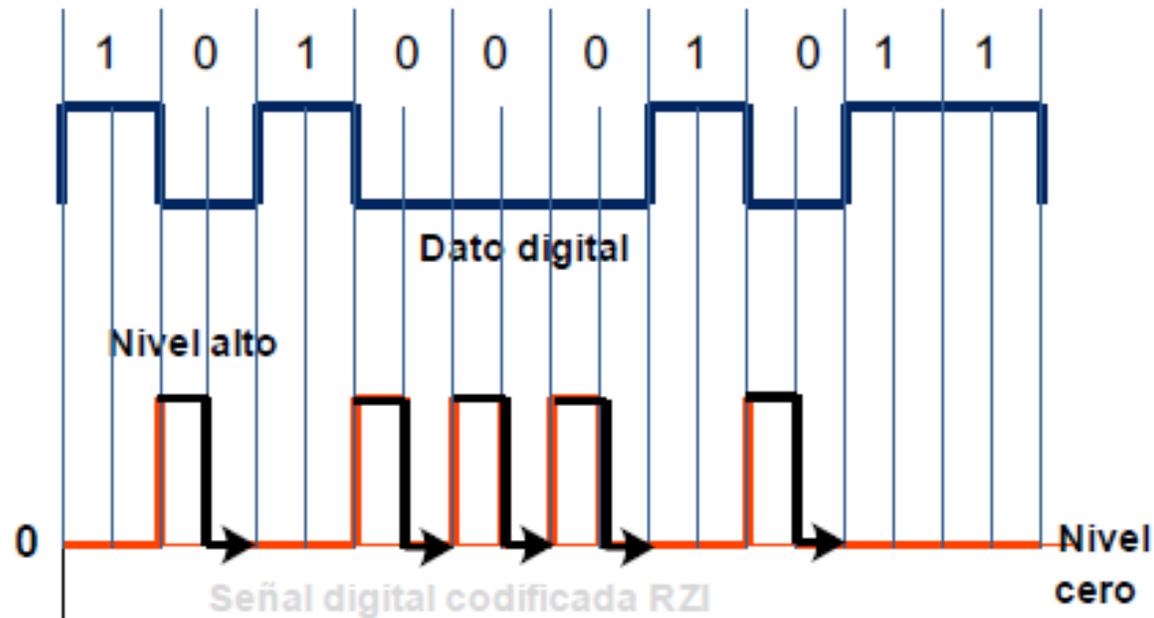
“1” = Transición positiva de nivel alto a nivel cero, a principio del intervalo.

“0” = Transición negativa de nivel cero a nivel bajo, al principio del intervalo del bit

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

## Esquemas de codificación RZ, RZI, NRZ, NRZL, NRZI

RETURN -TO -ZERO- INVERTED (RZI)



REGRESO A CERO INVERTIDO -

Siempre hay una transición a mitad del intervalo del bit

“1”= No hay pulso, la señal se mantiene en nivel cero

“0” = Transición positiva de nivel alto a nivel cero, al principio del intervalo del bit.

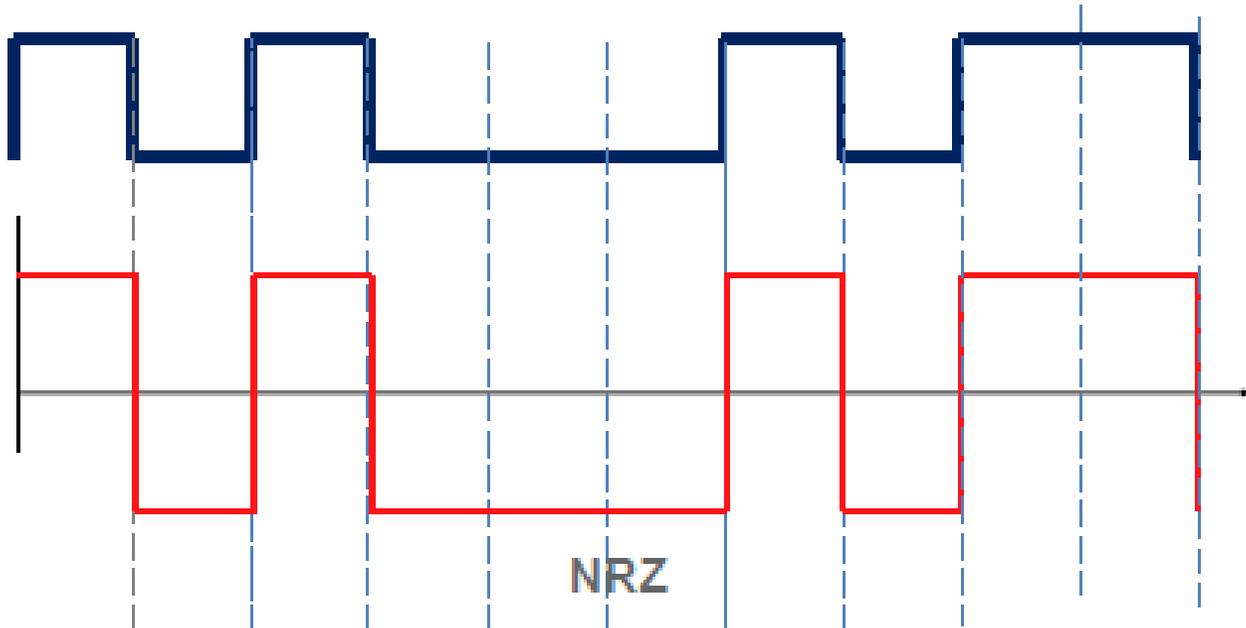
# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

Esquemas de codificación RZ, RZI, NRZ, NRZL, NRZI

**NON- RETURN – TO – ZERO (NRZ)**

Dato digital

1 0 1 0 0 0 1 0 1 1

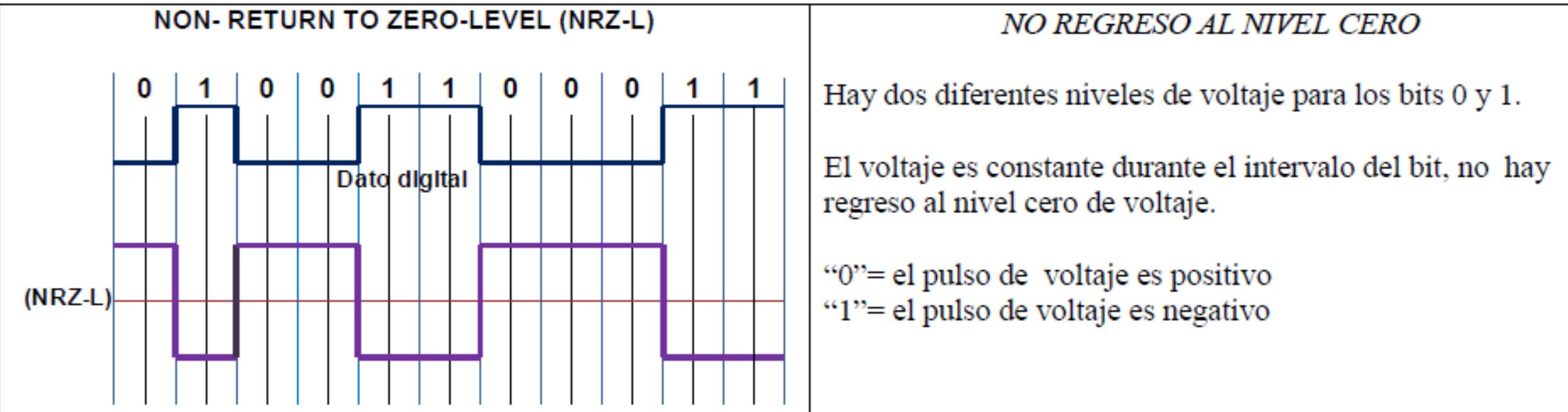


*NO REGRESO A CERO*

“1”= es representado por un voltaje positivo  
“0”= es representado por un voltaje negativo

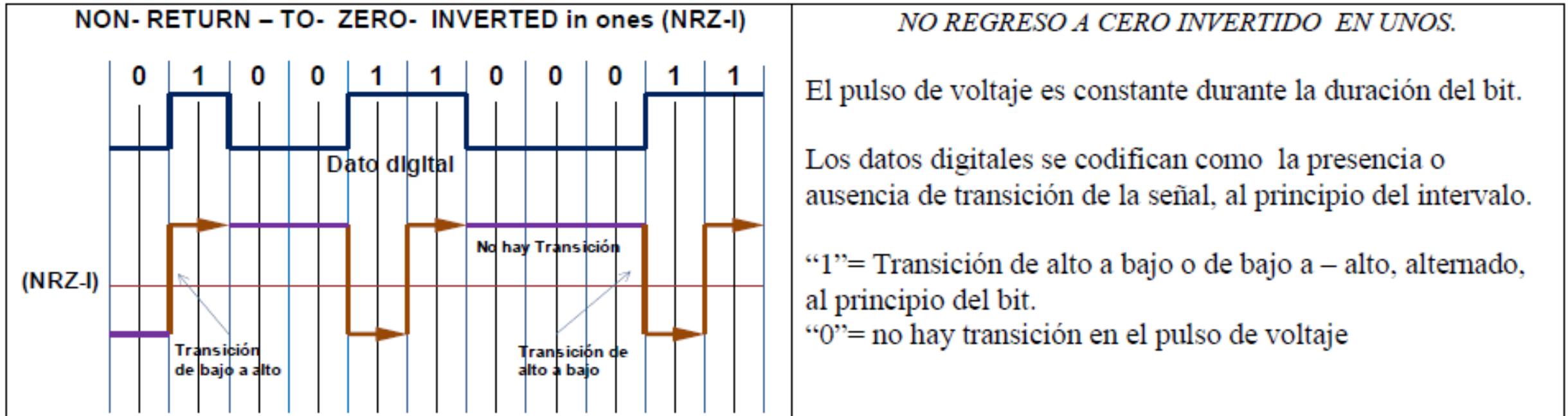
# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

## Esquemas de codificación RZ, RZI, NRZ, NRZL, NRZI



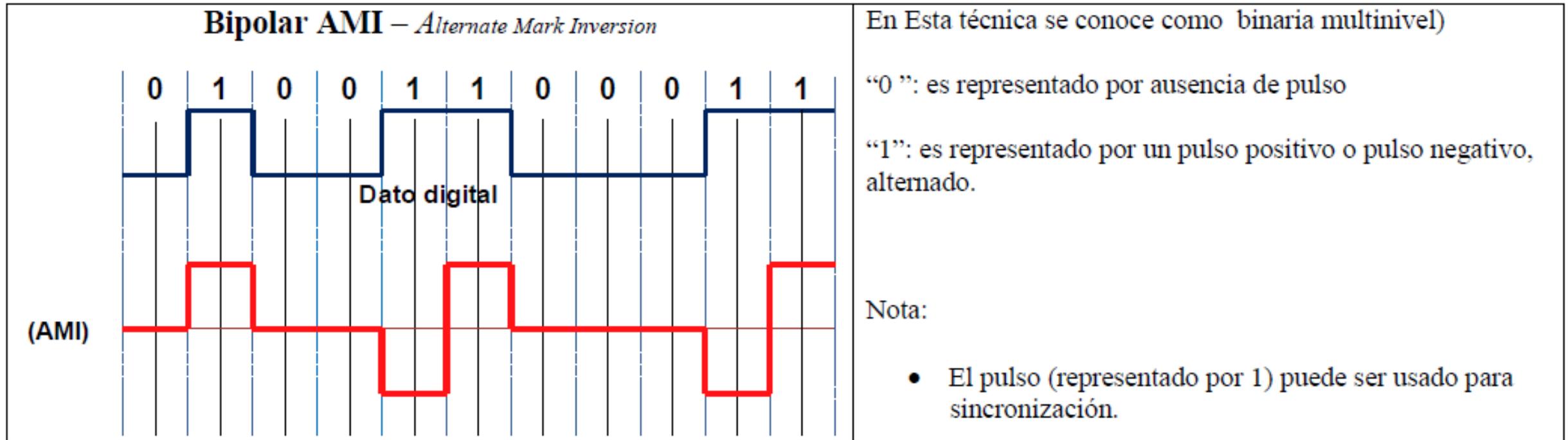
# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

## Esquemas de codificación RZ, RZI, NRZ, NRZL, NRZI



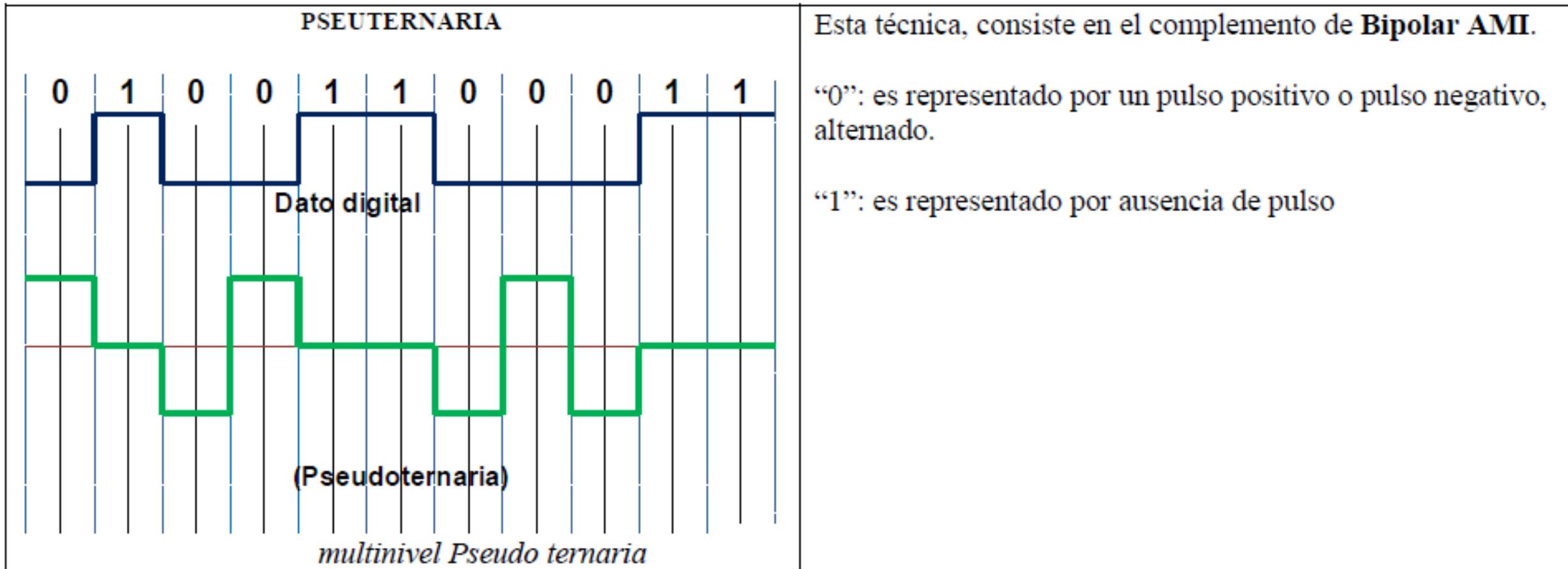
# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

## Técnicas de Codificación Multinivel binaria (Bipolar AMI – *Alternate Mark Inversion*) y Pseuternaria)



# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

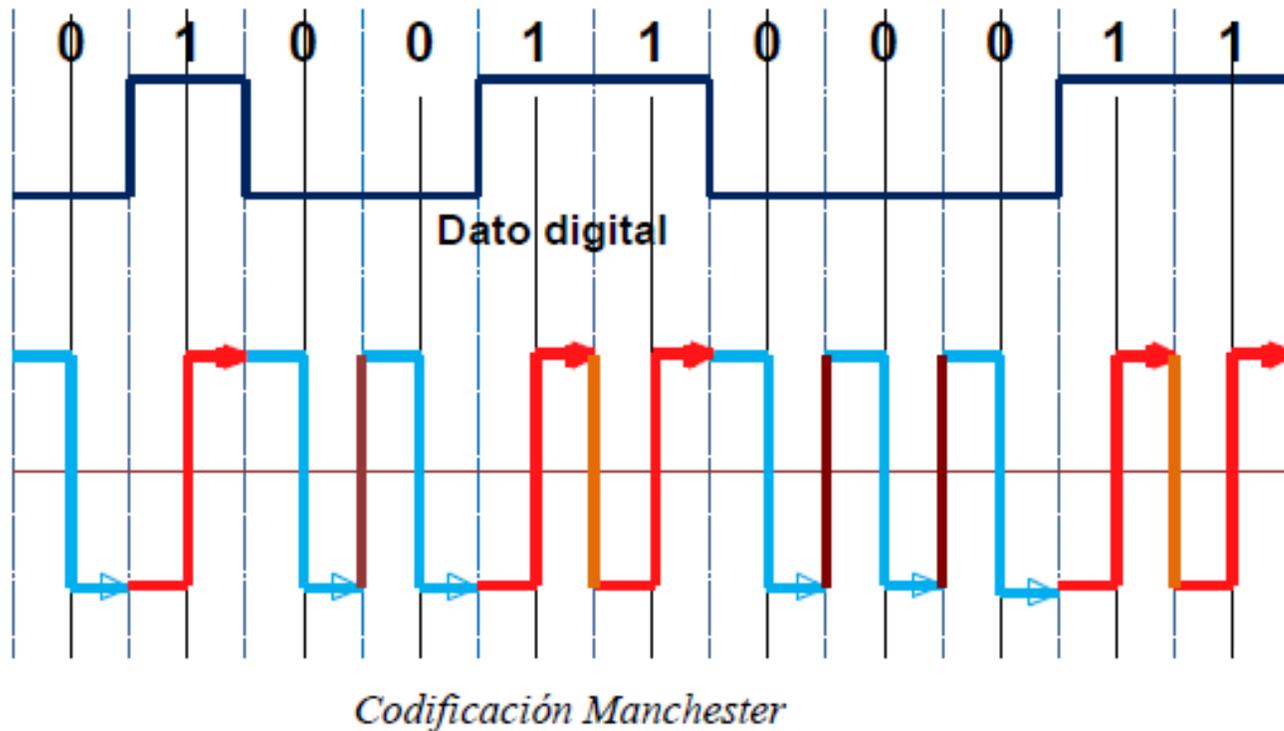
## Técnicas de Codificación Multinivel binaria (Bipolar AMI – *Alternate Mark Inversion*) y Pseuternaria)



# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

## Técnicas de codificación Bifase (Manchester y Manchester diferencial)

### CODIFICACIÓN MANCHESTER



- Siempre hay transición a mitad del período del bit
- La transición sirve como reloj y datos

\*Transición de bajo a alto representa un "1"



\*Transición de alto a bajo representa un "0".

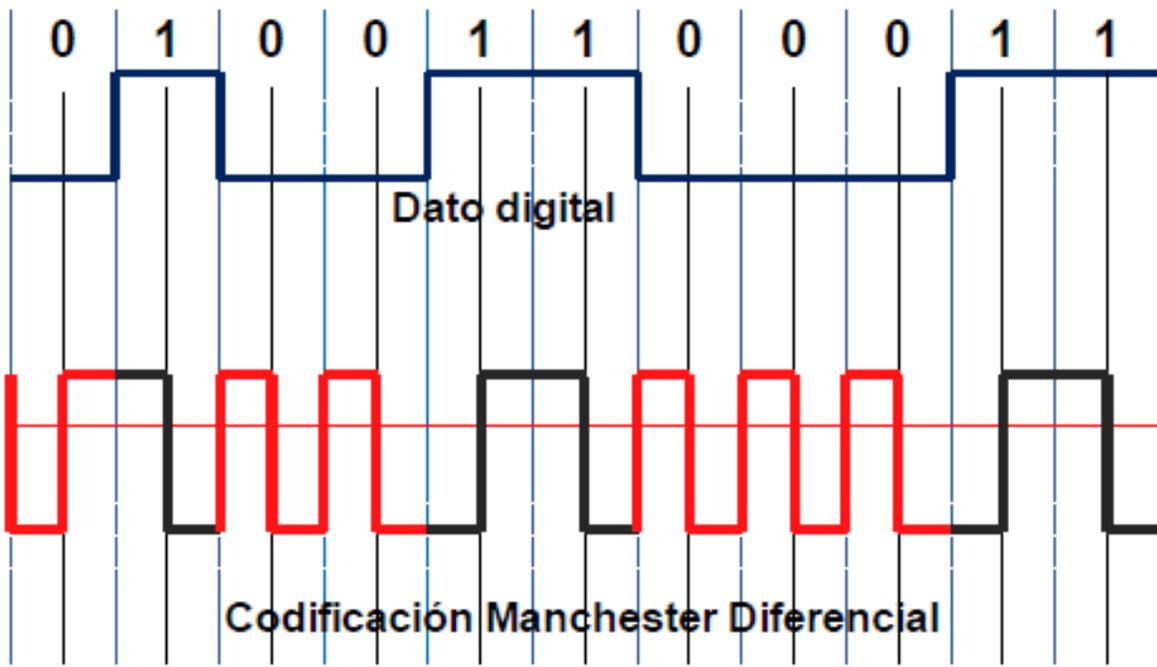


- Se usa en Redes IEEE 802.3 Ethernet

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

## Técnicas de codificación Bifase (Manchester y Manchester diferencial)

MANCHESTER DIFERENCIAL



### Codificación Manchester Diferencial

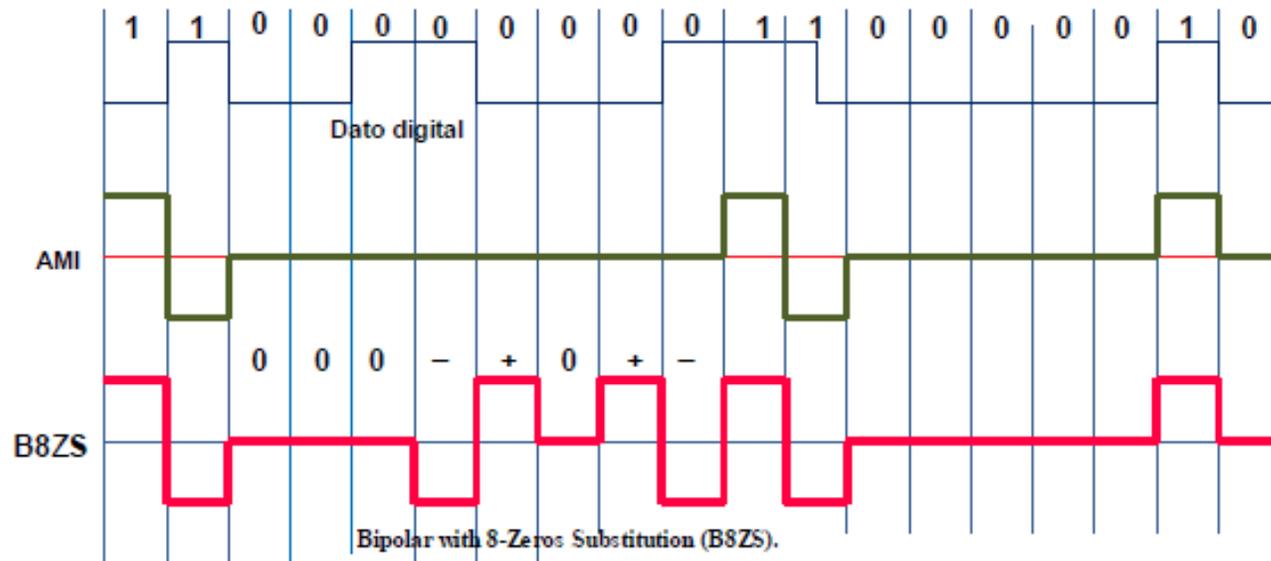
Siempre hay transición a mitad del período del bit

- Un "0": se representa por una transición al principio del bit time.
- Un "1", se representa por ausencia de transición al principio del bit time.
- Se utiliza en redes IEEE 802.5 Token Ring

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

## Técnicas de Cifrado B8ZS y HDB3

### BIPOLAR WITH 8-ZEROS SUBSTITUTION (B8ZS)



### BIPOLAR CON SUBSTITUCIÓN DE 8 CEROS

Este esquema de codificación se usa comúnmente en Norteamérica.

- Está basado en la codificación AMI.
- B8ZS resuelve el problema de sincronización con cadenas grandes de ceros, que presenta AMI.

Las reglas de substitución son:

- Si el pulso de voltaje que precede a los 8 ceros, es positivo Entonces los 8 ceros son codificados con los sig. Valores:

**000+-0-+**

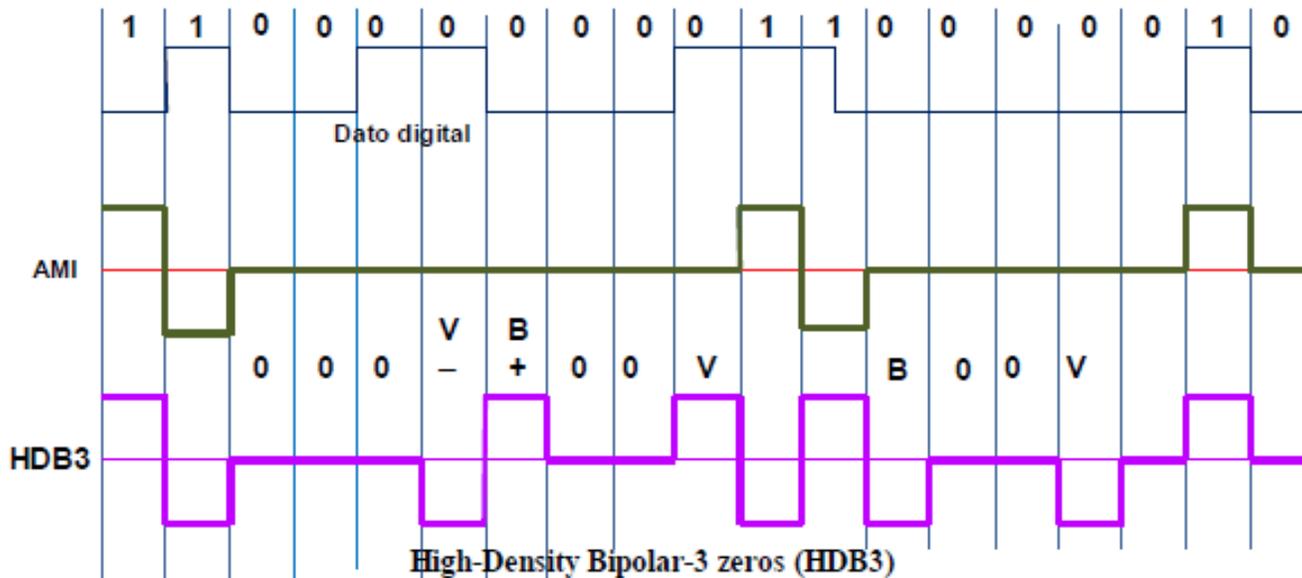
- Si el pulso de voltaje que precede a los 8 ceros, es negativo, entonces los 8 ceros son codificados con los sig. valores

**000-+0+-**

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

## Técnicas de Cifrado B8ZS y HDB3

HIGH DENSITY BIPOLAR -3 ZEROS (HDB3)



### *BIPOLAR DE ALTA DENSIDAD CON 3 CEROS*

Este esquema de codificación se usa comúnmente en Europa y Japón;

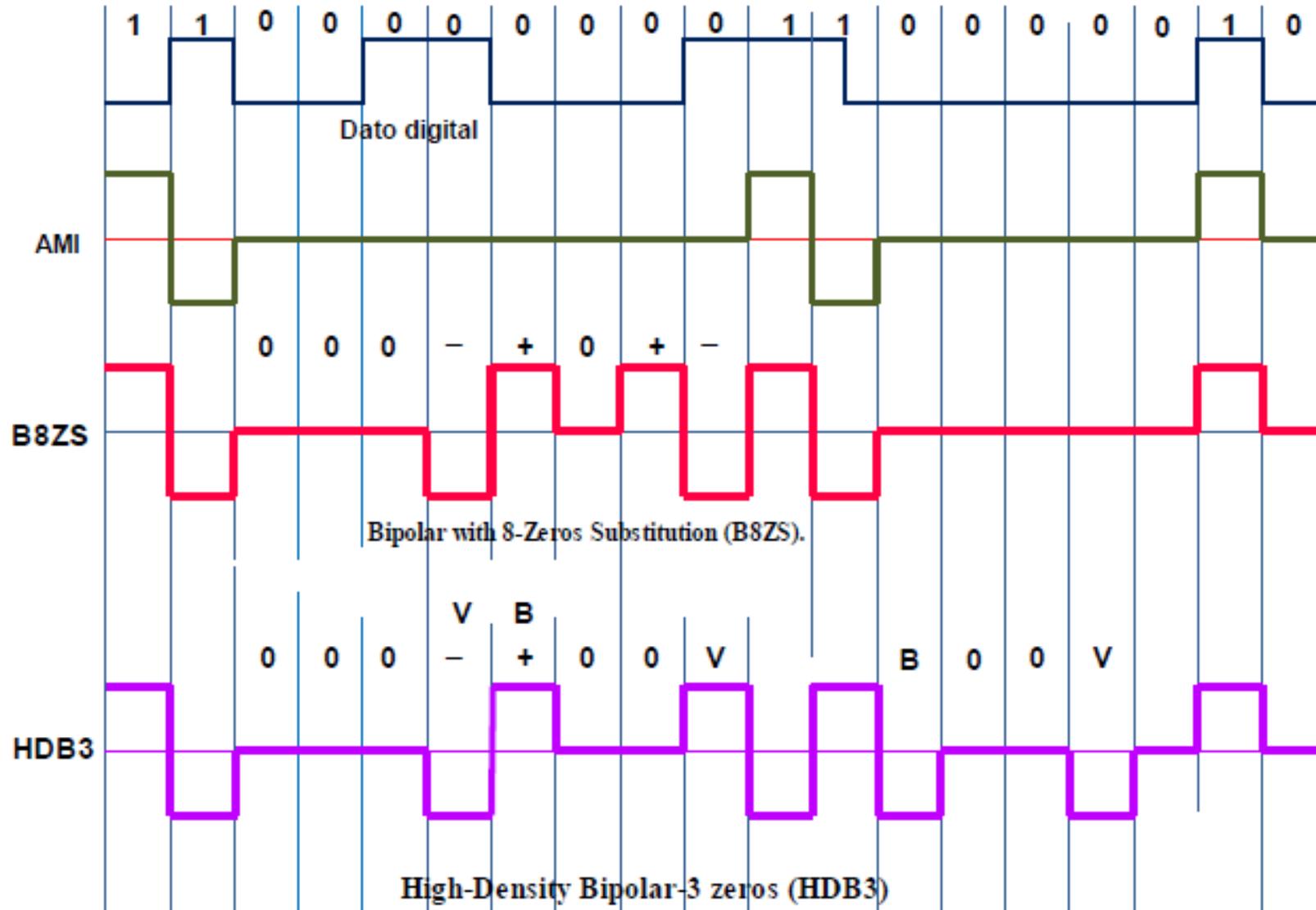
Esta basado en la codificación AMI.

- Cada grupo de cuatro ceros binarios son substituidos por secuencias de uno o dos pulsos;
  - Los tres primeros son substituidos por pulsos.
  - El cuarto cero es substituido por un código de violación (no permitido en AMI).
  - Los códigos V (violation) y B(Bipolar) se alternan en polaridad
- Las reglas de substitución son de la siguiente forma:

Polaridad del pulso precedente	Numero de Pulsos Bipolares ( 1's ) Desde la última substitución	
	Impar	Par
-	Código (HDB3) 000 -	Código (HDB3) +00 +
+	Código (HDB3) 000 +	Código (HDB3) -000 -

# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

## B8ZS y HDB3



# FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES

## Tarea:

- Realizar mapa conceptual de la unidad incluyendo todas las técnicas de modulación vistas