

# Tema 2 – Nivel Físico

Redes de Computadores

Grado en Ingeniería Informática en Tecnologías de  
la Información

# ÍNDICE

1. Introducción
2. Señales en el dominio de la frecuencia
3. Capacidad del canal
4. Medios de transmisión
5. Esquemas de codificación y modulación
6. Multiplexación

# 1.- INTRODUCCIÓN

- **Funciones de la capa física**
  - Mover los bits por el enlace
  - Sincronizar la transmisión entre emisor y receptor
  - Especificar la naturaleza de las señales a enviar
  - Definir la codificación de los bits en señales
  - Especificar el tipo de transmisión
  - Caracterizar el medio de transmisión
  - Definir el formato y las funciones de los pines de un conector

# Introducción

- **Tipos de datos**

- Analógicos

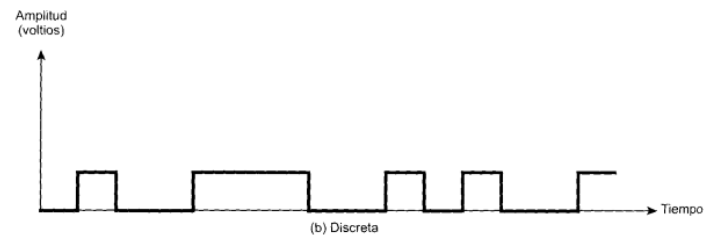
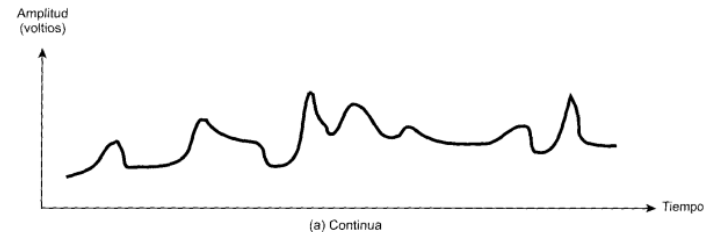
- Toman cualquier valor en un intervalo continuo
    - Ej: Una señal de voz

- Digitales

- Toman valores discretos
    - Ej: Número de alumnos matriculados

# Introducción

- **Tipos de señales**
  - Analógicas
    - Su intensidad varía suavemente en el tiempo (sin discontinuidades)
  - Digitales
    - Su intensidad se mantiene constante en el tiempo, tras el cual pasa a otro valor constante



[1]

# Introducción

- **Datos y señales**

- Cualquier tipo de dato se puede transmitir con cualquier tipo de señal
- Ejemplos:
  - Datos analógicos -> Señal analógica: Teléfono, radio...
  - Datos digitales -> Señal analógica: Módems, mandos...
  - Datos analógicos -> Señal digital: Cuantificación
  - Datos digitales -> Señal digital: USB, ficheros...

# Introducción

- **Tipos de transmisión**

- Simplex

- La transmisión se produce en un único sentido
    - Televisión, radio, etc.

- Semidúplex

- La transmisión se produce en ambos sentidos, pero no a la vez
    - Walkie-talkie

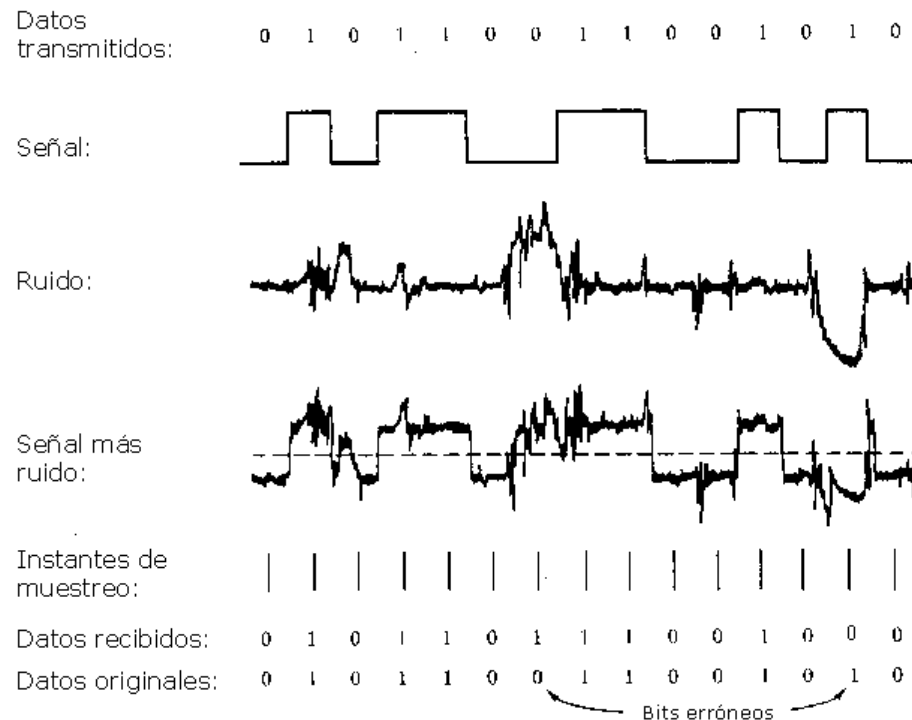
- Dúplex

- La transmisión se produce en ambos sentidos a la vez
    - Teléfono, videoconferencia...

# Introducción

- **Ruido**

- Señales adicionales que se insertan entre el emisor y el receptor
- Efecto del ruido en una señal digital





# 2.- SEÑALES EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA

- **Conceptos básicos**

- Métodos de análisis de una señal

- Dominio del tiempo

- Variaciones temporales de la señal

- Se analizan los parámetros amplitud, frecuencia y fase

- Dominio de la frecuencia

- Se descompone la señal en componentes sinusoidales de diferentes frecuencias -> Análisis de Fourier

- Se analiza la frecuencia y amplitud de las componentes

# Señales en el dominio de la frecuencia

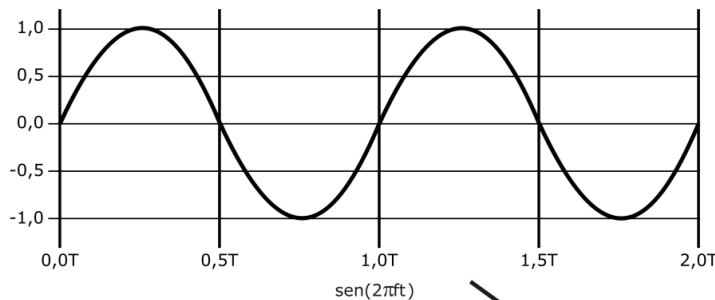
- **Características de la señal sinusoidal**
  - Amplitud de pico ( $A$ )
    - Tensión máxima
    - Se mide en voltios
  - Frecuencia ( $f$ )
    - Tasa de cambio de la señal
    - Se mide en Hertzios (cambios por segundo)
  - Fase ( $\Phi$ )
    - Desplazamiento de la señal

# Señales en el dominio de la frecuencia

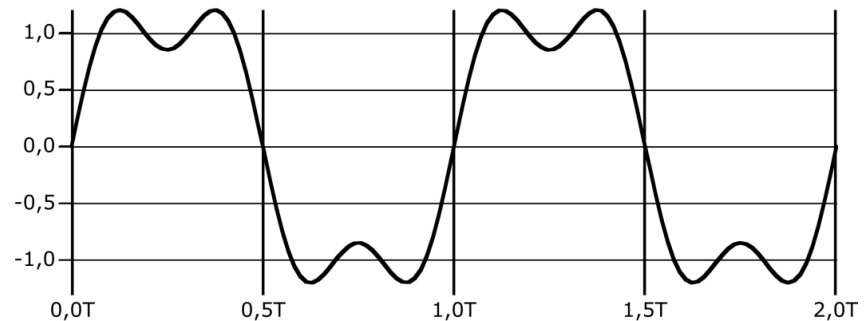
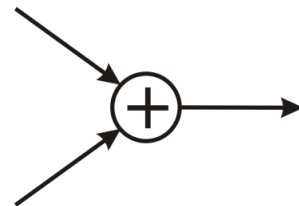
- **Análisis en el dominio de la frecuencia**
  - Análisis de Fourier
    - Cualquier señal periódica puede expresarse como una suma (infinita) de señales sinusoidales, llamadas armónicos
    - Cada armónico tiene una frecuencia múltiplo de la frecuencia de la señal original (frecuencia fundamental)
    - A medida que aumenta la frecuencia de los armónicos, disminuye su amplitud
  - Una vez se ha descompuesto la señal, se pueden enviar los armónicos por el medio de transmisión
    - Cuantos más armónicos se utilicen, más se aproximará la suma resultante a la señal original

# Señales en el dominio de la frecuencia

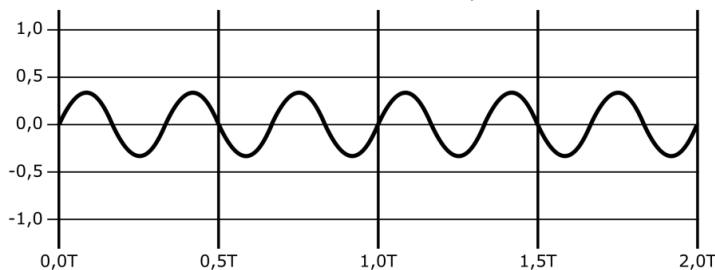
- **Análisis en el dominio de la frecuencia**



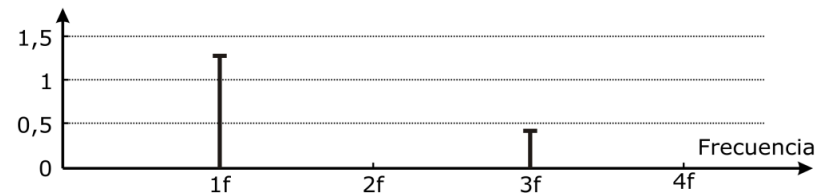
$\text{sen}(2\pi ft)$



$(4/\pi)[\text{sen}(2\pi ft) + (1/3)\text{sen}(2\pi(3f)t)]$



$(1/3)\text{sen}(2\pi(3f)t)$

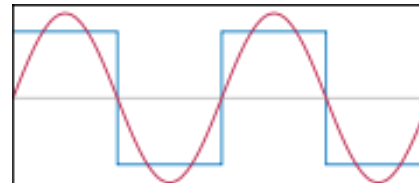


[1]

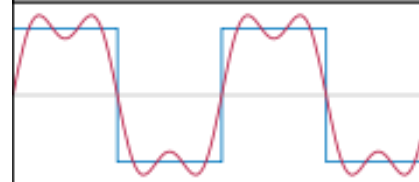
# Señales en el dominio de la frecuencia

- **Análisis en el dominio de la frecuencia**
  - Aproximación de una onda cuadrada

1 armónico



2 armónicos



3 armónicos



4 armónicos



# Señales en el dominio de la frecuencia

- **Características principales**

- Espectro

- Conjunto de frecuencias que constituyen una señal

- Ancho de banda absoluto

- Anchura teórica del espectro

- Ancho de banda efectivo

- Banda de frecuencias que contiene la mayor parte de la energía.  
Cuando se habla de ancho de banda, se habla de este

- Velocidad de transmisión

- Número de bits que se transmiten en un segundo por un medio de transmisión

- Relación entre el ancho de banda y la velocidad de transmisión

- A mayor ancho de banda, mayor es la velocidad con la que se puede transmitir
    - Cuanto mayor sea la velocidad que se necesite, más ancho de banda hará falta

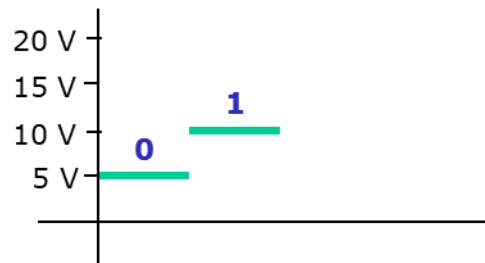
# 3.- CAPACIDAD DEL CANAL

- **Capacidad del canal:**
  - Tasa máxima de información que se puede enviar por la línea
  - Se mide en bits/seg (bps)
- **Criterio de Nyquist**
  - Capacidad del canal sin ruido

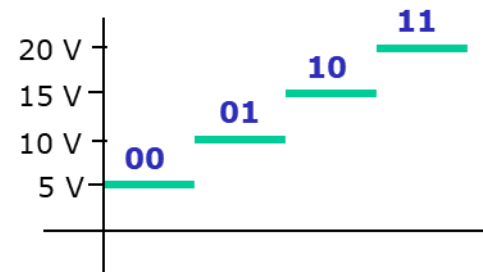
$$C = 2 \cdot B \cdot \log_2 M$$

- donde B es el ancho de banda en Hz del medio y M es el número de niveles de señal

2 elementos de señal



4 elementos de señal



# Capacidad del canal

- **Teorema de Shannon**

- Capacidad del canal con ruido térmico

$$C = B \cdot \log_2(1 + \text{SNR})$$

- B es el ancho de banda en Hz del medio y SNR es la relación señal-ruido  $\rightarrow \text{SNR} = S/N$

- Relación señal-ruido (**SNR**)

- Relación entre la potencia de una señal y la potencia contenida en el ruido presente en un punto concreto de la transmisión
    - Un valor elevado de la relación señal-ruido implica una alta calidad de la señal  $\rightarrow$  serán necesarios menos repetidores intermedios

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \frac{S}{N}$$

- Donde S es la potencia de la señal y N es la potencia del ruido



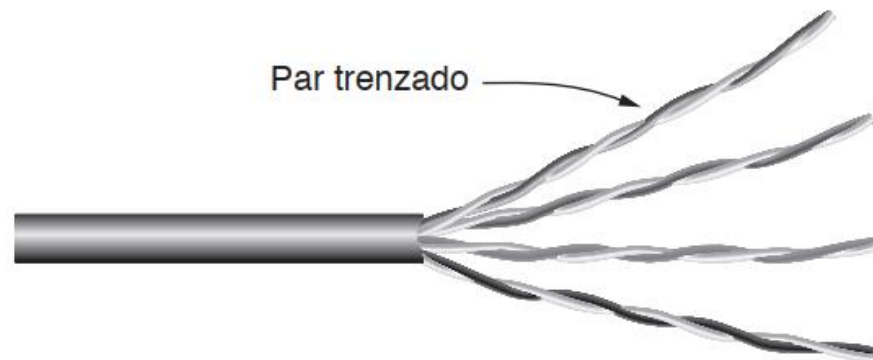
# 4.- MEDIOS DE TRANSMISIÓN

- **Tipos de medios**
  - Guiado: La señal está confinada a un camino físico
    - Par trenzado
    - Cable coaxial
    - Fibra óptica...
  - No guiado: La señal no está confinada
    - Ondas de radio
    - Microondas
    - Infrarrojos...

# Medios de transmisión

- **Par trenzado**

- Hilos de cobre aislados y entrelazados de forma helicoidal
  - Apantallado (*STP, Shielded Twisted Pair*)
  - No apantallado (*UTP, Unshielded Twisted Pair*)
- Capacidad del orden de decenas de Gbps en 1km de distancia
- Barato, utilizado en redes de área local

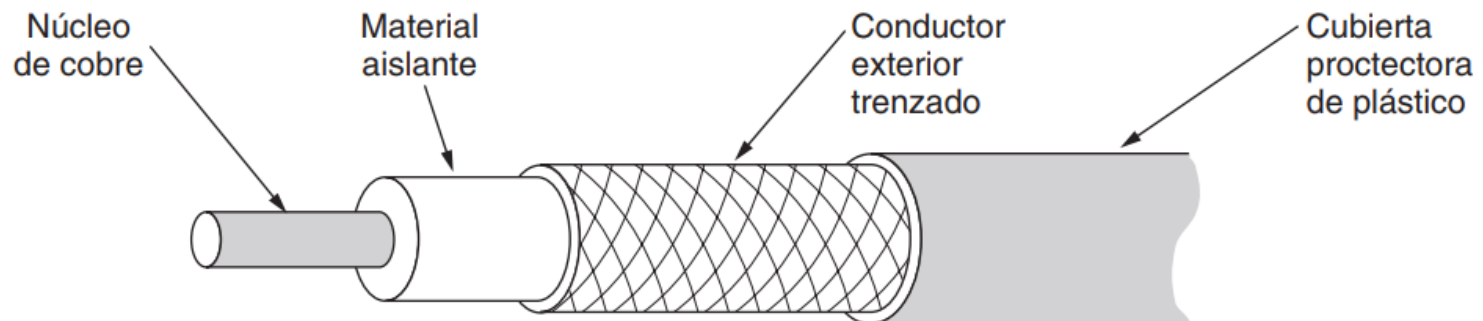


[2]

# Medios de transmisión

- **Cable coaxial**

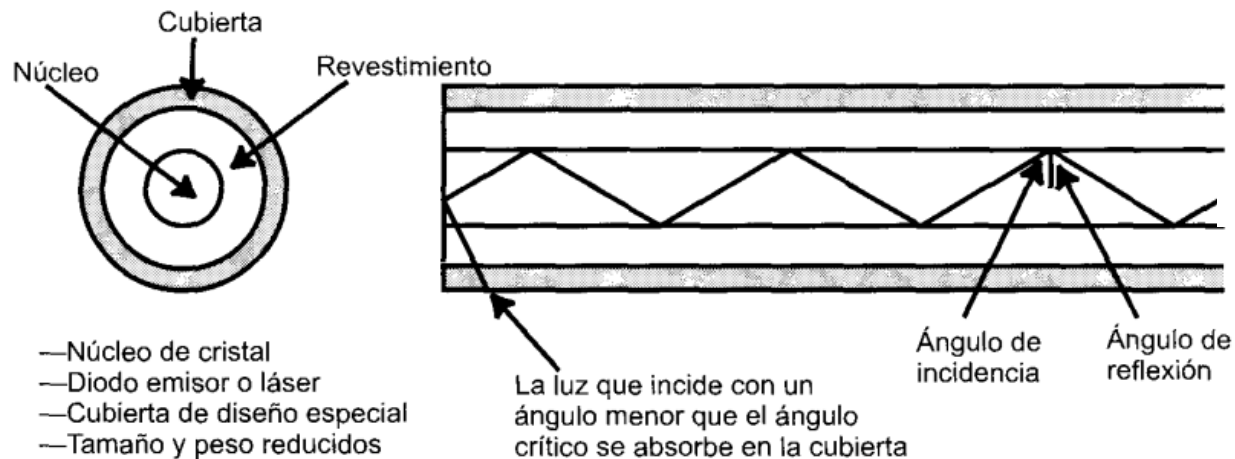
- Hilo protector y malla separados por un aislante y protegidos por plástico
- Capacidades de cientos de Mbps en distancias de kilómetros
- Utilizado en televisión, enlaces de larga distancia, etc.



# Medios de transmisión

- **Fibra óptica**

- Contiene un núcleo y un revestimiento de cristal/plástico con distintos índices de refracción
- Está forrado con una cubierta aislante
- Capacidades de Gbps en miles de kilómetros
- Tradicionalmente usado en enlaces de larga distancia, aunque su uso está cada vez más extendido



[1]

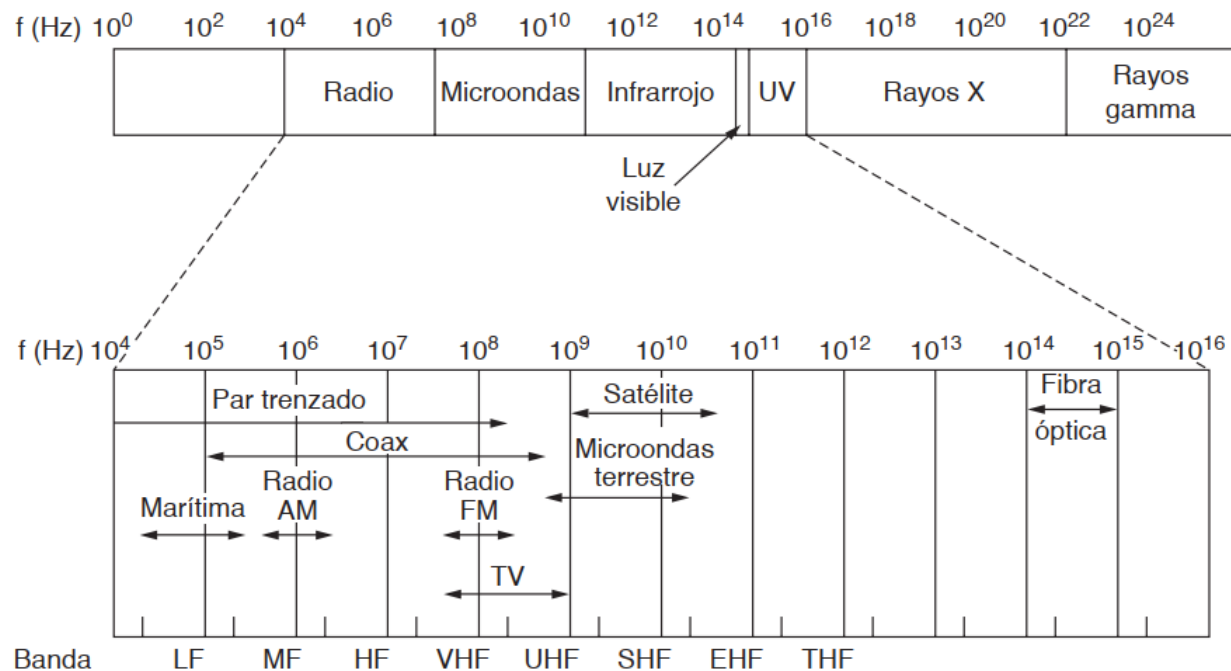


# Medios de transmisión

- **Espectro electromagnético**

- Relación fundamental:

Frecuencia x Longitud de onda = Velocidad de la luz



# Medios de transmisión

- **Ondas de radio**

- Señales con frecuencias desde  $\sim 1\text{Mhz}$  hasta  $\sim 1\text{Ghz}$
- Se propaga en todas las direcciones
- Proporcionan poco ancho de banda a gran distancia
- Tienen un coste alto debido a sus “bajas” frecuencias, pero es asumible por la gran cantidad de usuarios
- Utilizado en la distribución de radio, televisión, telefonía móvil, etc.

# Medios de transmisión

- **Microondas**

- Señales con frecuencias desde  $\sim 1\text{GHz}$  hasta  $\sim 300\text{GHz}$
- Se pueden utilizar antenas direccionales para propagar en forma de haz
  - Mucho ancho de banda a gran distancia
  - Se necesitan antenas orientadas tanto en transmisión como en recepción
  - Pueden usarse con satélites ( $1\text{-}10\text{GHz}$ ) o en la tierra ( $1\text{-}40\text{GHz}$ )
  - Utilizadas en enlaces de larga distancia, televisión por satélite, etc.
- También se pueden utilizar antenas omnidireccionales
  - Ancho de banda medio a media distancia
  - Utilizado en WiFi, redes locales, etc.
  - No se necesitan antenas orientadas
  - Bajo coste

# Medios de transmisión

- **Infrarrojos**

- Señales con frecuencias desde  $\sim 300\text{GHz}$  hasta  $\sim 400\text{THz}$
- La señal se propaga en línea recta y es reflejada/absorbida por las paredes
- Poco ancho de banda y a poca distancia
- Utilizado en conexión de dispositivos, redes locales, etc.
- Bajo coste



# 5.- ESQUEMAS DE CODIFICACIÓN Y MODULACIÓN

- **Codificación**

- Enviar datos analógicos o digitales mediante señales digitales
- Si es necesario, la señal se convierte a digital
- Se puede hacer en banda base o paso banda

- **Modulación**

- Envío de datos analógicos o digitales mediante señales analógicas
- Es necesario adaptar la señal a una representación analógica
- Se suele realizar en paso banda

# Esquemas de codificación y modulación

- **Codificación – Datos digitales -> Señal digital**
  - Cada bit se envía codificado en un elemento de la señal
  - Diferentes alternativas:
    - Non Return to Zero (NRZ)
      - NRZ-L, NRZ-I
    - Binario multinivel
      - Bipolar AMI
    - Códigos bifase
      - Manchester, Manchester diferencial

# Esquemas de codificación y modulación

- **Codificación – Datos digitales -> Señal digital**
  - Non Return to Zero (NRZ): Utiliza 0 para representar el 0 y un voltaje positivo para representar el 1
  - Non Return to Zero Low (NRZ-L): Utiliza 0 para representar el 1 y un voltaje positivo para representar el 0
  - Non Return to Zero Inverted (NRZI):
    - Cuando aparece un 1, el voltaje de la señal varía
    - Más robusto ante el ruido, pero muy sensible ante fallos

# Esquemas de codificación y modulación

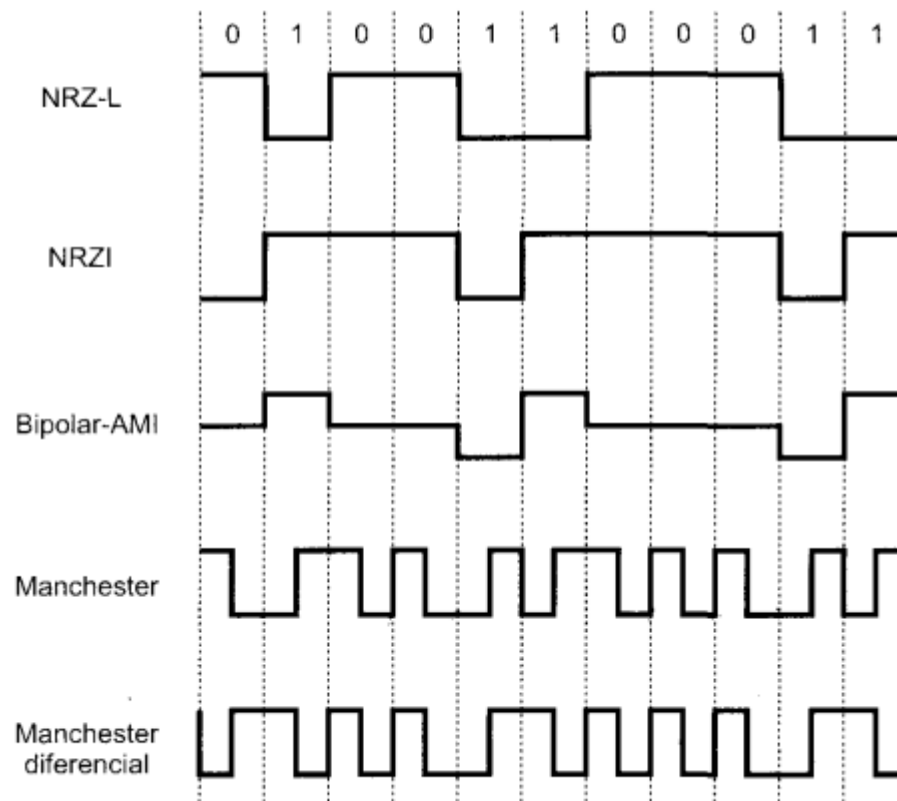
- **Codificación – Datos digitales -> Señal digital**
  - Binario multinivel
    - Utiliza más de dos niveles de señal
    - Bipolar-AMI (Alternate Mark Inversion)
      - Se utiliza un voltaje nulo para representar el 0
      - Se utiliza un voltaje  $\pm V$  de forma alterna para representar el 1
      - No hay problemas de sincronización para detectar cadenas largas de 1
      - Sigue existiendo dicho problema para las cadenas largas de 0s
      - Ayuda a detectar posibles errores

# Esquemas de codificación y modulación

- **Codificación – Datos digitales -> Señal digital**
  - Códigos bifase
    - Manchester:
      - Transición en mitad del intervalo de duración del bit
      - La transición sirve como procedimiento de sincronización y de transmisión de datos:
        - » 0: Transición de alto a bajo en mitad del intervalo
        - » 1: Transición de bajo a alto en mitad del intervalo
    - Manchester Diferencial:
      - La transmisión a mitad del intervalo se utiliza tan sólo para proporcionar sincronización
        - » 0: Transición al principio del intervalo del bit
        - » 1: Ausencia de transición al principio del intervalo del bit
      - Es un esquema de codificación diferencial

# Esquemas de codificación y modulación

- Codificación – Datos digitales -> Señal digital

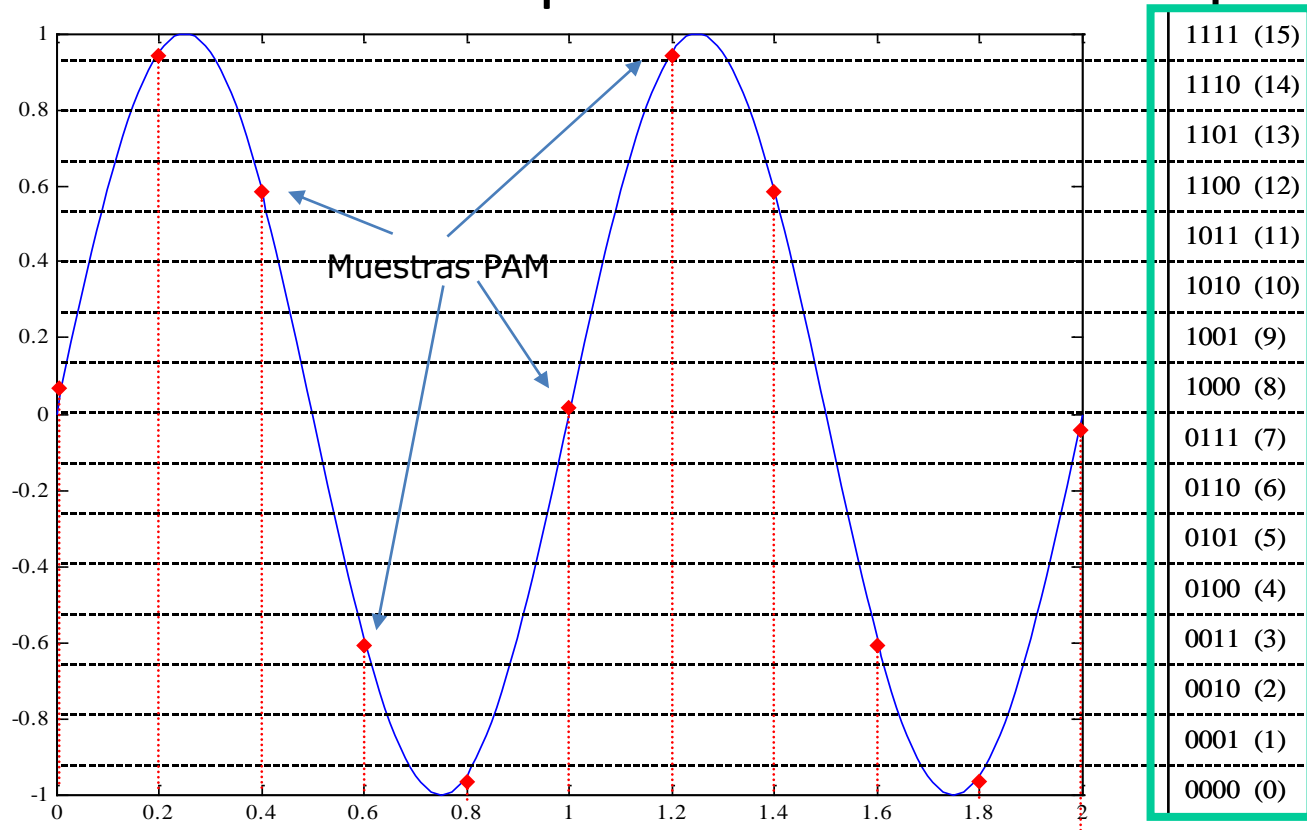


# Esquemas de codificación y modulación

- **Codificación – Datos analógicos -> Señal digital**
  - **Digitalización:**
    - Transformación de datos analógicos en señales digitales
  - **Modulación por codificación de impulsos (PCM)**
    1. Determinar la frecuencia de muestreo → teorema del muestreo de Nyquist
      - Si una señal se muestrea a intervalos regulares de tiempo con una frecuencia mayor que el doble de la frecuencia más alta de la señal, las muestras obtenidas contienen toda la información de la señal original
    2. Determinar el nº de bits que va a codificar cada muestra
      - Determina el nº de niveles de cuantificación
    3. Muestrear la señal a intervalos regulares, según el teorema de muestreo de Nyquist → se obtienen las muestras PAM (muestras analógicas)
    4. Codificar cada PAM con el código binario que le corresponde a su nivel de cuantificación

# Esquemas de codificación y modulación

- **Codificación – Datos analógicos -> Señal digital**
  - Modulación por codificación de impulsos (PCM)



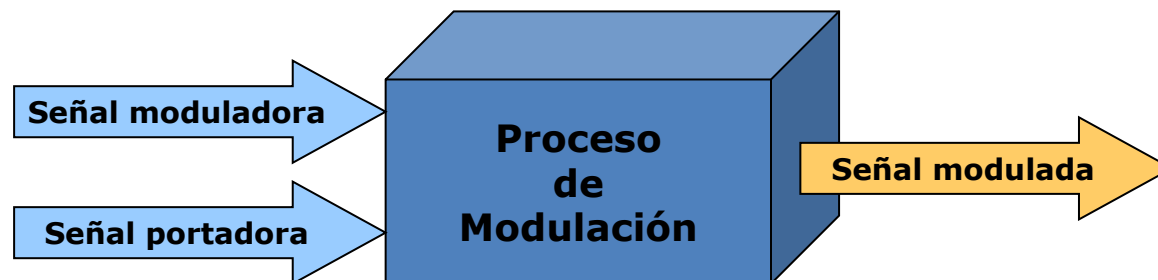
- Periodos de muestreo: 0, 0.2, 0.4, 0.6, ...
- N° de bits por muestra: 4
- N° de niveles de cuantificación: 16

Niveles de cuantificación



# Esquemas de codificación y modulación

- **Modulación – Datos digitales -> Señal analógica**
  - Los datos se codifican mediante una señal llamada moduladora
  - La señal modulada modifica los parámetros de la señal portadora
  - Técnicas
    - Desplazamiento de amplitud (ASK)
    - Desplazamiento de frecuencia (FSK)
    - Desplazamiento de fase (PSK)



# Esquemas de codificación y modulación

- **Modulación – Datos digitales -> Señal analógica**
  - Desplazamiento de amplitud – Los valores binarios se representan mediante dos amplitudes de portadora

$$s(t) = \begin{cases} A \cdot \cos(2\pi f_c t) & 1 \text{ binario} \\ 0 & 0 \text{ binario} \end{cases}$$

- Desplazamiento de frecuencia – Los valores binarios se representan mediante dos frecuencias de portadora

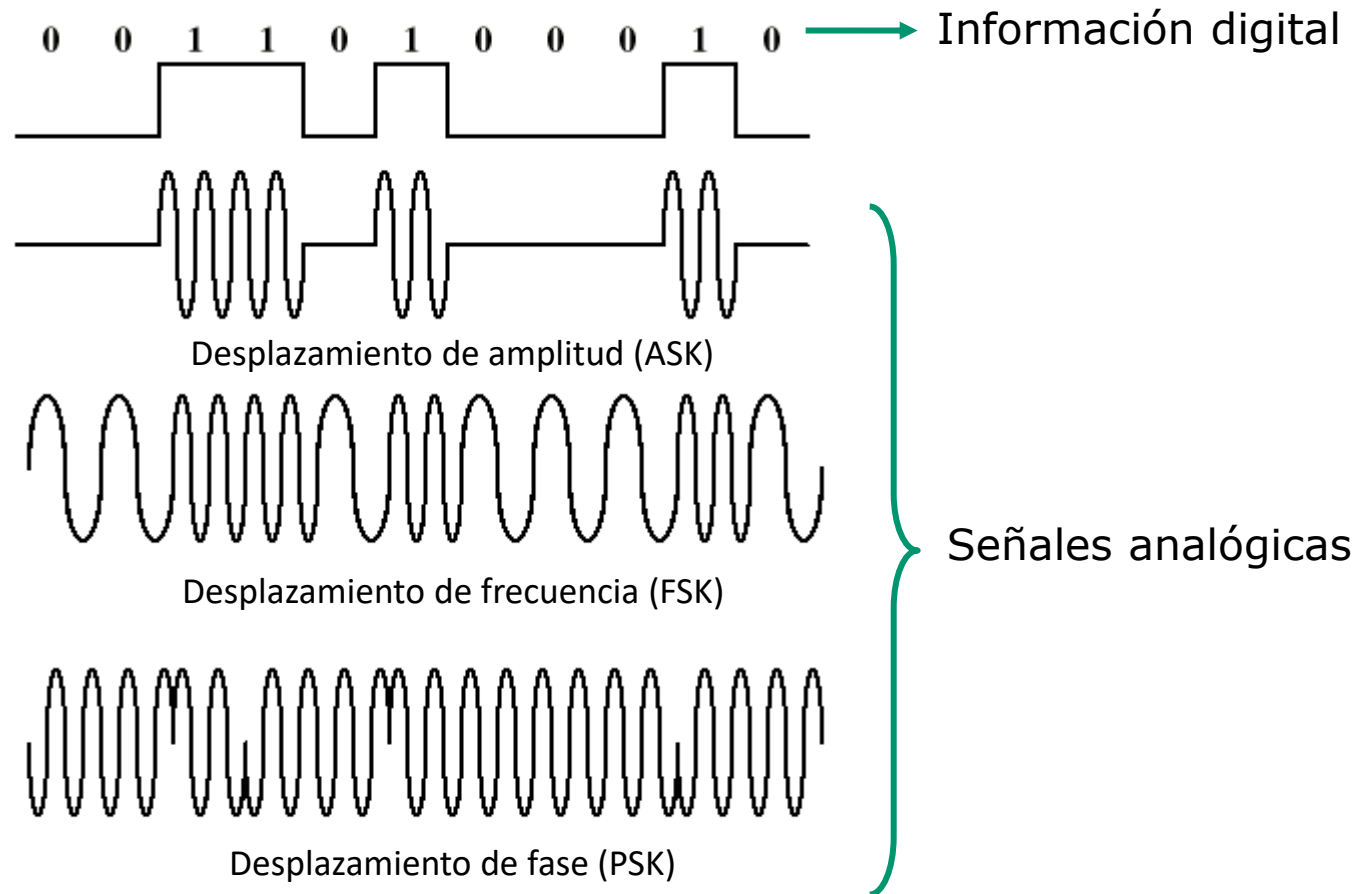
$$s(t) = \begin{cases} A \cdot \cos(2\pi f_1 t) & 1 \text{ binario} \\ A \cdot \cos(2\pi f_2 t) & 0 \text{ binario} \end{cases}$$

- Desplazamiento de fase – La fase de la señal se desplaza para representar los datos

$$s(t) = \begin{cases} A \cdot \cos(2\pi f_c t + \pi) & 1 \text{ binario} \\ A \cdot \cos(2\pi f_c t) & 0 \text{ binario} \end{cases}$$

# Esquemas de codificación y modulación

- **Modulación – Datos digitales -> Señal analógica**



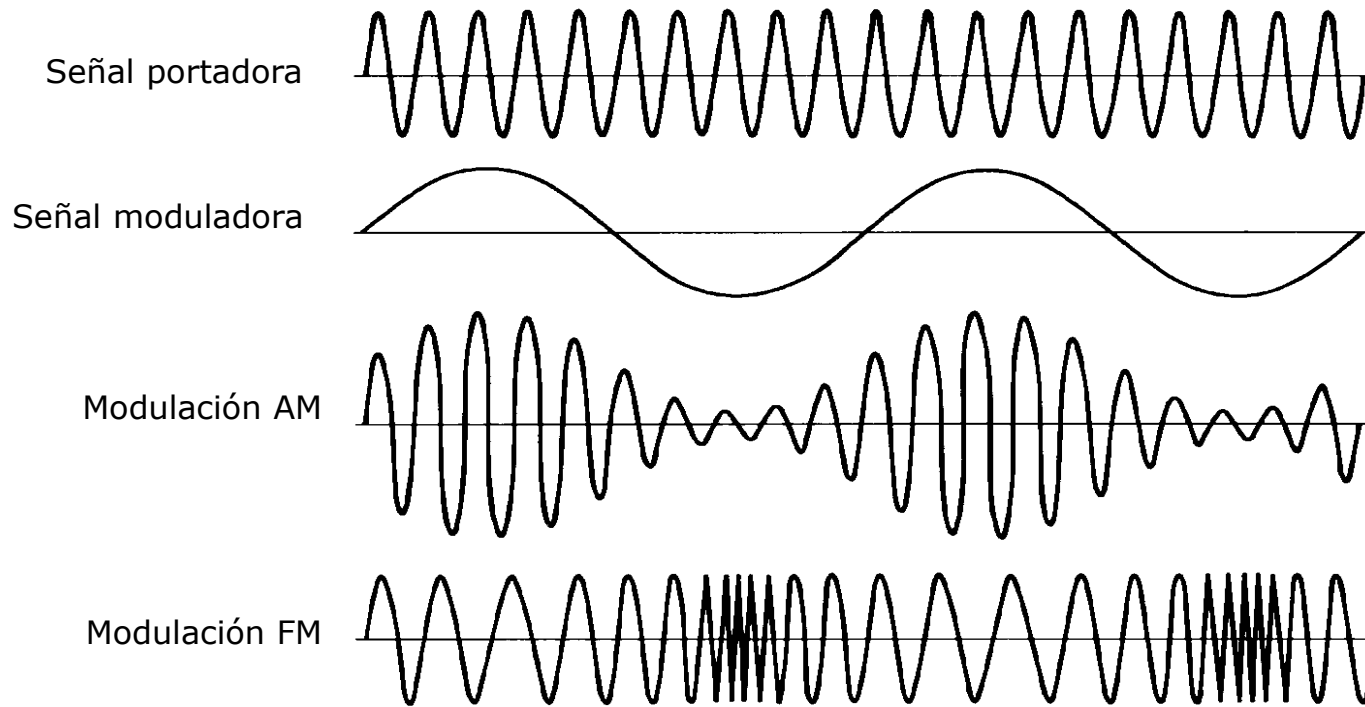
# Esquemas de codificación y modulación

- **Modulación – Datos analógicos -> Señal analógica**
  - Razones para modular las señales analógicas:
    - Desplazar el espectro de frecuencias de la señal a una más adecuada para la transmisión
      - A mayor frecuencia, mayor velocidad de transmisión
    - Permite la multiplexación por división de frecuencias
  - Tipos de modulación:
    - En amplitud (AM)
    - En frecuencias (FM)
    - En fase (PM)



# Esquemas de codificación y modulación

- **Modulación – Datos analógicos -> Señal analógica**



[1]

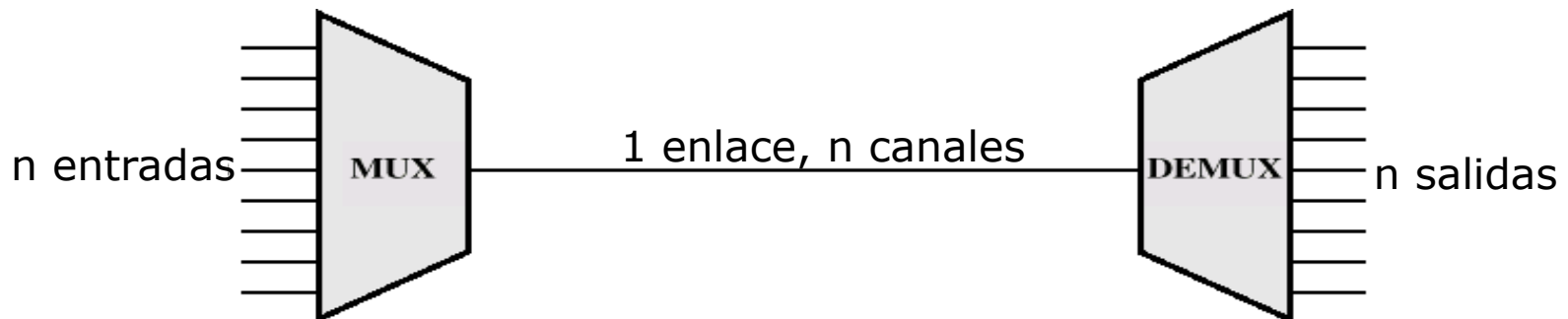
# 6.- MULTIPLEXACIÓN

- **Definición**

- Técnica que permite la transmisión de datos procedente de varias fuentes sobre un mismo medio de transmisión

- **Objetivo**

- Aprovechar al máximo las capacidades del medio compartido
  - Las capacidades de los canales suelen ser muy superiores a las que necesita un solo usuario



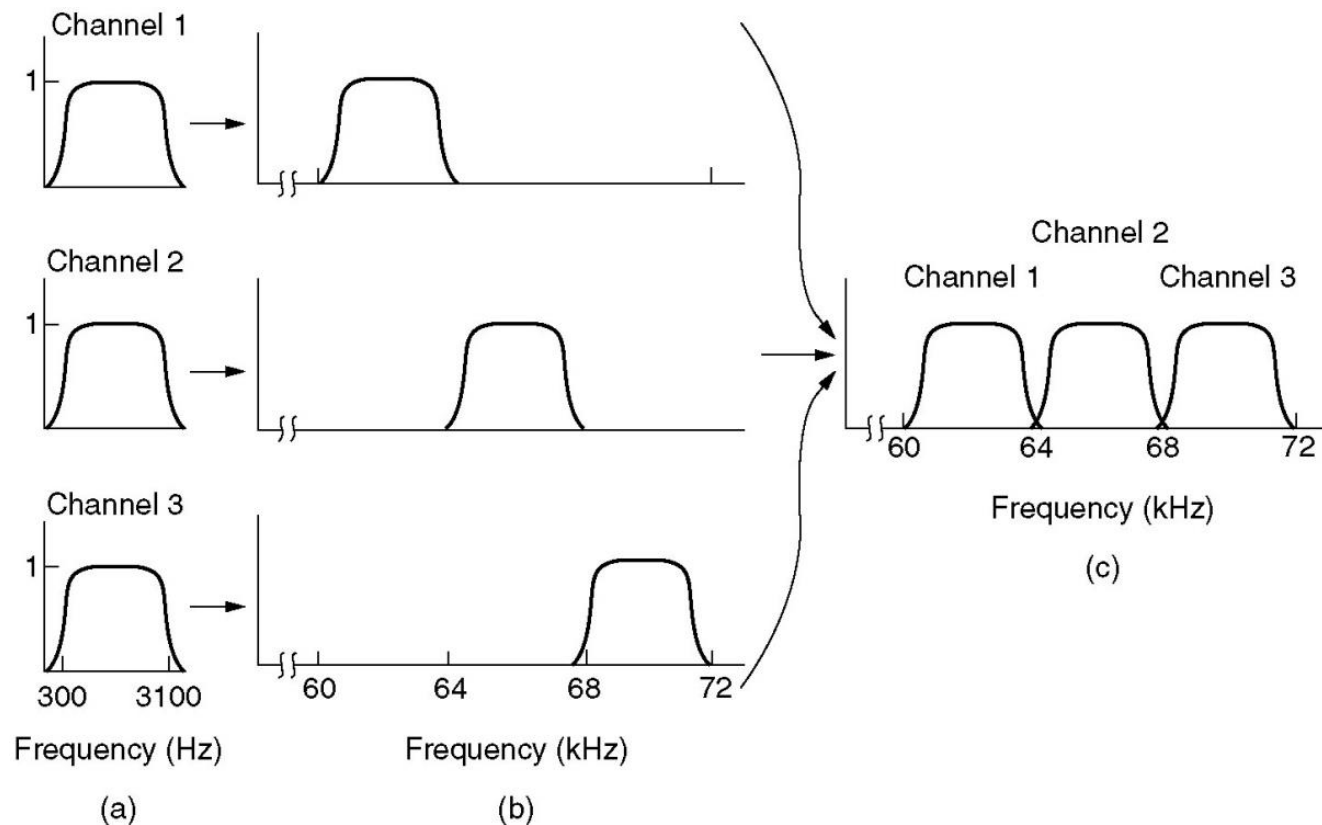
[1]

# Multiplexación

- **Multiplexación por división de frecuencias (FDM)**
  - Requisitos:
    - Señales analógicas (independientemente de su contenido)
    - Ancho de banda del medio  $>$  suma del ancho de banda de la señales de las fuentes
  - Procedimiento:
    - Modular cada señal de entrada con una señal portadora distinta

# Multiplexación

- Multiplexación por división de frecuencias



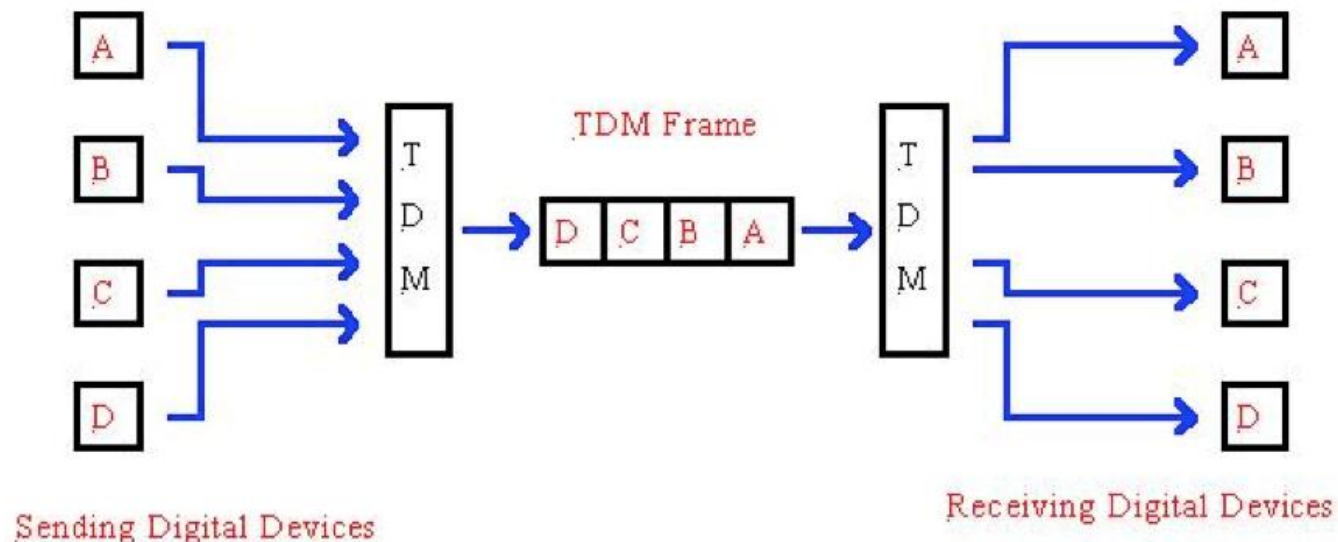


# Multiplexación

- **Multiplexación por división en el tiempo síncrona (TDM)**
  - Requisitos
    - Señales que representen datos digitales
    - Velocidad de transmisión del medio  $>$  suma de las velocidades de transmisión de las fuentes
  - Procedimiento:
    - División del tiempo en ranuras temporales
      - Las ranuras temporales se pre-asignan y fijan a las distintas fuentes
      - Las ranuras temporales se asignan, incluso, si no hay datos
      - Las ranuras temporales no se tienen que distribuir de manera igualitaria entre las fuentes
    - Inserción de los datos de las fuentes en las ranuras temporales

# Multiplexación

- **Multiplexación por división en el tiempo síncrona**
  - Mezcla en el tiempo varias señales que representan datos digitales

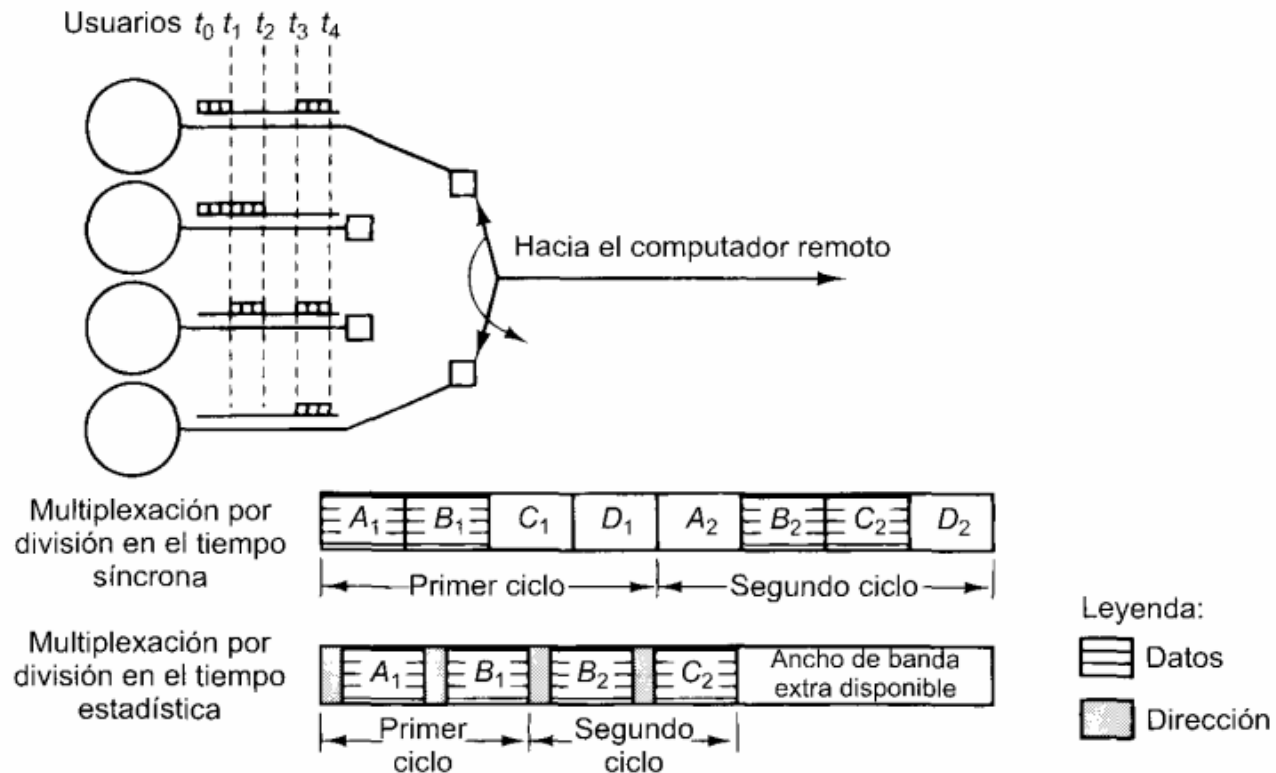


# Multiplexación

- **Multiplexación por división en el tiempo estadística (STDM)**
  - Si alguna de las fuentes no transmite en FDM o TDM se desperdicia ancho de banda
  - Con STDM se distribuyen las ranuras temporales de forma dinámica
  - El multiplexor sondea qué fuentes tienen datos y se llena las ranuras con unas pocas fuentes
  - Si hay exceso de datos, estos se guardan en *buffers*
    - Peligro de congestión

# Multiplexación

- Multiplexación por división en el tiempo estadística



# Referencias

- [1] Comunicaciones y redes de computadores, 6ª Ed., William Stallings, Prentice Hall
- [2] Redes de ordenadores, 5ª Ed., Andrew S. Tanenbaum, Prentice Hall