



REDES DE
COMPUTADORES

Redes de Computadores

CURSO 2017/18

2º Semestre

Plan 2009

Redes de Computadores

El objetivo de esta asignatura es comprender el funcionamiento de las tecnologías básicas de comunicaciones que constituyen el núcleo de Internet, y de las redes de empresas y organizaciones

Redes de Computadores

Introducción

- 1. Introducción a las comunicaciones**
- 2. Arquitectura TCP/IP**
- 3. Tecnologías de Redes de área local**
- 4. Nivel de transporte y aplicaciones**
- 5. Redes de Área Extensa e Internet**

Tema 1

Introducción a las Comunicaciones

Introducción

- 1.1 Conceptos básicos de transmisión de datos**
- 1.2 Medios de Transmisión. Capacidad de un canal**
- 1.3 Técnicas de transmisión**
- 1.4 Distribución de Ancho de Banda**
- 1.5 Técnicas de comunicación de datos**
- 1.6 Ejercicios**

Tema 1

Introducción a las Comunicaciones

Introducción. Conceptos de red

1.1 Conceptos básicos de transmisión de datos

- 1.1.1 Señales
- 1.1.2 Representación espectral.
- 1.1.3 Ancho de banda
- 1.1.4 Régimen binario versus ancho de banda del canal

1.2 Medios de Transmisión. Capacidad de un canal

- 1.2.1 Perturbaciones
 - 1.2.1.1 Atenuación
 - 1.2.1.2 Ruido
- 1.2.2 Capacidad de un canal
 - 1.2.2.1 Teorema de Nyquist
 - 1.2.2.2 Teorema de Shannon para canales con ruido

Tema 1

Introducción a las Comunicaciones

1.3 Técnicas de transmisión

1.3.1 Transmisión analógica y transmisión digital

1.3.2 Codificaciones digitales

1.3.2.1 Unipolar, polar

1.3.2.2 Con retorno a cero y sin retorno a cero

1.3.2.3 Manchester y Manchester diferencial

1.3.2.4 De bloque y Multinivel

1.3.3 Transmisión analógica. Modulaciones

1.3.4 Transmisión digital

1.3.4.1 Modulación MIC

1.3.4.2 Digitalización de la voz

Tema 1

Introducción a las Comunicaciones

1.4 Distribución de Ancho de Banda.

1.4.1 Multiplexación

1.4.1.1 En frecuencia (MDF)

1.4.1.2 En longitud de Onda

1.4.1.2 En el tiempo (MDT)

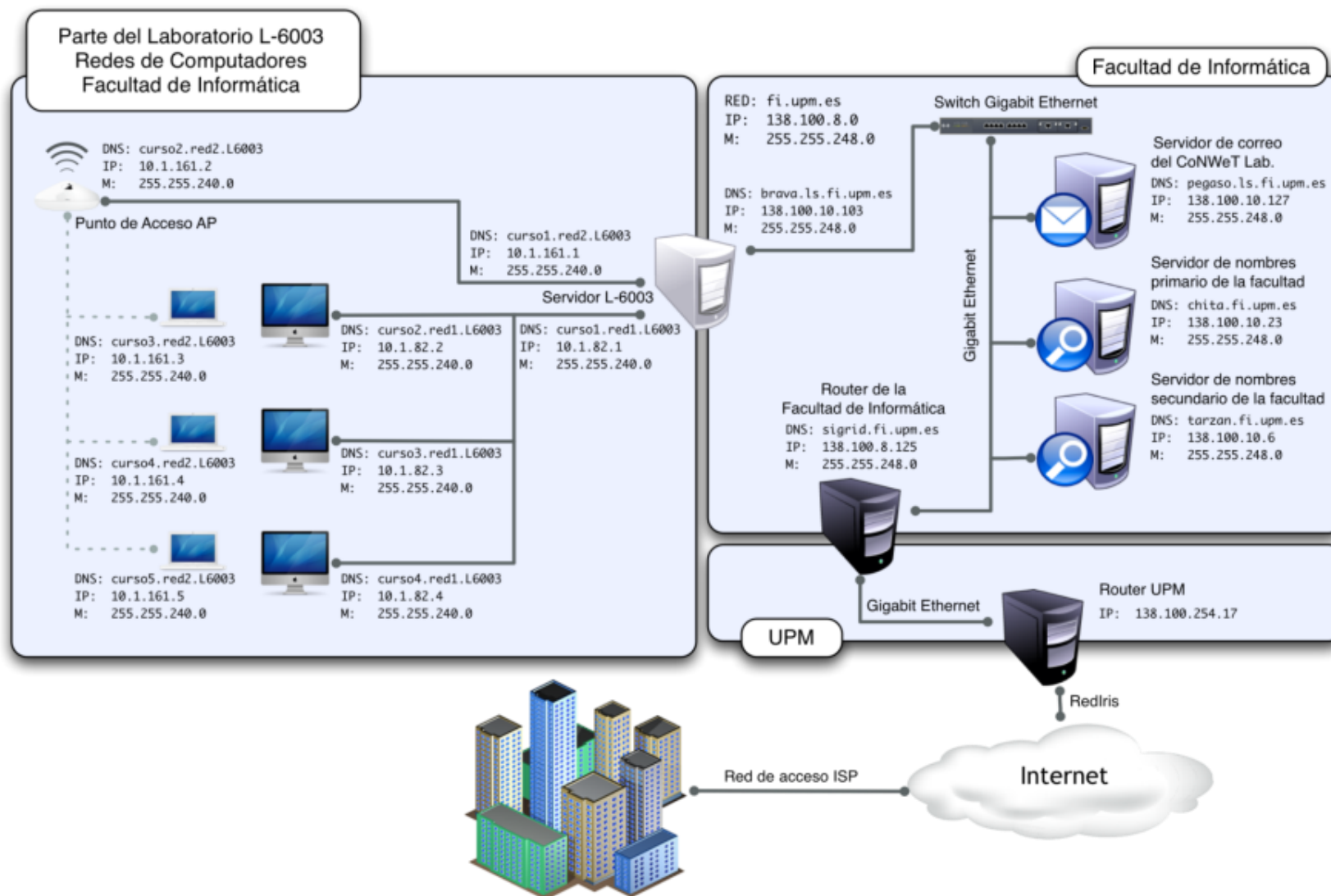
1.4.2 Espectro expandido

1.5 Técnicas de comunicación de datos

1.5.2 Control de errores

1.6 Ejercicios

Redes de Computadores



Concepto de Sistema

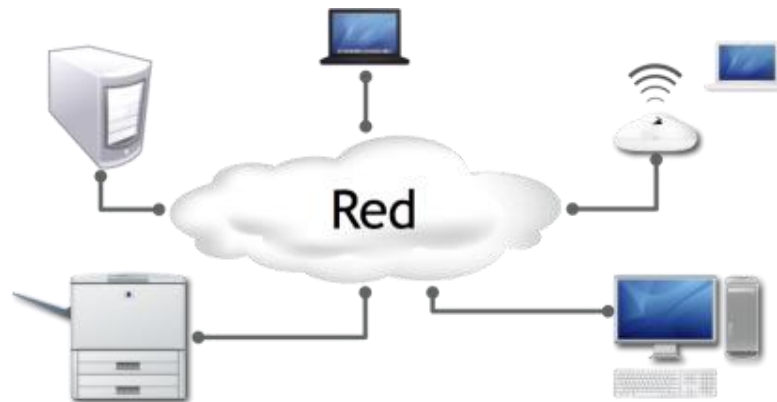
Sistema: *Entidad direccionable dentro de una red capaz de ejecutar un conjunto de protocolos de comunicaciones.*

Sistema final: *Aquél que está situado en el extremo de una comunicación. Puede ser cualquier tipo de sistema origen o destino de la comunicación. Dispone de su propia arquitectura de comunicaciones y dirección de red*

Sistema intermedio (router): *Aquél que hace de intermediario entre dos sistemas finales y permite encaminar las unidades de datos en función de la dirección de red del sistema final destinatario. Suele ser un equipo especializado que dispone de su propia arquitectura de comunicaciones.*

Concepto de Red

Red de comunicaciones: *medio común de comunicación y compartición de recursos, que vamos a representar gráficamente mediante una “nube”*



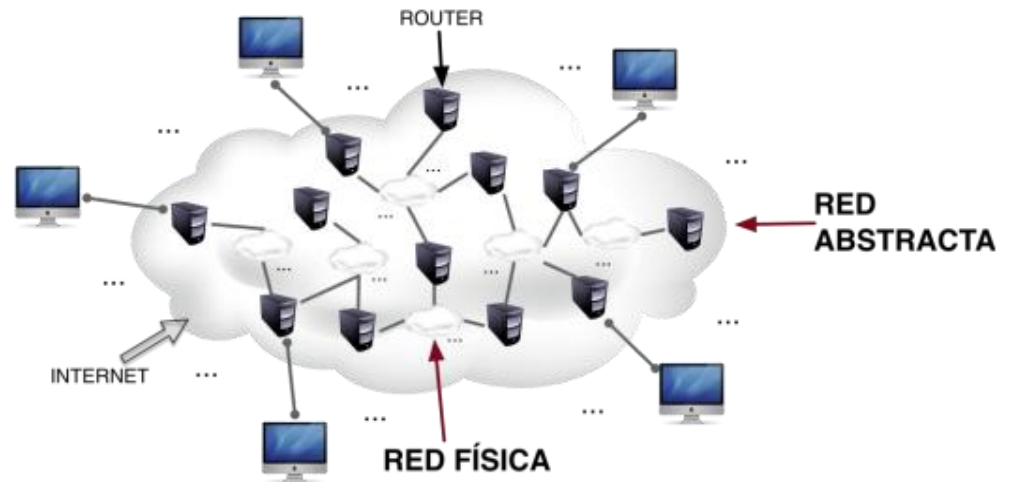
- **Red:** solución para conectar personas/dispositivos localizados en lugares diferentes con el fin de comunicarse/transferirse información y/o compartir recursos, etc.
- Debe haber un método para identificar cada dispositivo conectado en red: dirección de red

Conceptos de Red

Redes de Comunicaciones (o redes físicas): Engloban cualquier tipo de red existente para proporcionar cualquier tipo de servicio de comunicaciones (voz, datos, vídeo, etc.). Por ejemplo, una red de cable Ethernet o una red inalámbrica WiFi.

Redes de Computadoras (o redes abstractas): Formadas por la interconexión de redes de comunicaciones. Se basan en el uso de una técnica de direccionamiento y un mismo conjunto de protocolos de comunicaciones que permiten la interoperabilidad entre procesos iguales que se ejecutan en el mismo nivel de comunicaciones en computadoras diferentes. El ejemplo más significativo es la red Internet

- **INTERNET:** Una inmensa red de computadoras con tecnología TCP/IP y un formato IP de direccionamiento común



Arquitectura de comunicaciones

- **Resuelve el problema de la comunicación entre ordenadores estructurando el software en niveles**
 - **Estratificación en niveles:**
 - Reduce la complejidad del desarrollo: favorece la labor de diseño. Estructura más comprensible en diferentes niveles de comunicaciones mutuamente independientes.
 - Facilita el cambio tecnológico: los cambios realizados en un nivel no afecten al resto de los niveles
 - **Protocolo:** Conjunto de reglas que controlan la interacción entre entidades pares o iguales de máquinas distintas
 - **Interfaz:** Conjunto de reglas que controlan la interacción entre entidades de niveles contiguos en el mismo sistema

Ejemplo de solución estructurada en niveles

Dos sistemas con sólo 3 niveles: Aplicación, traducción y Físico

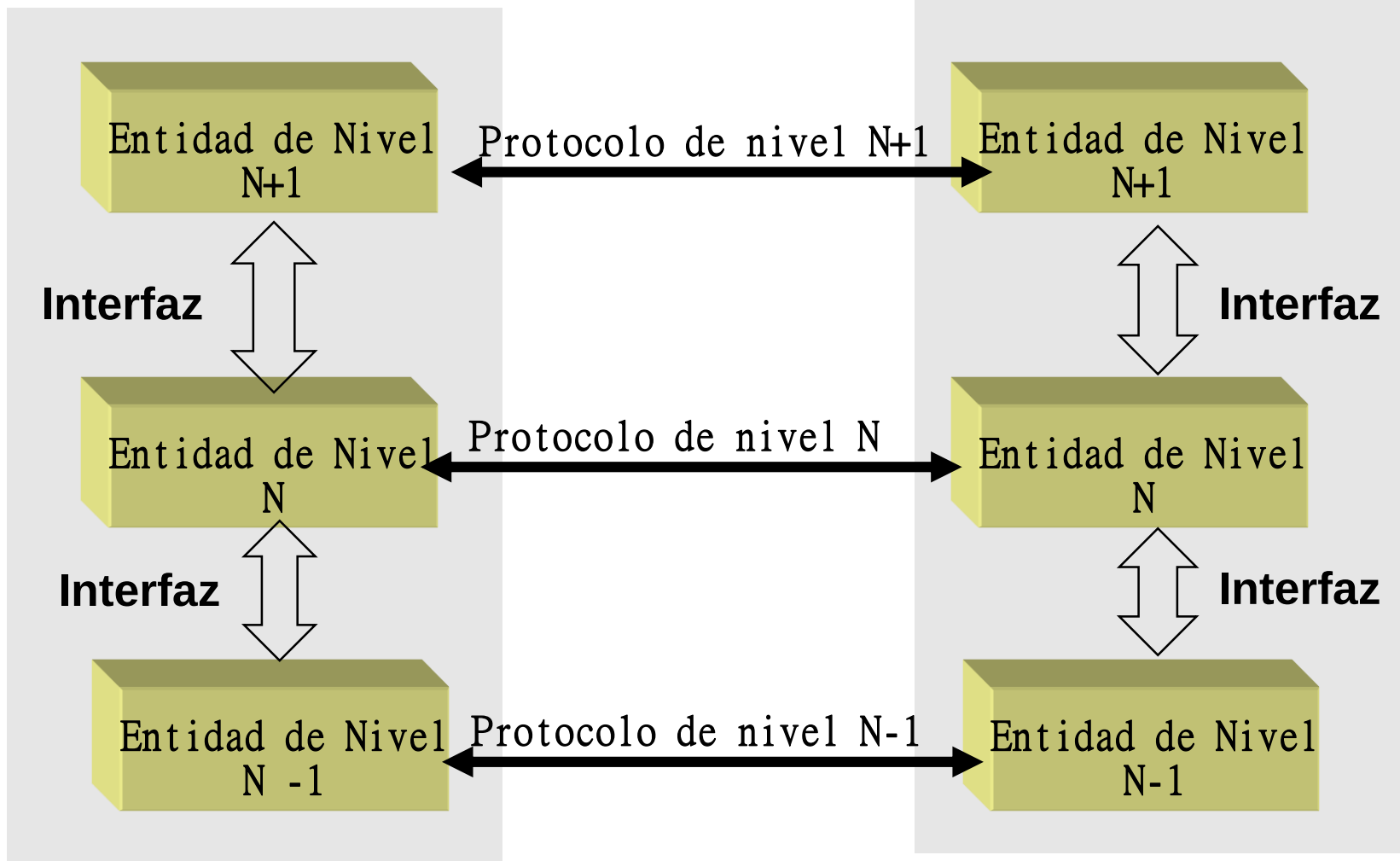


Una arquitectura estructurada de comunicaciones es un conjunto de protocolos de comunicaciones que se ejecutan de forma independiente en diferentes niveles, exceptuando el nivel más elemental o nivel físico o de hardware

Modelo de servicio: Protocolo e Interfaz

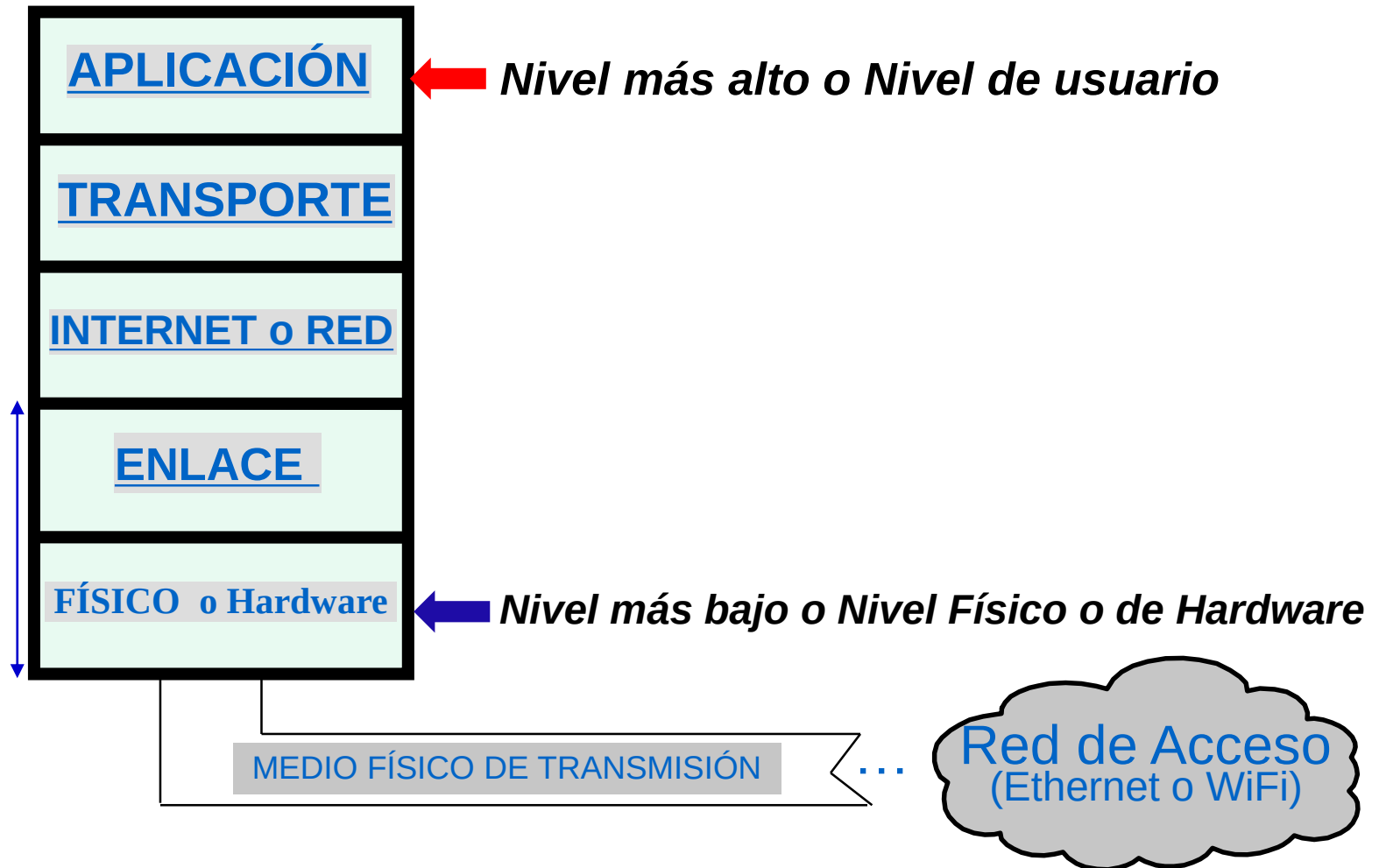
Máquina A

Máquina B

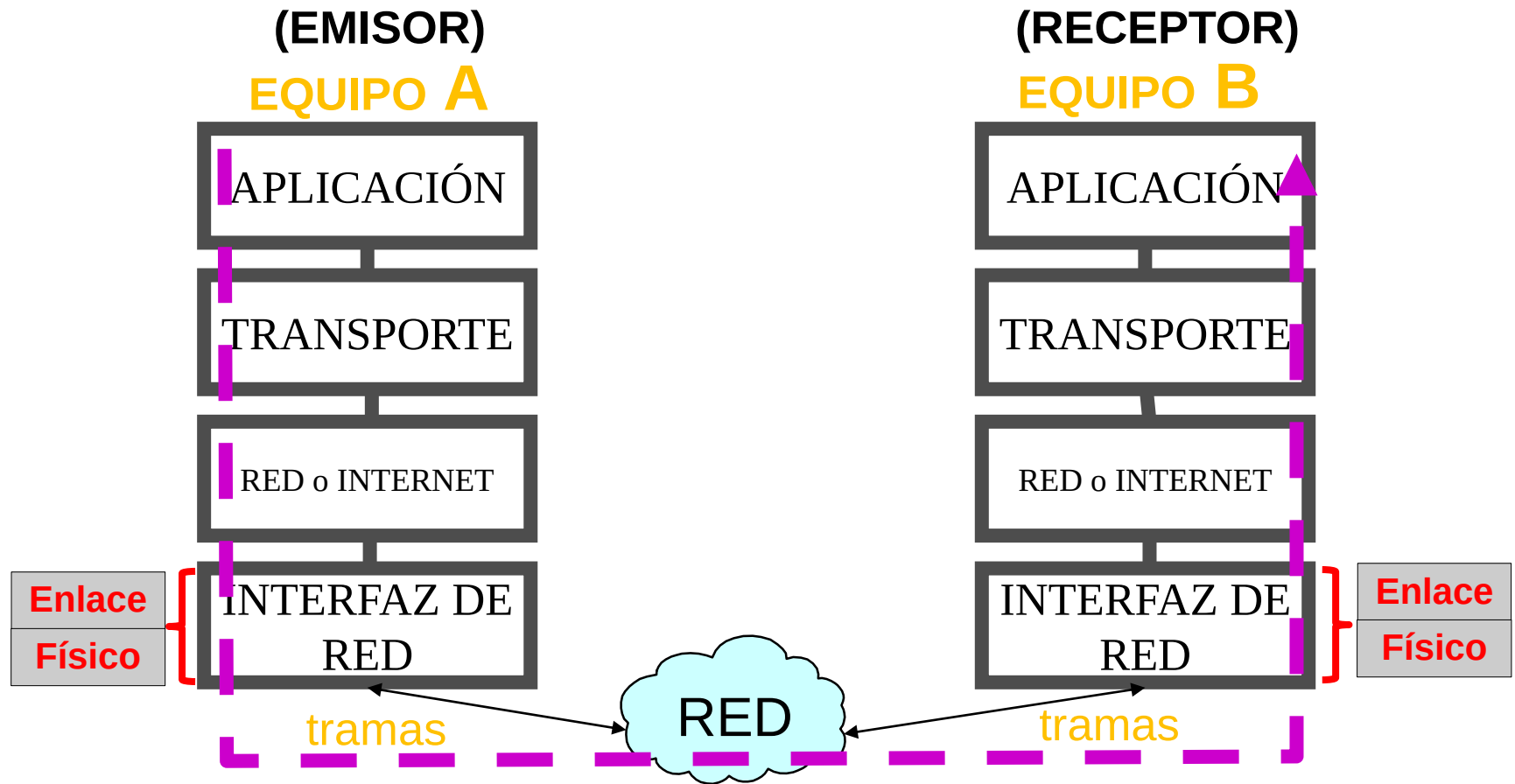


ARQUITECTURA TCP/IP

ARQUITECTURA ESTRUCTURADA en 5 NIVELES DE COMUNICACIONES

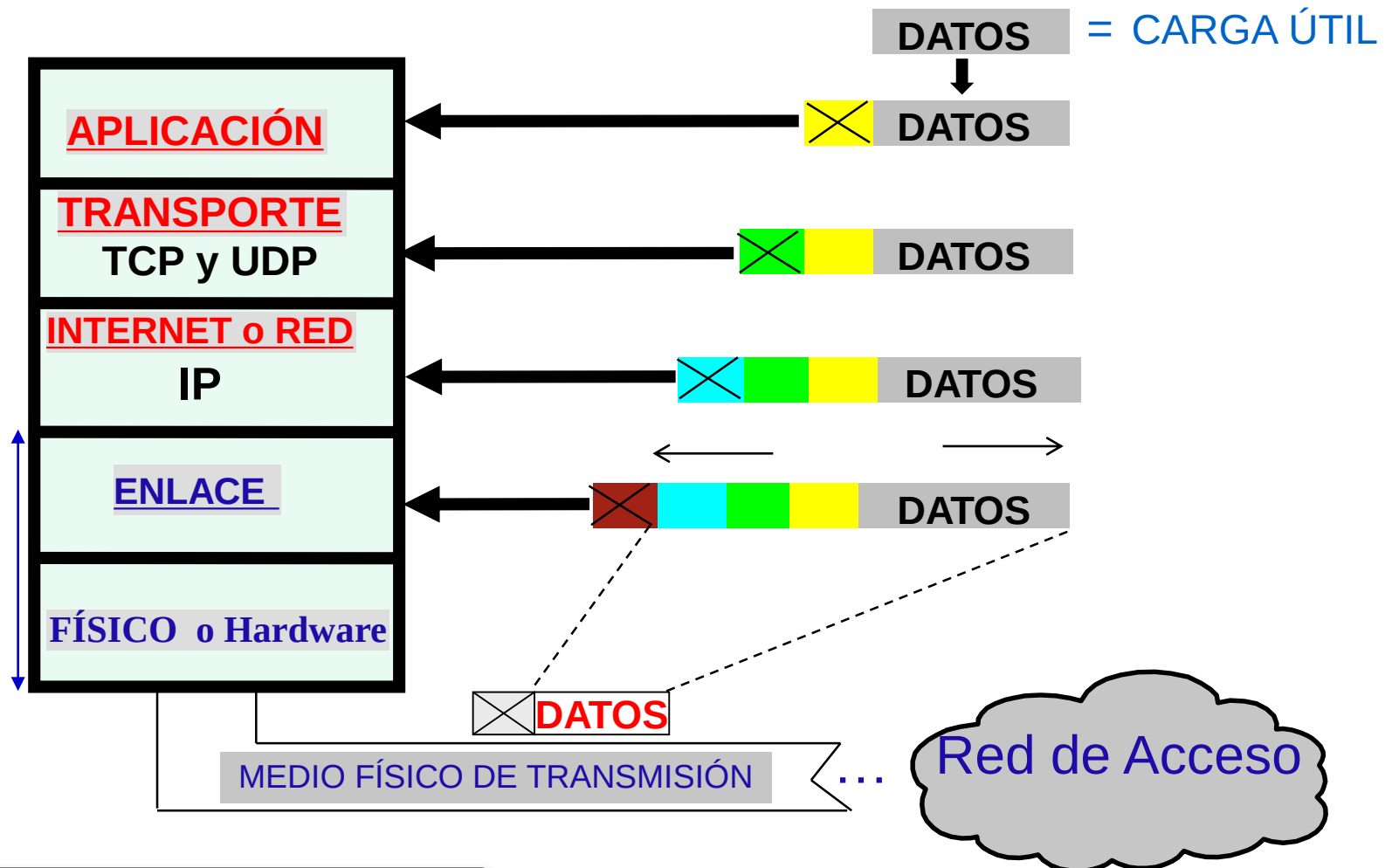


EJEMPLO DE COMUNICACIÓN ENTRE NIVELES DE EQUIPOS VECINOS



Arquitectura TCP/IP

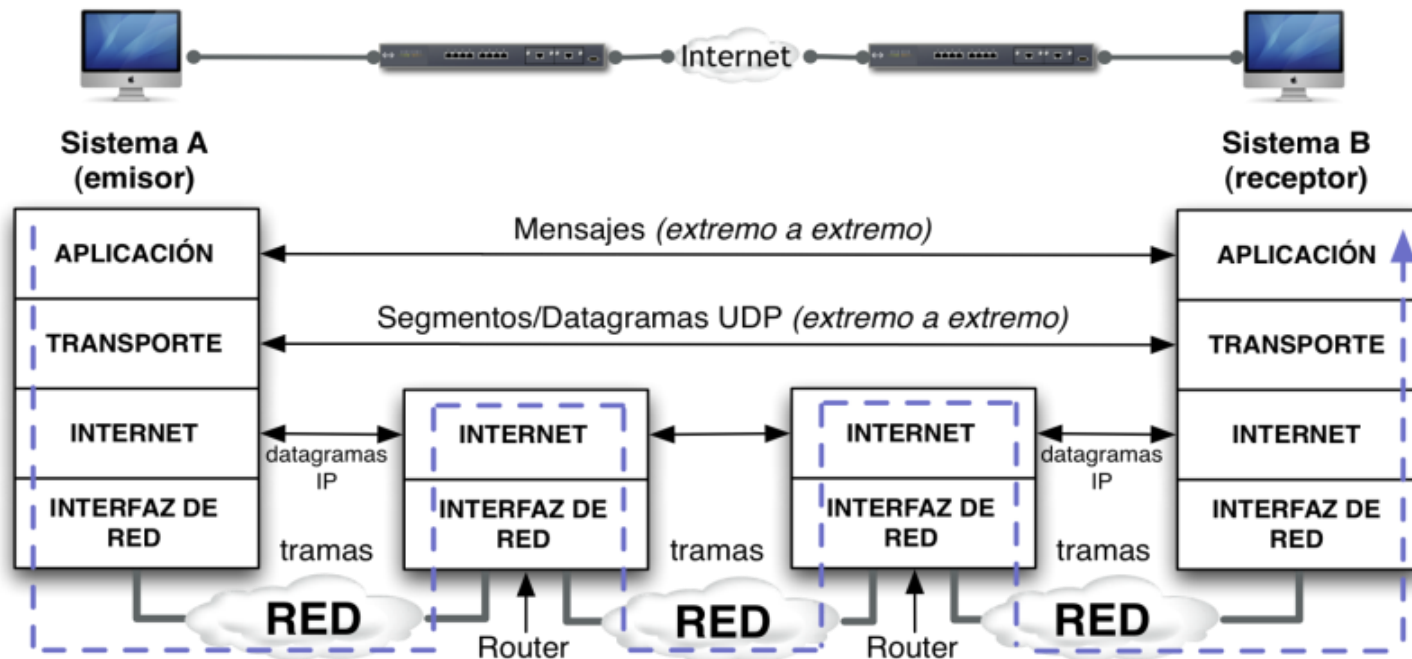
Niveles y Unidades de Datos



Arquitectura TCP/IP

Comunicación entre niveles

- Comunicación entre sistemas no vecinos vía *routers*
- Los *routers* implementan el protocolo IP



1. Introducción a las comunicaciones

Introducción

1.1 Conceptos básicos de transmisión de datos

1.2 Medios de Transmisión. Capacidad de un canal

1.3 Técnicas de transmisión

1.4 Distribución de ancho de banda

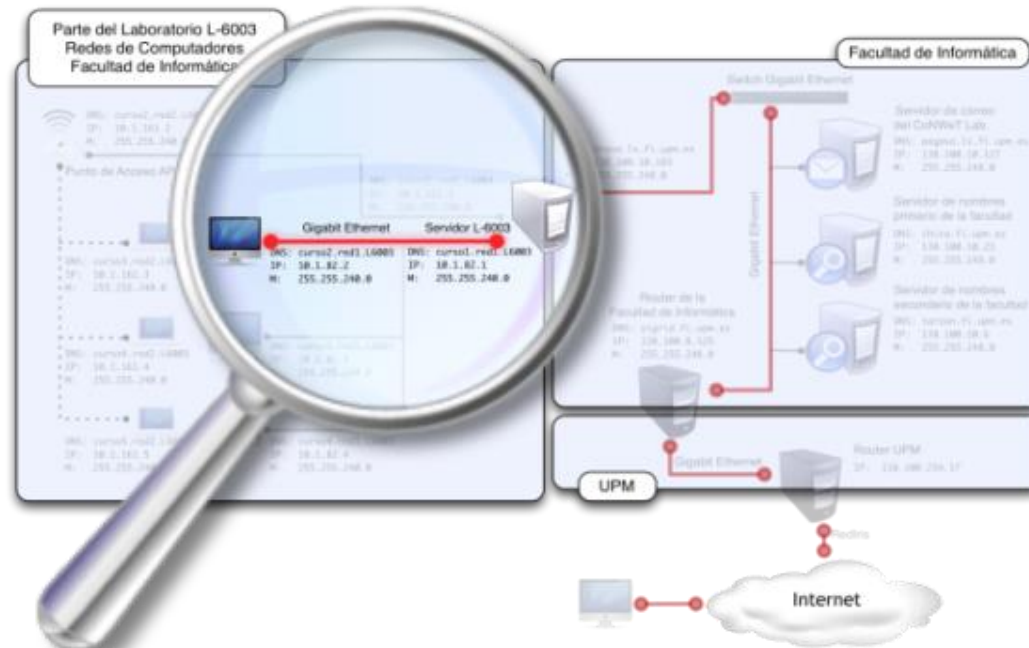
1.5 Técnicas de comunicaciones de datos

1.6 Supuestos

1.1 Conceptos básicos de transmisión de datos

- 1.1.1 Señales
- 1.1.2 Ancho de banda
- 1.1.3 Representación espectral.
- 1.1.4 Régimen binario versus ancho de banda del canal

Conceptos básicos. Transmisión de datos



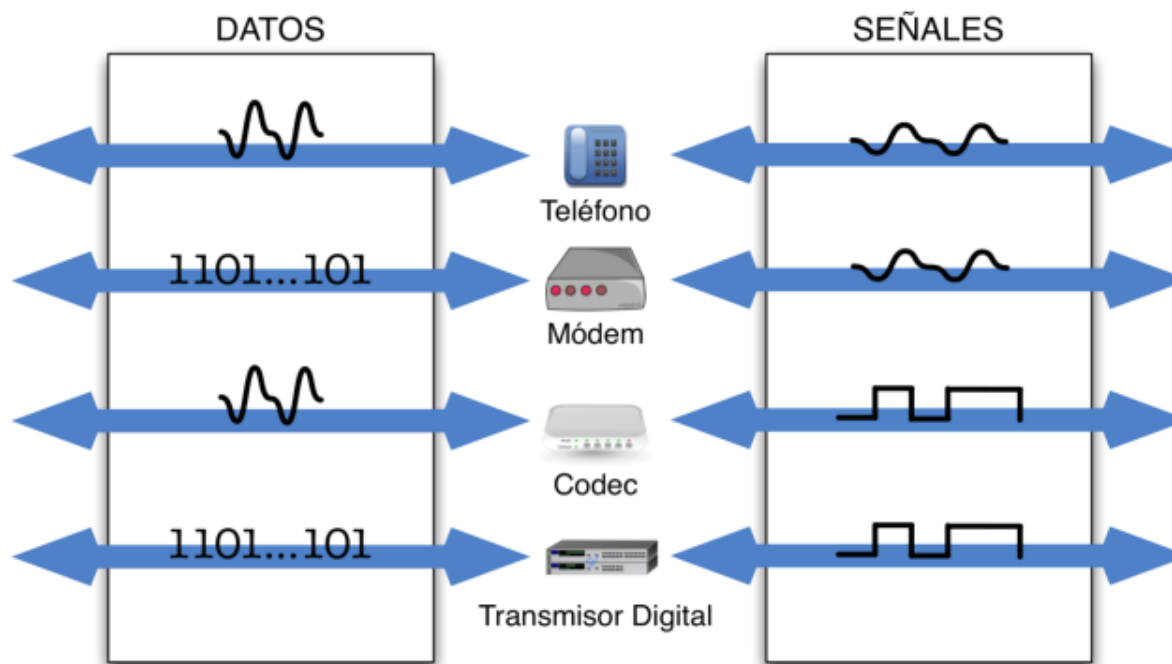
Problema a resolver:

- Mover información (bits/datos) entre máquinas

Solución a nivel físico:

- Medios de transmisión
- Señales electromagnéticas

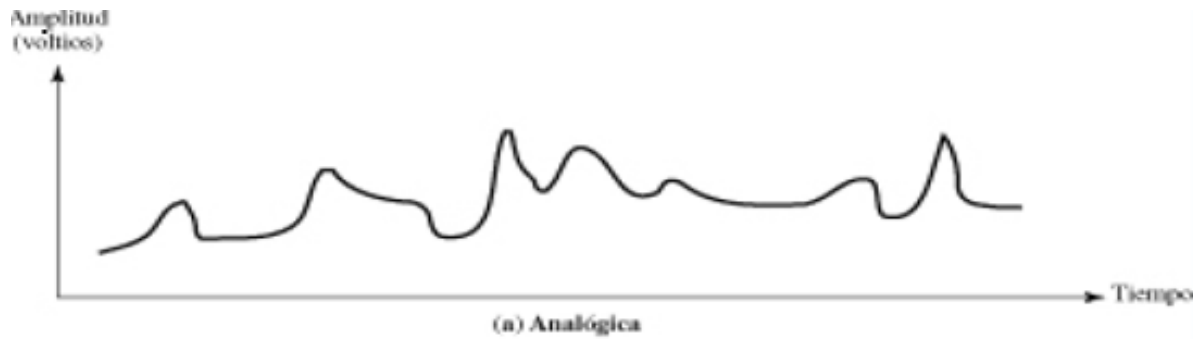
Datos y Señales



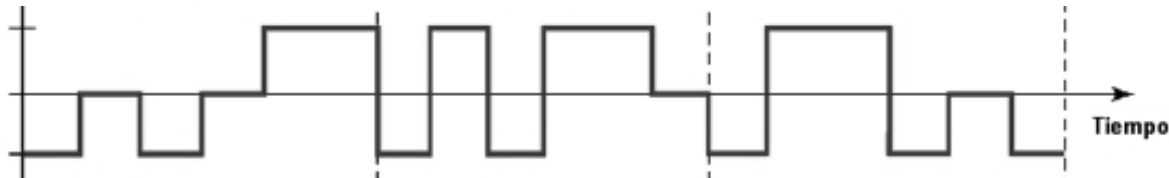
Datos analógicos: toman valores en un determinado intervalo continuo

Datos Digitales: toman valores discretos, como los valores 0 ó 1

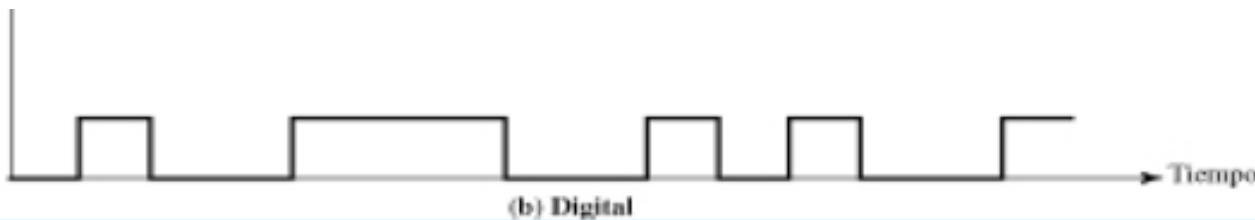
Señales analógicas y digitales



Analógica



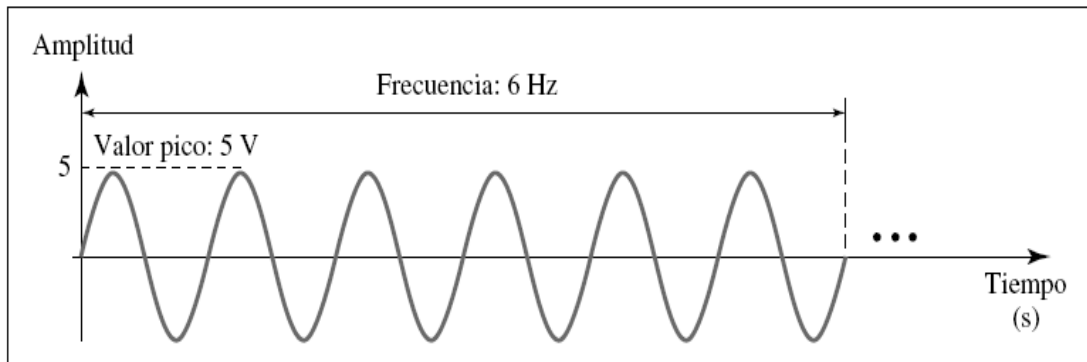
Digital (multinivel)



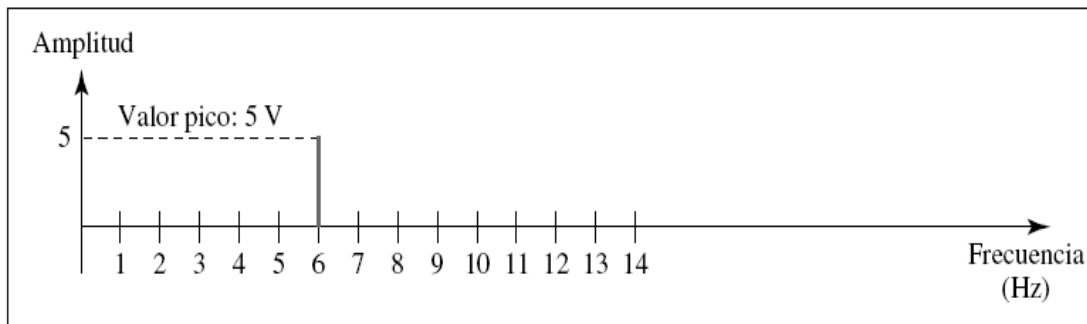
Digital (binaria)

Señales periódicas.

▪ Dominio del tiempo



a. Una onda seno en el dominio del tiempo (valor pico: 5 V, frecuencia: 6 Hz) $\text{Hz} = \text{ciclos/seg}$
 $T = 1/f$; $T = 166,6 \text{ mseg.}$



b. La misma onda seno en el dominio de la frecuencia (valor pico: 5 V, frecuencia: 6 Hz)

▪ Dominio de la frecuencia

▪ Periodo:

- Es el tiempo transcurrido entre dos puntos equivalentes de la onda

▪ Amplitud

- Valor de pico

▪ Frecuencia

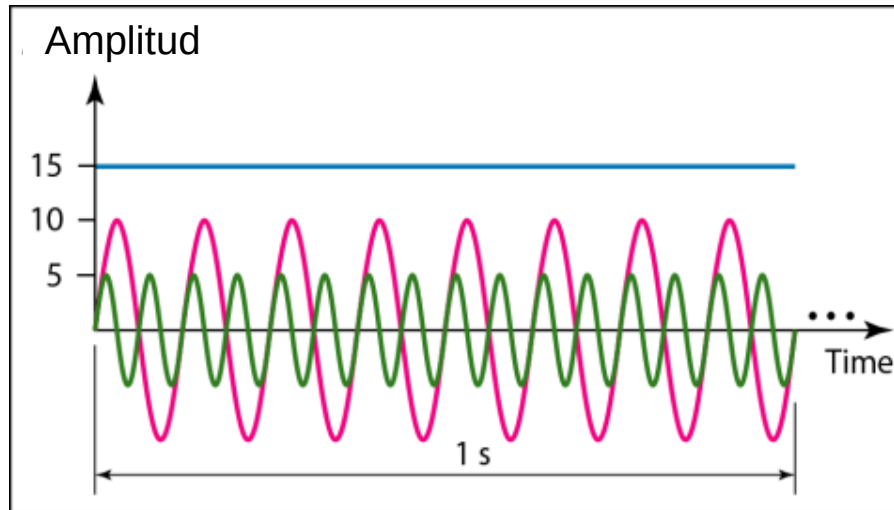
- Frecuencia es la inversa del periodo

▪ Fase:

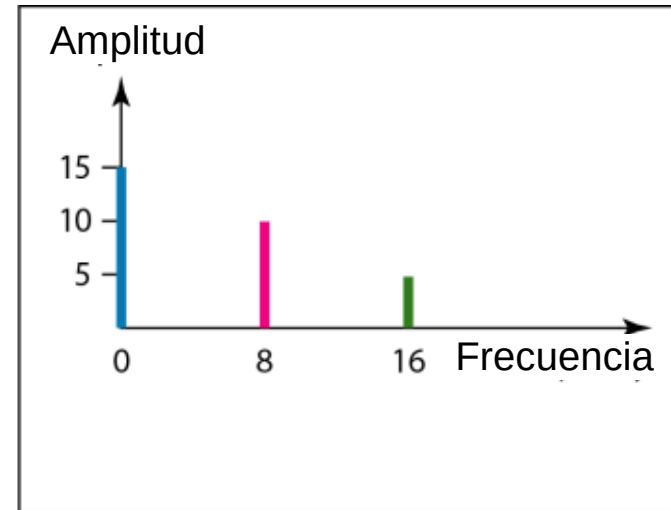
- Posición de la onda respecto a $t=0$

[Foro13]

Señales



Representación en dominio del tiempo de tres ondas seno con frecuencias 0, 8 y 16



Representación en dominio de frecuencia de las mismas tres señales

[Foro13]

Ancho de Banda

Análisis de Fourier

- Cualquier señal periódica $g(t)$ puede representarse como:

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft)$$

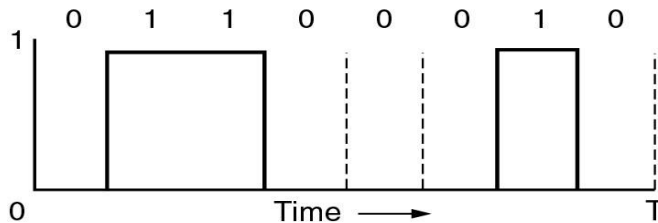
$$f_o = \frac{1}{T}$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \sin(2\pi nft) dt \quad b_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos(2\pi nft) dt \quad c = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) dt$$

[TANE11]

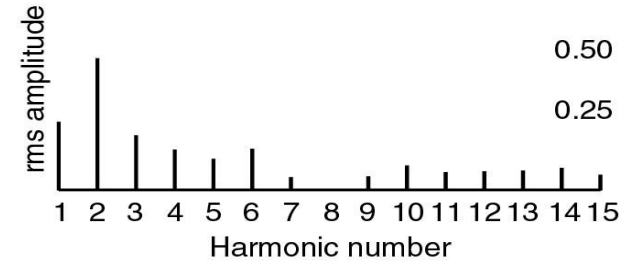
Ancho de Banda de una señal

Representación espectral de señales digitales y reconstrucción

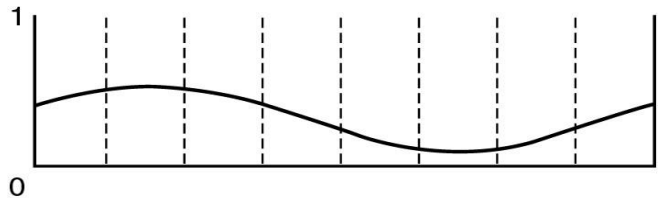


Carácter ASCII b

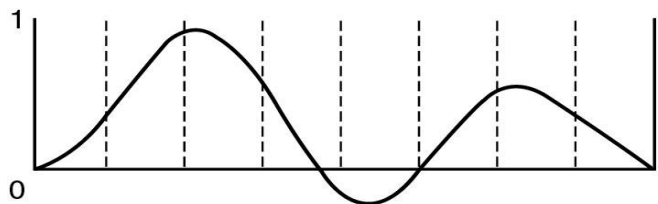
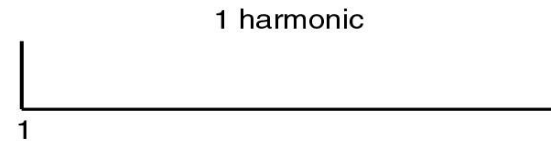
(a)



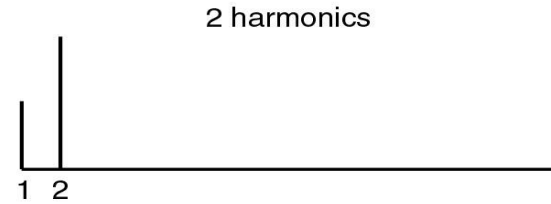
Espectro (análisis de Fourier)



(b)



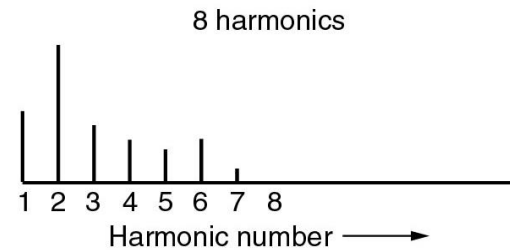
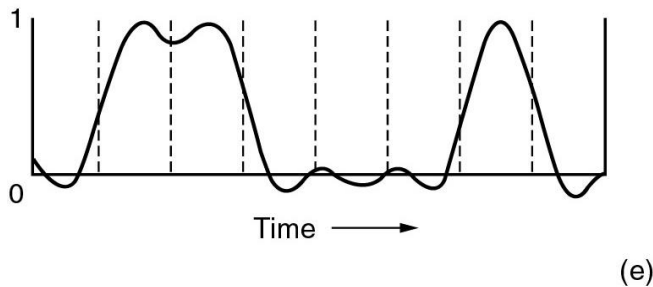
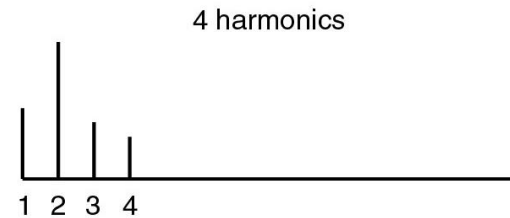
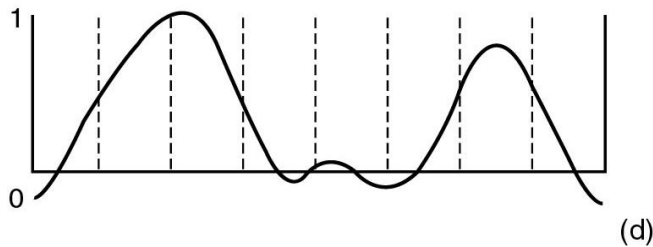
(c)



[TANE11]

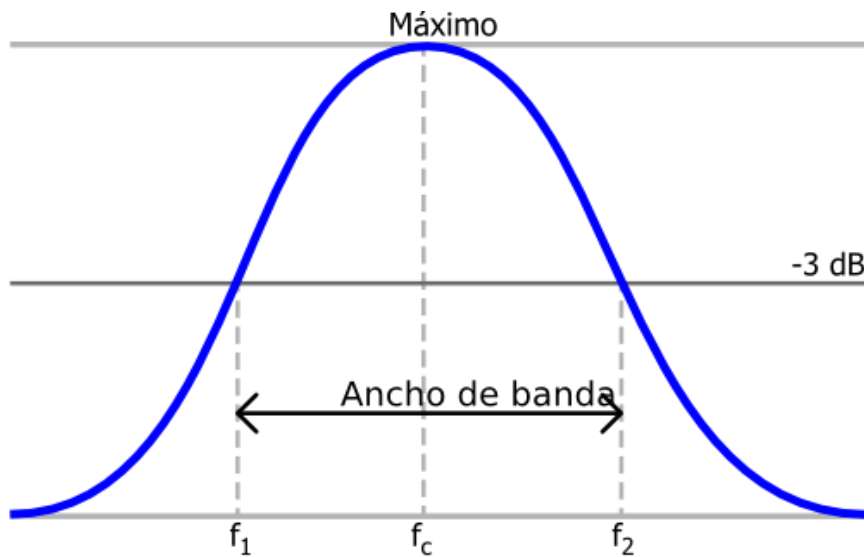
Ancho de Banda

Representación espectral de señales digitales y reconstrucción



[TANE11]

Ancho de Banda de la señal



Rango de frecuencias medida en Hz, en el que se concentra la mayor parte de la energía ó potencia de la señal.

Ancho de banda de un medio de transmisión

- Un medio de transmisión transportar información en forma de señales electromagnéticas
- Se comporta como un filtro selectivo a la frecuencia. Su ancho de banda W es el espectro de frecuencias que el medio puede transmitir.
- Un medio físico se convierte en un canal de transmisión, cuando se le acopla un transmisor en un extremo y un receptor en el otro.
- Cuando se dispone de un canal en cada sentido se denomina circuito de transmisión
- Ejemplo:
 - Medio de transmisión: par trenzado que constituye el bucle de acceso a las redes telefónicas
 - Su ancho de banda depende de la distancia: 1 MHz a 6 Km
 - Canal telefónico para transmisión de voz:
 - Se ha limitado su ancho de banda a 4 KHz

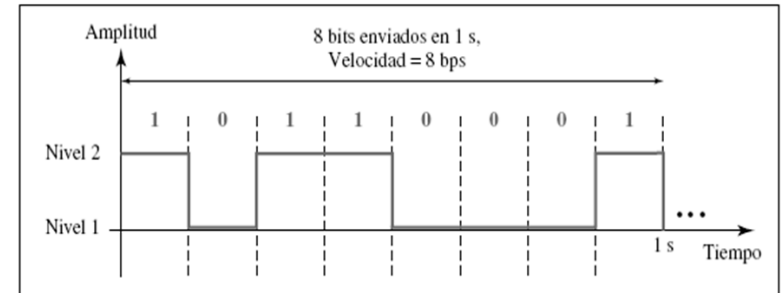
Régimen binario-ancho de banda del canal. Ejemplo canal telefónico (3 KHz)

Bps	T (msec)	First harmonic (Hz)	# Harmonics sent
300	26.67	37.5	80
600	13.33	75	40
1200	6.67	150	20
2400	3.33	300	10
4800	1.67	600	5
9600	0.83	1200	2
19200	0.42	2400	1
38400	0.21	4800	0

[TANE11]

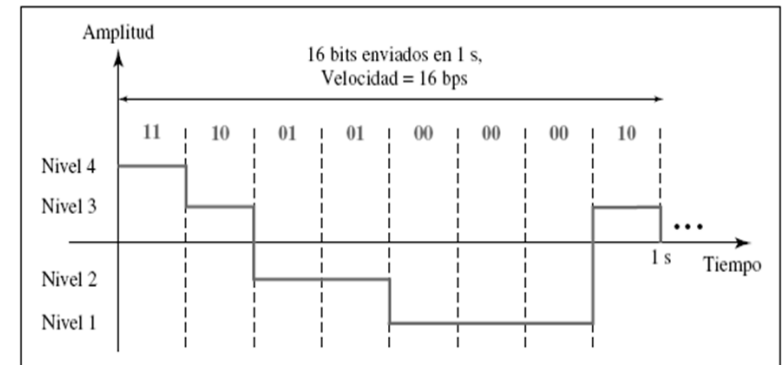
Velocidad de Transmisión- Velocidad de Señalización

- Velocidad de Transmisión, $V(\text{Bits/s})$:
- Número de bits por segundo
- Es igual a $1/T$ siendo T la duración de 1 BIT



a. Una señal digital con dos niveles

- Velocidad de Señalización, $V(\text{Baudios})$:
- Número de elementos de señalización por segundo
- Es igual a $1/T_s$ siendo T_s la duración de un intervalo de señal



b. Una señal digital con cuatro niveles

- N : Número de bits por elemento de señal
- L : Número elementos de señal diferentes

[Foro13]

Conceptos básicos. Transmisión de datos

Baudio: Velocidad máxima de cambio de señal en línea

$$V_{\text{baudio}} = 1/t$$

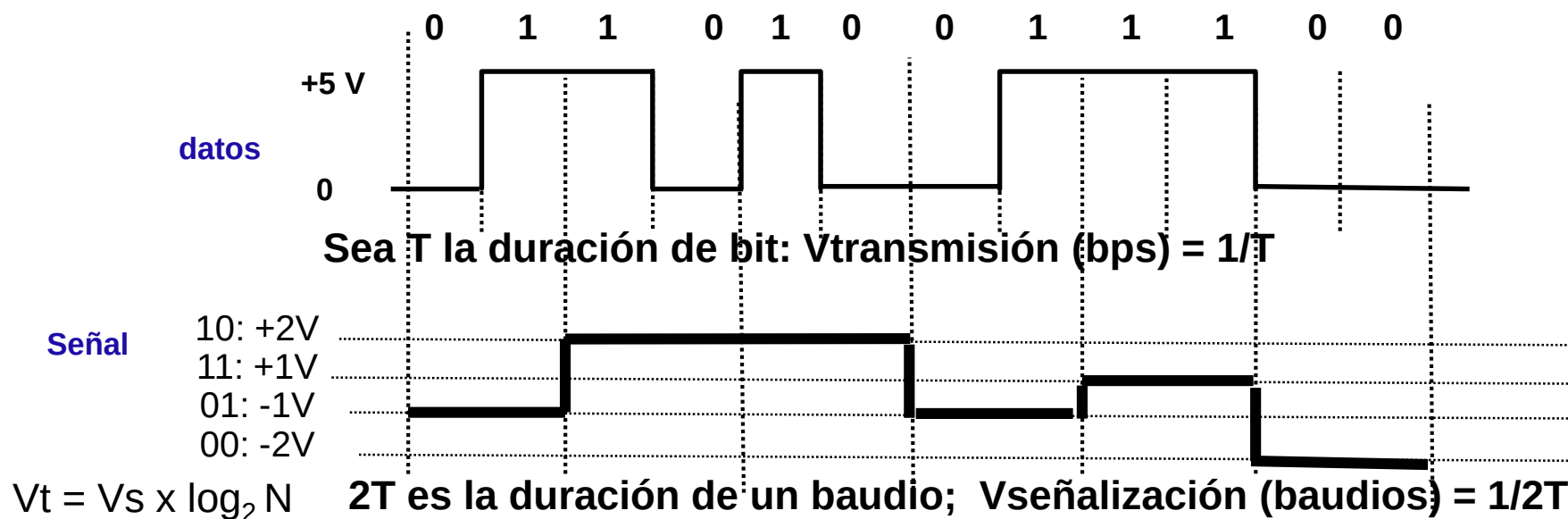
t(seg) = Intervalo significativo mínimo

Bps: Velocidad de transmisión de información

$$V_{\text{bps}} = V_{\text{baudio}} \cdot \log_2 N$$

N = número de estados posibles en la señal de la línea

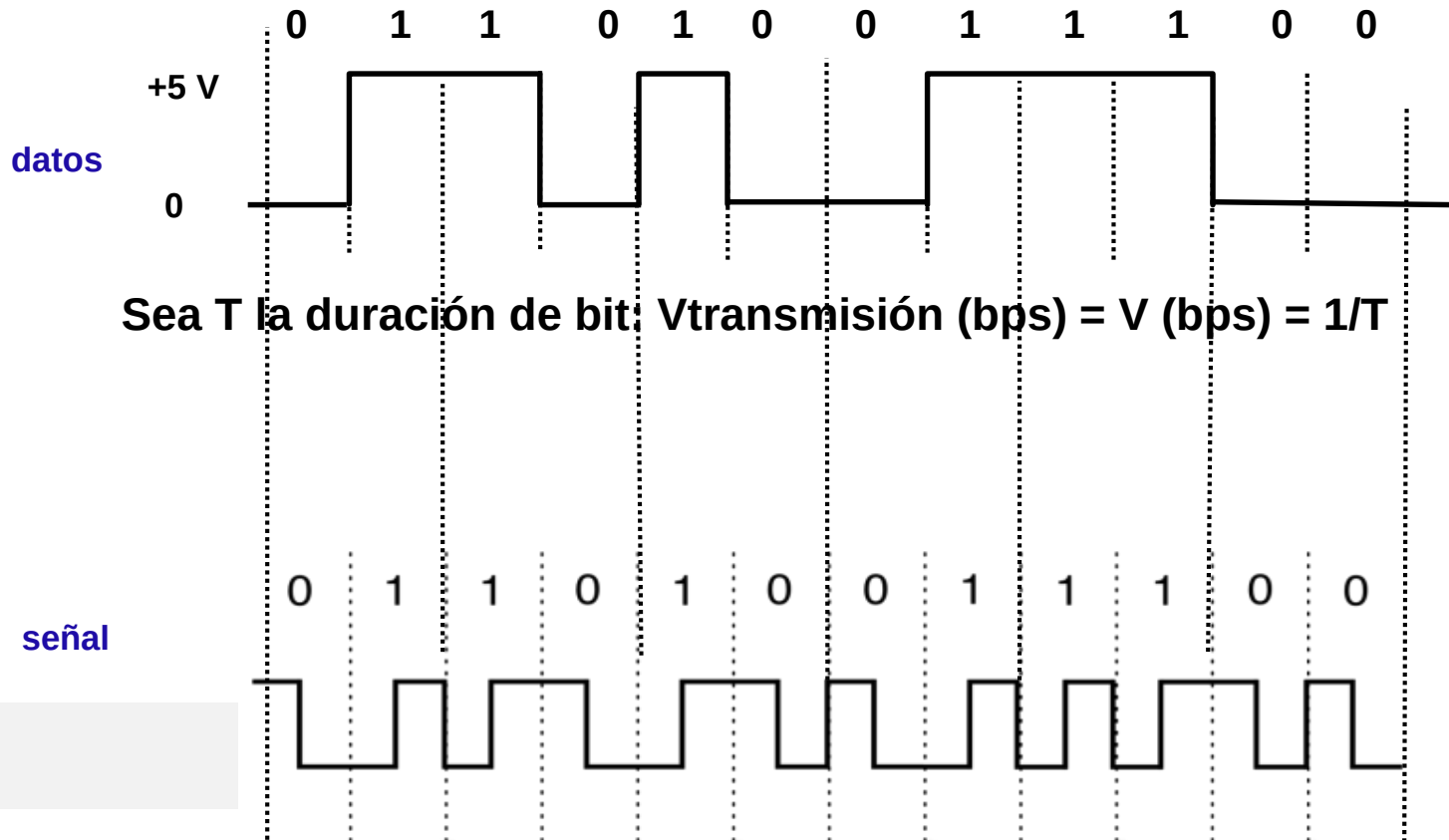
Velocidad de transmisión-velocidad de señalización/modulación (I)



Se emplean 4 niveles de señalización diferentes, cada señal transporta 2 bits.

velocidad de transmisión, $V(\text{Bits/s}) = V(\text{baudios}) \times \log_2 4 = 2 V(\text{Baudios})$

Velocidad de transmisión-velocidad de señalización/modulación (II)



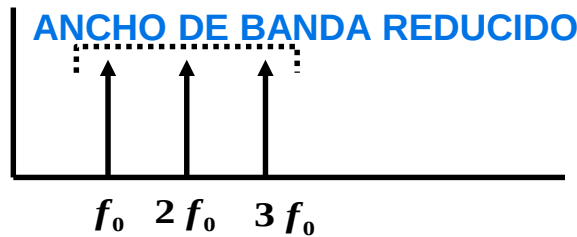
$T/2$ es la duración de un baudio; $V_{\text{señalización}} \text{ (baudios)} = 2/T = 2 V \text{ baudios}$

Se utilizan dos baudios para transmitir un bit

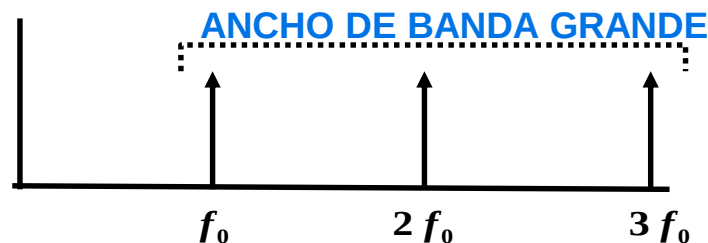
Análisis de Fourier

$$V = \frac{2}{T} \quad f_0 = \frac{1}{T}$$

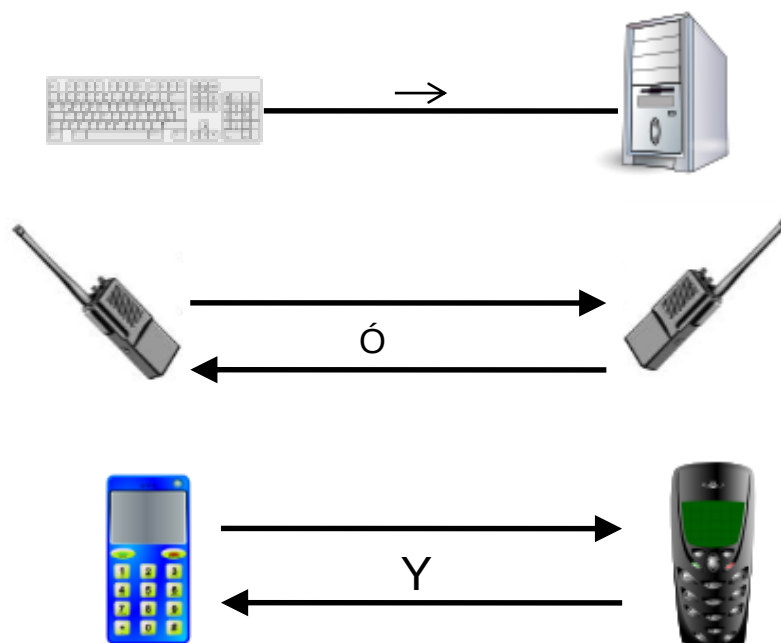
➤ Velocidad baja  $T \uparrow$ $f_0 \downarrow$



➤ Velocidad alta  $T \downarrow$ $f_0 \uparrow$



Transmisión Simplex, semidúplex y dúplex



Tema 1.

Cualquier señal periódica puede representarse en el dominio de la frecuencia como la suma de múltiples ...

- a) armónicos que representan señales sinusoidales de diferente amplitud pero todos de la misma frecuencia
- b) armónicos que representan señales sinusoidales de diferente frecuencia pero todos de la misma amplitud
- c) armónicos que representan señales sinusoidales de diferente amplitud y frecuencia
- d) armónicos que representan señales sinusoidales de diferente amplitud y frecuencia, donde todos los armónicos tienen la misma amplitud y frecuencias múltiplos de la frecuencia del primer armónico o armónico principal

La velocidad de...

- a) señalización indica el número de bits que se intercambian en un período de tiempo
- b) señalización es igual a $1/T$ siendo T la duración de intervalo significativo mínimo
- c) transmisión indica el número de elementos de señalización que cambian en un período de tiempo
- d) señalización es igual a $1/T$, siendo T la duración un bit

1. Introducción a las comunicaciones

Introducción

1.1. Conceptos básicos de transmisión de datos

1.2. Medios de Transmisión. Capacidad de un canal

1.3 Técnicas de transmisión

1.4 Distribución de ancho de banda

1.5. Técnicas de comunicaciones de datos

1. 6 Supuestos: Tema 1

1.2. Medios de transmisión. Capacidad de un canal

1.2.1 Medios de transmisión

1.2.1 Perturbaciones

- Atenuación
- Ruido

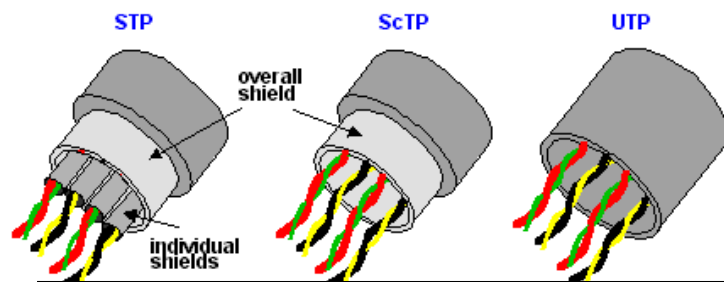
1.2.3 Capacidad de un canal

- Teorema de Nyquist
- Teorema de Shannon para canales con ruido

Medios de transmisión

- Par trenzado
- Cable coaxial
- Fibra óptica
- Medios inalámbricos

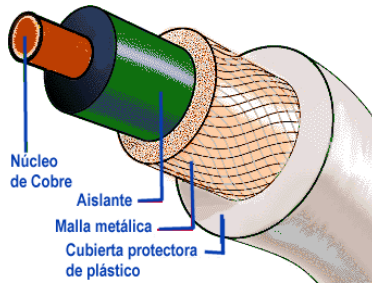
Par trenzado



- STP: Shielded Twisted Pair
- ScTP: Screened Twisted Pair
- UTP: Unshielded Twisted Pair

UTP			
Categoría	Ancho de banda	Velocidad	Aplicaciones
Cat 1	400 KHz	1 Mbps	Redes telefónicas (acceso)
Cat 2		4 Mbps	
Cat 3	16 MHz	16 Mbps	Ethernet. 10 Base T
Cat 4		20 Mbps	
Cat 5	100-125 MHz	100 Mbps	Ethernet. 100/1000 Base T
Cat 5e	100-125 MHz	1Gbps	Ethernet. 100/1000 Base T
Cat 6	250 MHz	1 Gbps	! Giga Base T
Cat 7	600 MHz	1Gbps	10 Giga Base T

Cable coaxial



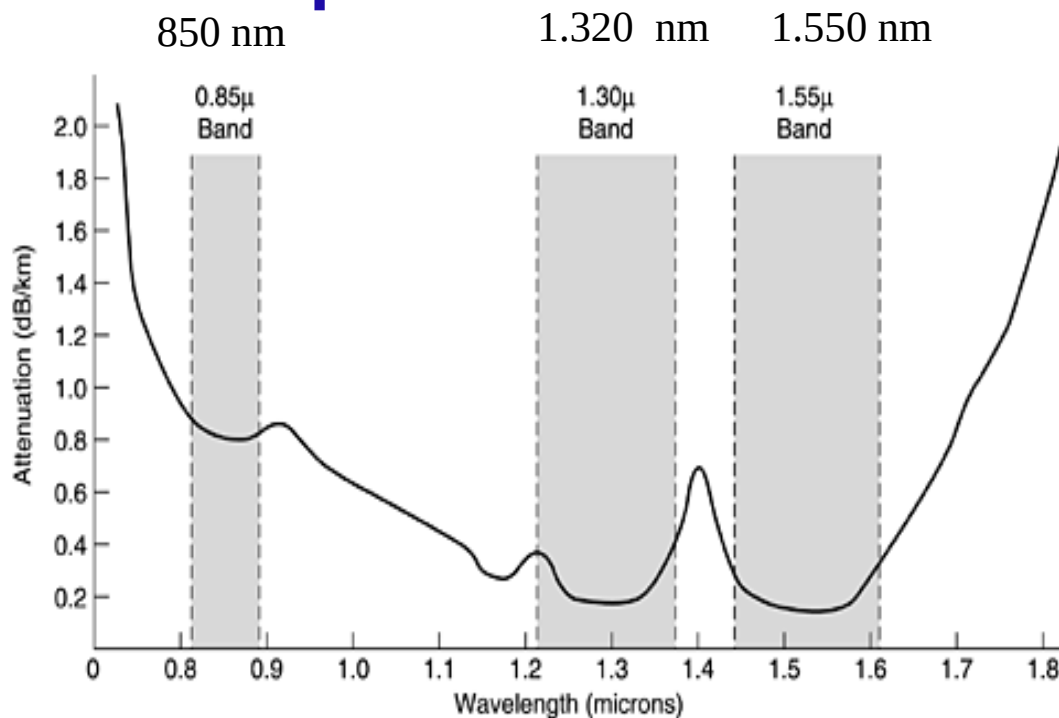
**Ancho de banda del
orden de 500 MHz**

- **Utilización actual:**
 - **Distribución de señales de TV**
 - **Acceso a Internet**

Fibra óptica

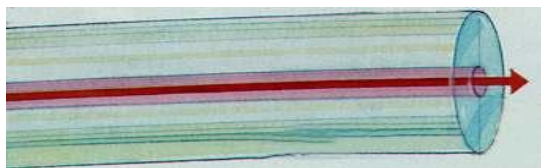
$$\lambda = \frac{c}{f}$$

λ : longitud de onda
c: velocidad de la luz
f : frecuencia



Banda de 0,3 a 3 micras; de 100 THz a 1.000 THz

Monomodo



Multimodo

Perturbaciones de la señal en los medios de transmisión

Atenuación: Disminución en amplitud de la corriente o potencia de una señal durante su transmisión entre dos puntos.

La atenuación de la señal se mide en decibelios

$$dB = 10 \log_{10} P2/P1$$

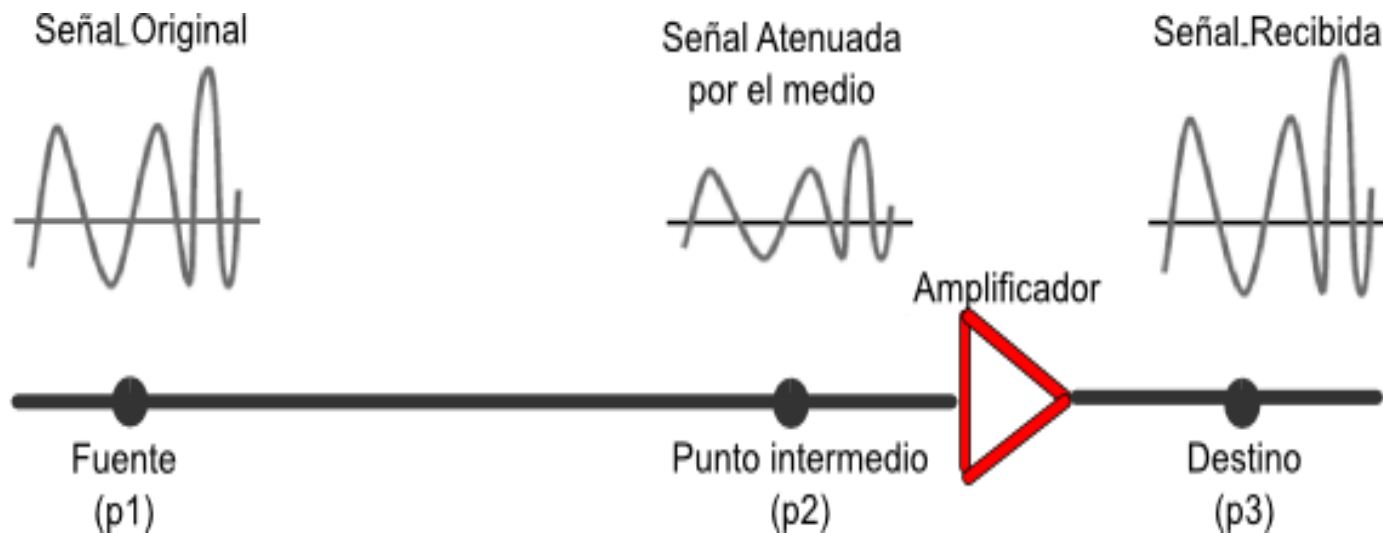
Ruido: Señales no deseadas que se combinan con la señal transmitida. Si el nivel de ruido es alto puede enmascarar a la señal transmitida.

La influencia del ruido en la señal se mide en decibelios

$$\left(\frac{S}{R}\right)_{dB} = 10 \log_{10} \frac{Pot_Señal}{Pot_Ruido}$$

Perturbaciones en la Transmisión

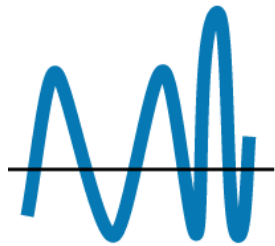
Atenuación



Perturbaciones en la Transmisión

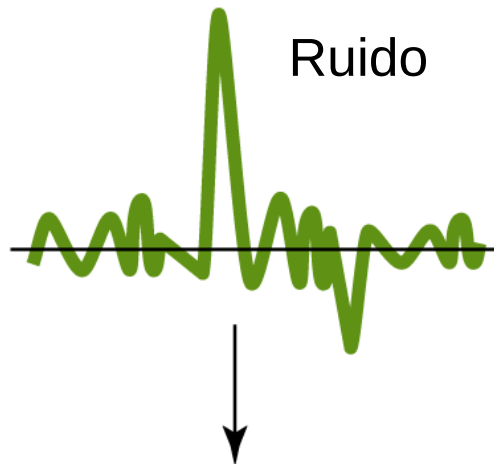
Ruido

Transmitida



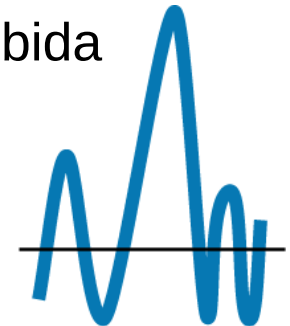
Punto 1

Ruido



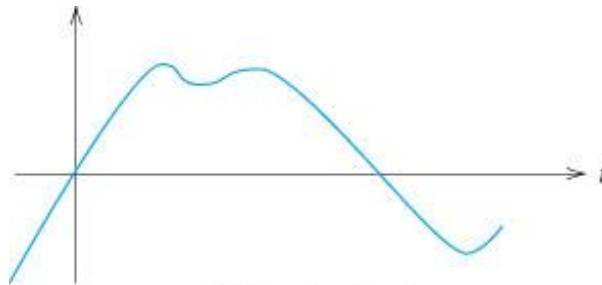
Medio de transmisión

Recibida

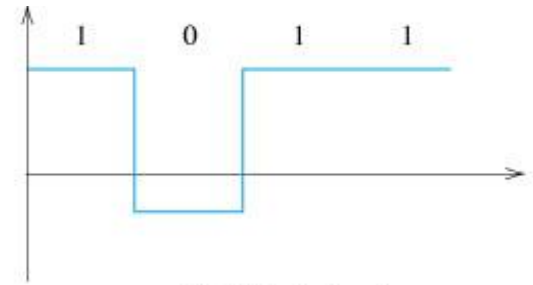


Punto 2

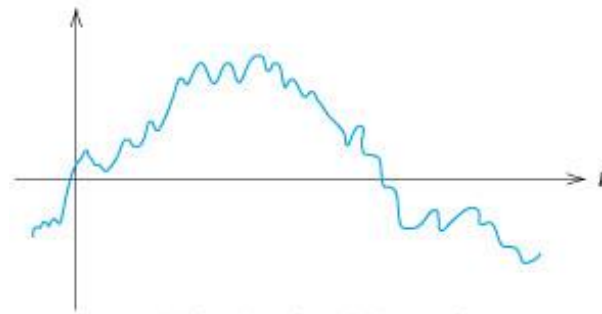
Transmisión analógica y transmisión digital



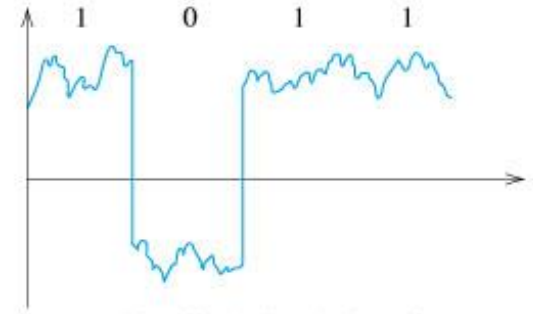
(a) Analog signal



(b) Digital signal



(c) Analog signal plus noise



(d) Digital signal plus noise

- La **atenuación** se corrige mediante amplificadores
- La señal analógica no se podrá reconstruir totalmente.
- La transmisión analógica siempre añade ruido
- La **atenuación** se corrige mediante regeneradores
- La señal digital si se puede reconstruir.
- La transmisión digital de señales es sin ruido

Capacidad del Canal

- **Canales sin ruido** (Teorema de Nyquist):

$$C \text{ (baudios)} = 2 W$$

$$C = 2W \log_2 N \quad \text{Bits / seg}$$

- **Canales con ruido** (Teorema de Shannon):

$$N = \sqrt{1 + S / N}$$

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{R}\right) \quad \text{Bits / seg}$$

$$\left(\frac{S}{R}\right)_{dB} = 10 \log \frac{\text{Pot} \text{ _ Señal}}{\text{Pot} \text{ _ Ruido}}$$

Tema 1.

1. Calcular la capacidad de un canal telefónico (3,1 KHz) que emplea señales binarias y cuya relación S/R es 30 dB
2. Calcular la capacidad de un canal telefónico (3,1 KHz) cuya relación S/R es 30 dB
3. Demostrar para que valores grandes de S/R, la eficiencia del medio de transmisión en bit/Hz es igual a un tercio de la S/R en dB

Tema 1.

El número de niveles significativos que puede tomar una señal está limitado por...

- a) el ancho de banda del medio físico
- b) el ancho de banda del medio físico y su relación señal ruido
- c) la relación señal ruido
- d) la atenuación presente en el medio físico

Si se transmite una señal binaria, la relación señal/ruido. . .

- a) limita la velocidad máxima de señalización
- b) limita el número de niveles significativos que puede tomar la señal
- c) limita la velocidad máxima de transmisión
- d) no limita ni la velocidad máxima de señalización ni la de transmisión. Aunque puede impedir la transmisión

Test

Indique la afirmación correcta acerca del teorema de Shannon:

- a) La capacidad del canal de comunicaciones es independiente de la relación señal ruido
- b) La capacidad del canal de comunicaciones sólo depende de la relación señal ruido
- c) La capacidad del canal de comunicaciones es independiente del ancho de banda
- d) La capacidad del canal de comunicaciones depende de la velocidad de señalización y de la relación señal ruido

1. Introducción a las comunicaciones

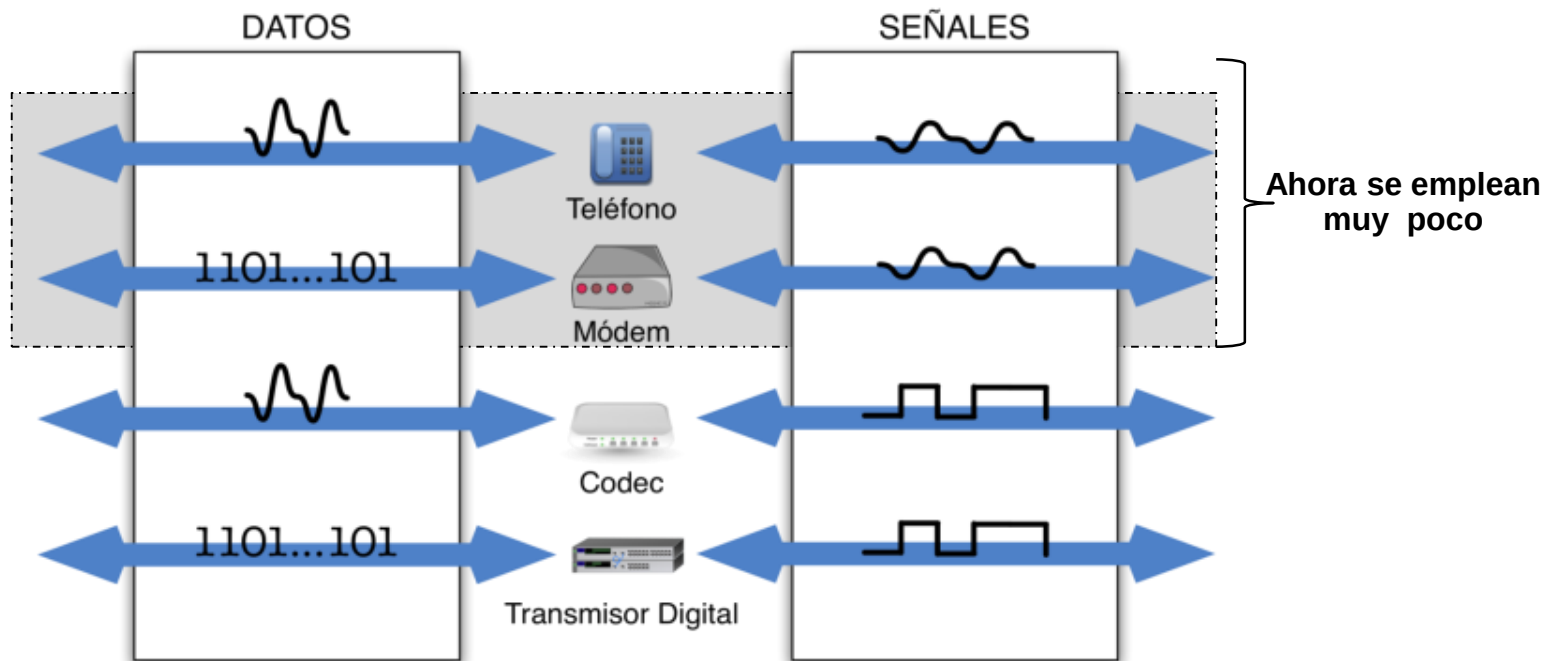
Introducción

- 1.1. Conceptos básicos de transmisión de datos
- 1.2. Medios de Transmisión. Capacidad de un canal
- 1.3 Técnicas de transmisión**
- 1.4 Distribución de ancho de banda
- 1.5. Técnicas de comunicaciones de datos
- 1. 6 Supuestos: Tema 1

1.3 Técnicas de transmisión

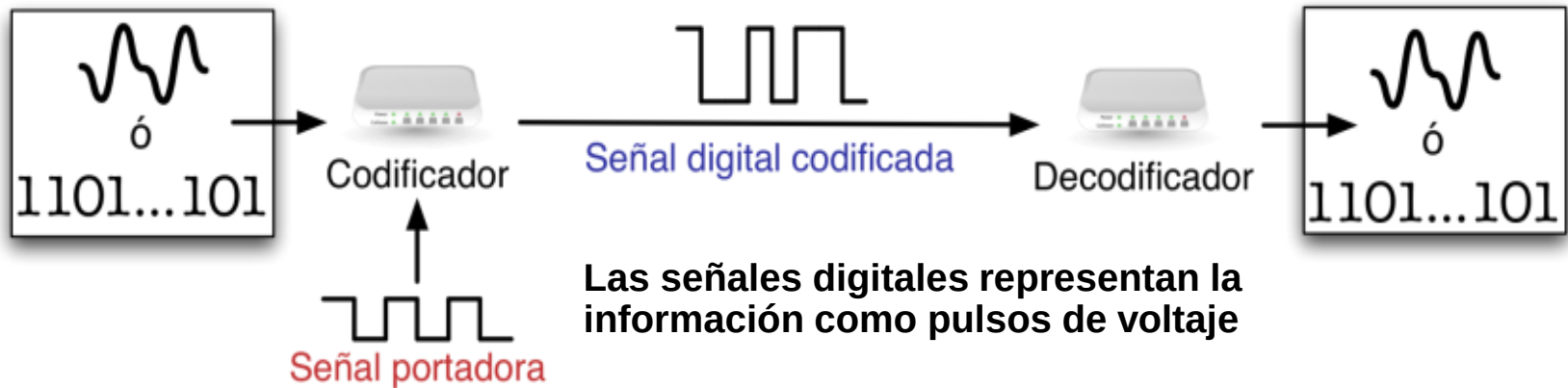
- 1.3.1 Transmisión analógica y transmisión digital
- 1.3.2 Codificaciones digitales
- 1.3.3 Transmisión digital
- 1.3.4 Transmisión analógica. Modulaciones

1.3.1 Datos y Señales



Transmisión analógica y transmisión digital

Transmisión digital



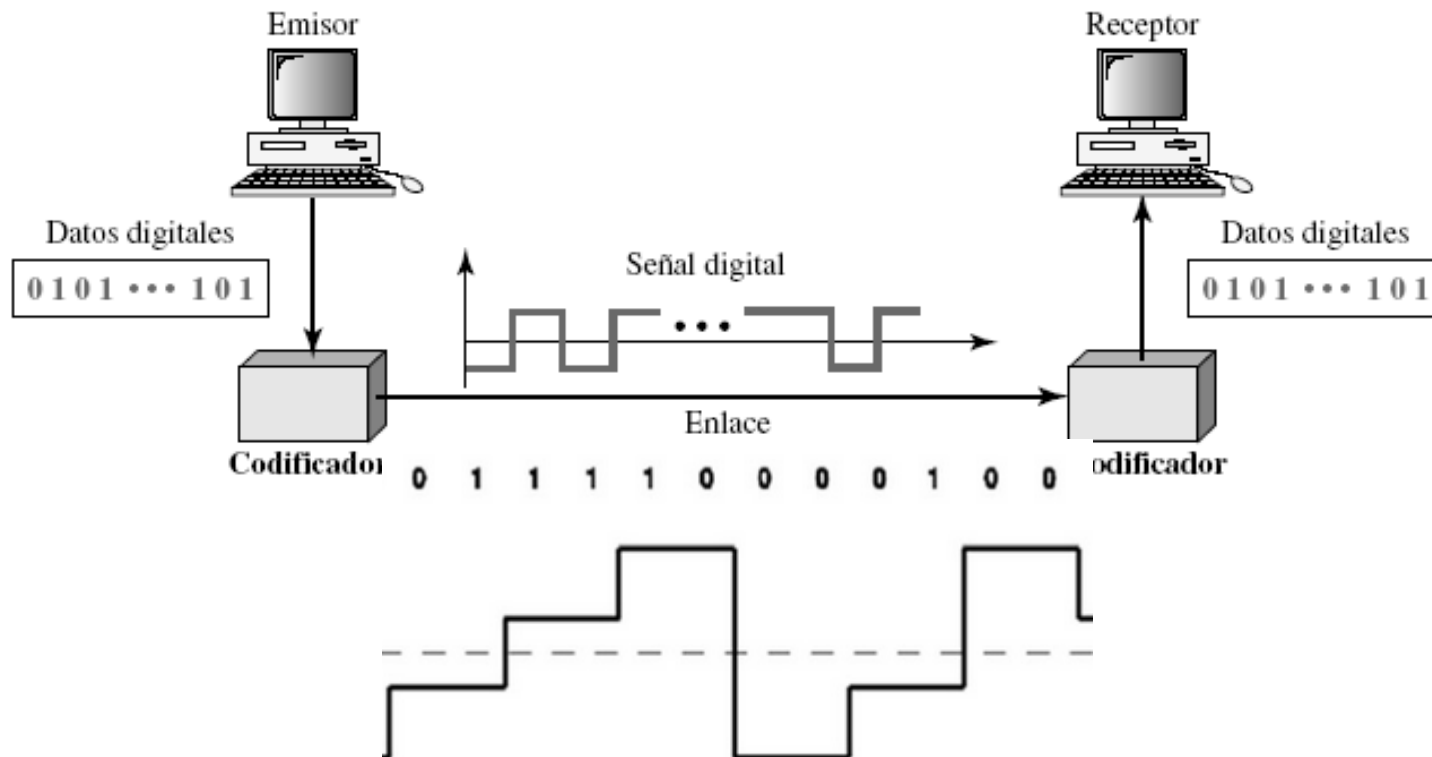
Transmisión analógica



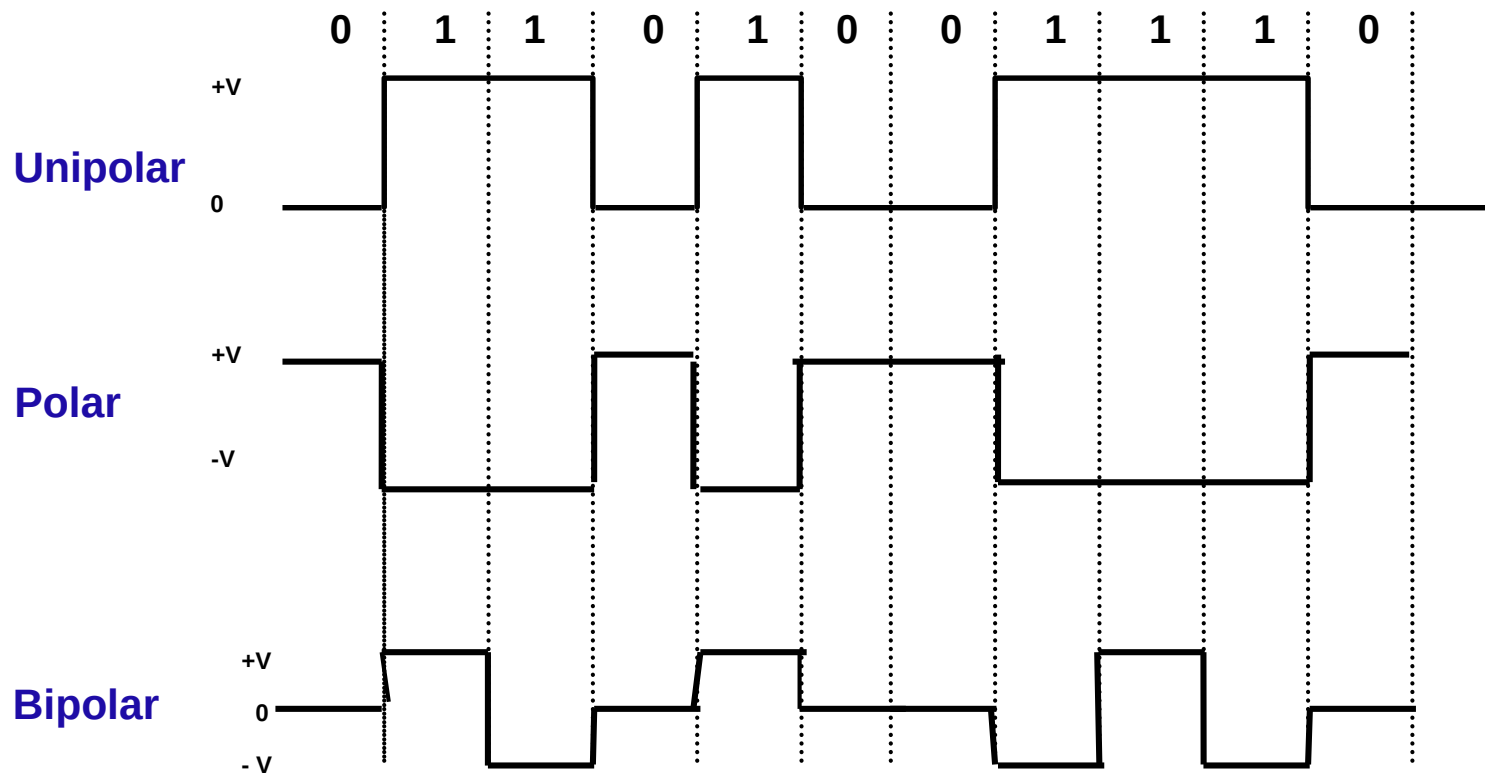
Codificaciones digitales

✓ Objetivo

- Adaptar la señal al medio de transmisión



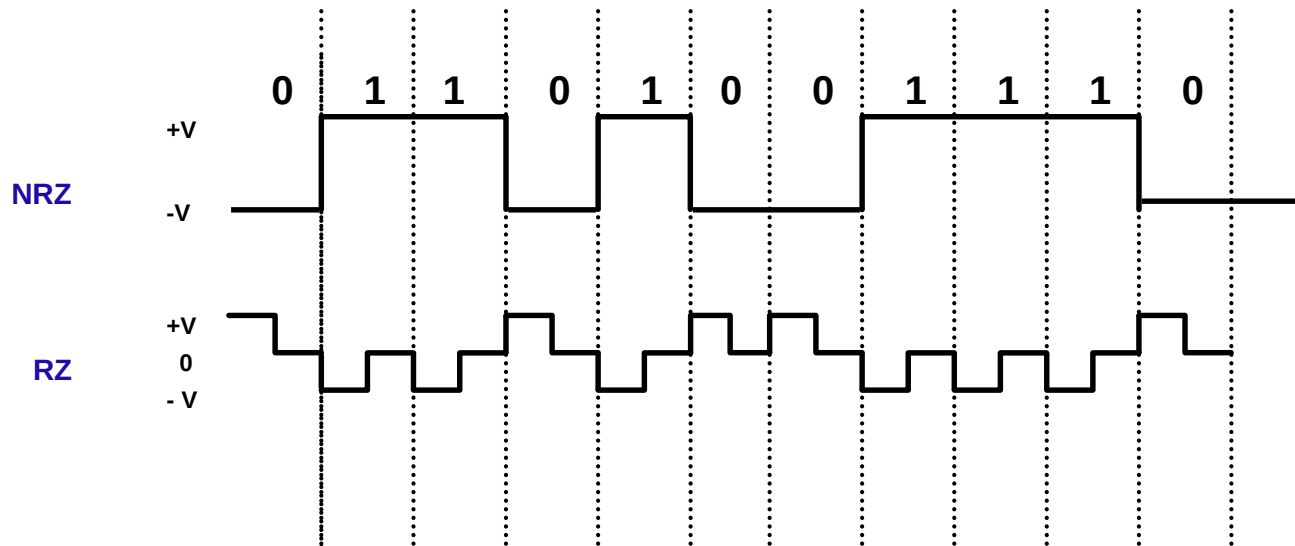
Transmisión digital



Transmisión Digital

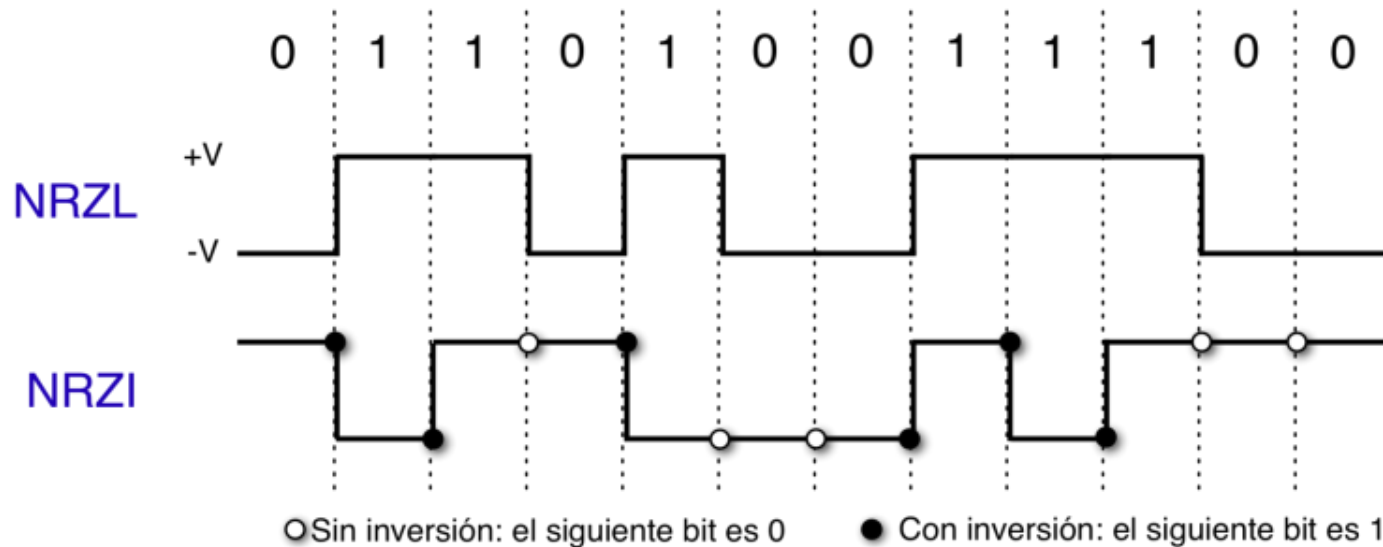
NRZ (no retorno a cero): La señal no retorna a cero en la mitad del bit

RZ (con retorno a cero): La señal retorna a cero en la mitad del bit



Transmisión Digital

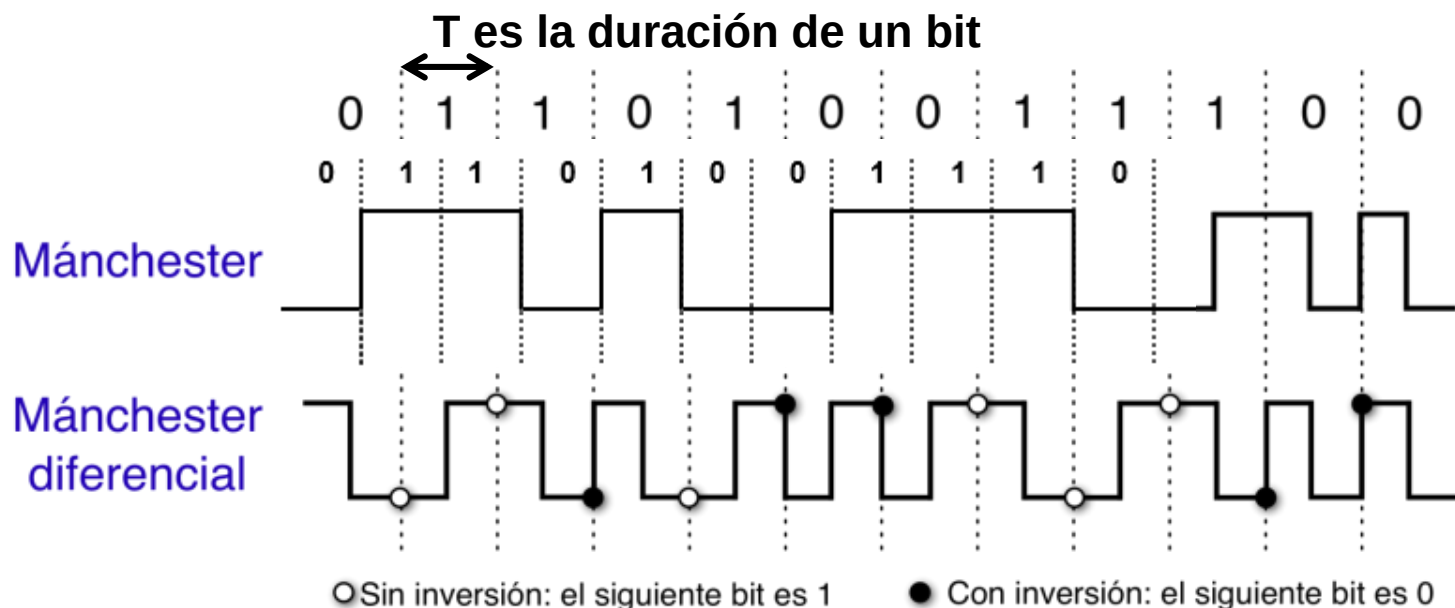
- ✓ NRZ-L: El nivel de voltaje determina el valor del bit
- ✓ NRZ-I: La inversión (ó falta de inversión-cambio) determina el valor del bit



Cada vez que vaya a empezar un “1” se produce una transición. Si empieza un “0” no se produce transición

Codificaciones Manchester

Manchester y Manchester diferencial.



$T/2$ es la duración de un baudio; $V_{\text{señalización}} (\text{baudios}) = 1/2/T = 2 \text{ V baudios}$
Se utilizan dos baudios para transmitir un bit

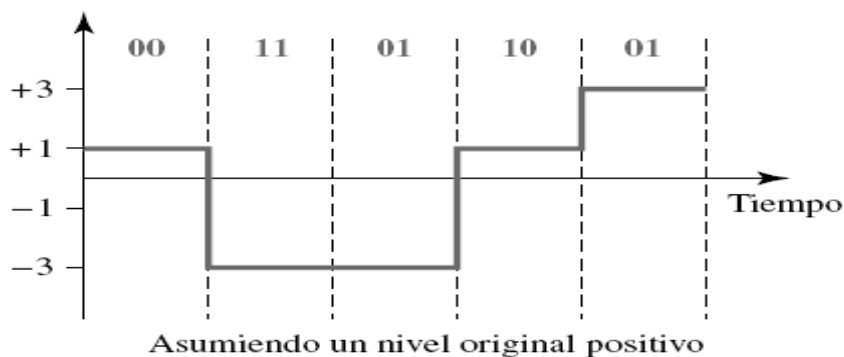
Datos Digitales – Señales Digitales

Multinivel 2B1Q.

Es estos esquemas mBnL, un patrón de m elementos de datos se codifica como un patrón de n elementos de señal donde $2^m \leq L^n$

Bits siguientes	Nivel anterior: positivo	Nivel anterior: negativo
	Siguiente nivel	Siguiente nivel
00	+1	-1
01	+3	-3
10	-1	+1
11	-3	+3

Tabla de transición

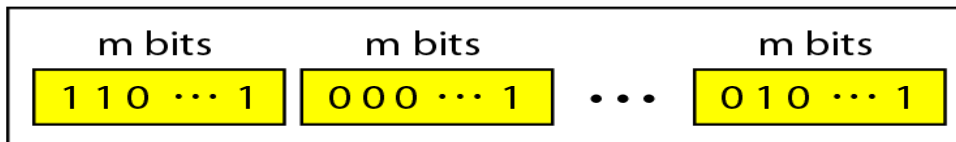


Se emplean 4 niveles de señalización diferentes, cada señal transporta 2 bits.

velocidad de transmisión, $V(\text{Bits/s}) = V$
 (baudios) $\times \log_2 4 = 2 V$ (Baudios)

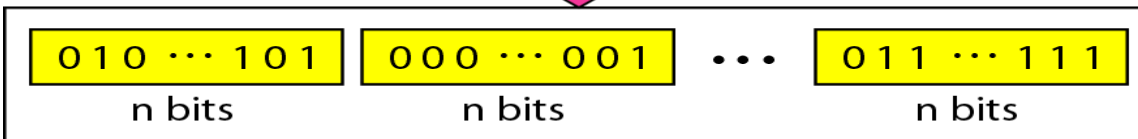
Codificación de bloques

División de un flujo en grupos de m bits



Sustitución
 mB a nB

$n > m$



Combinación de grupos de n bits en un flujo

[Foro13]

Transmisión digital

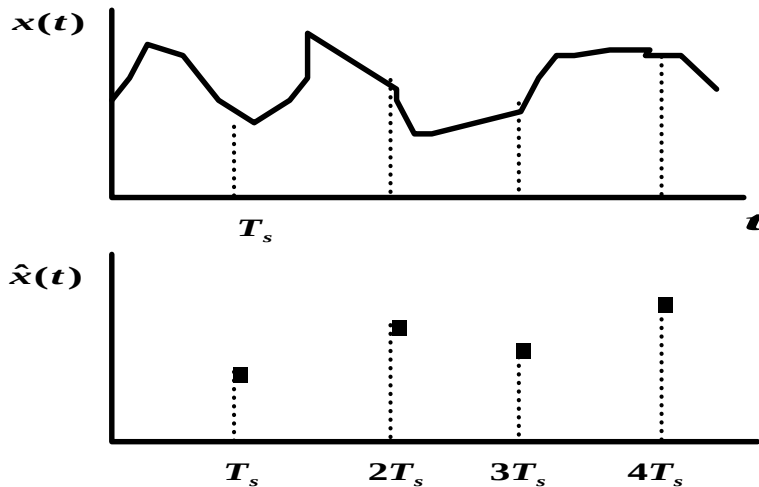


- Transmisión digital (por pulsos) de información analógica

Transmisión Digital

Teorema de Muestreo (Nyquist): Una señal $x(t)$ de ancho de banda W puede reconstruirse a partir de sus muestras si se cumple que:

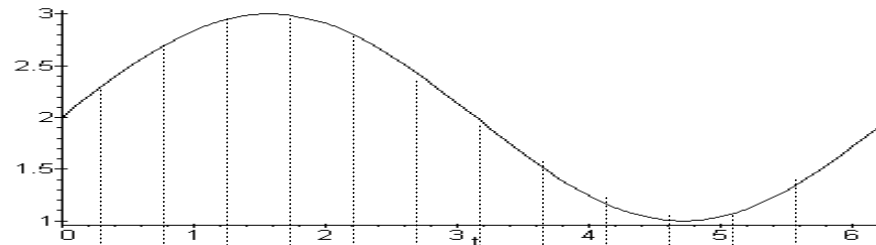
$$f_s > 2W$$



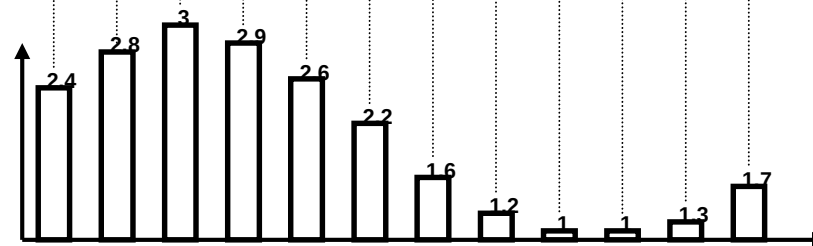
$$f_s = \frac{1}{T_s}$$

Modulación por Impulsos Codificados (MIC/PCM)

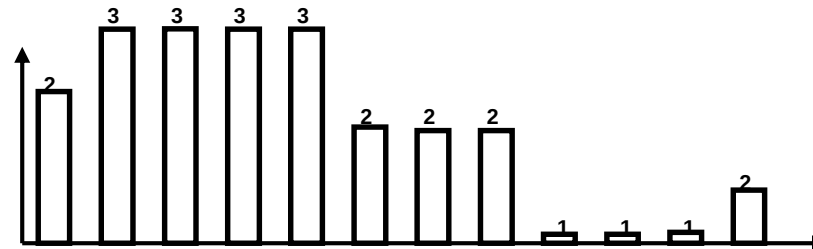
MUESTREO



MODULACIÓN DE AMPLITUD



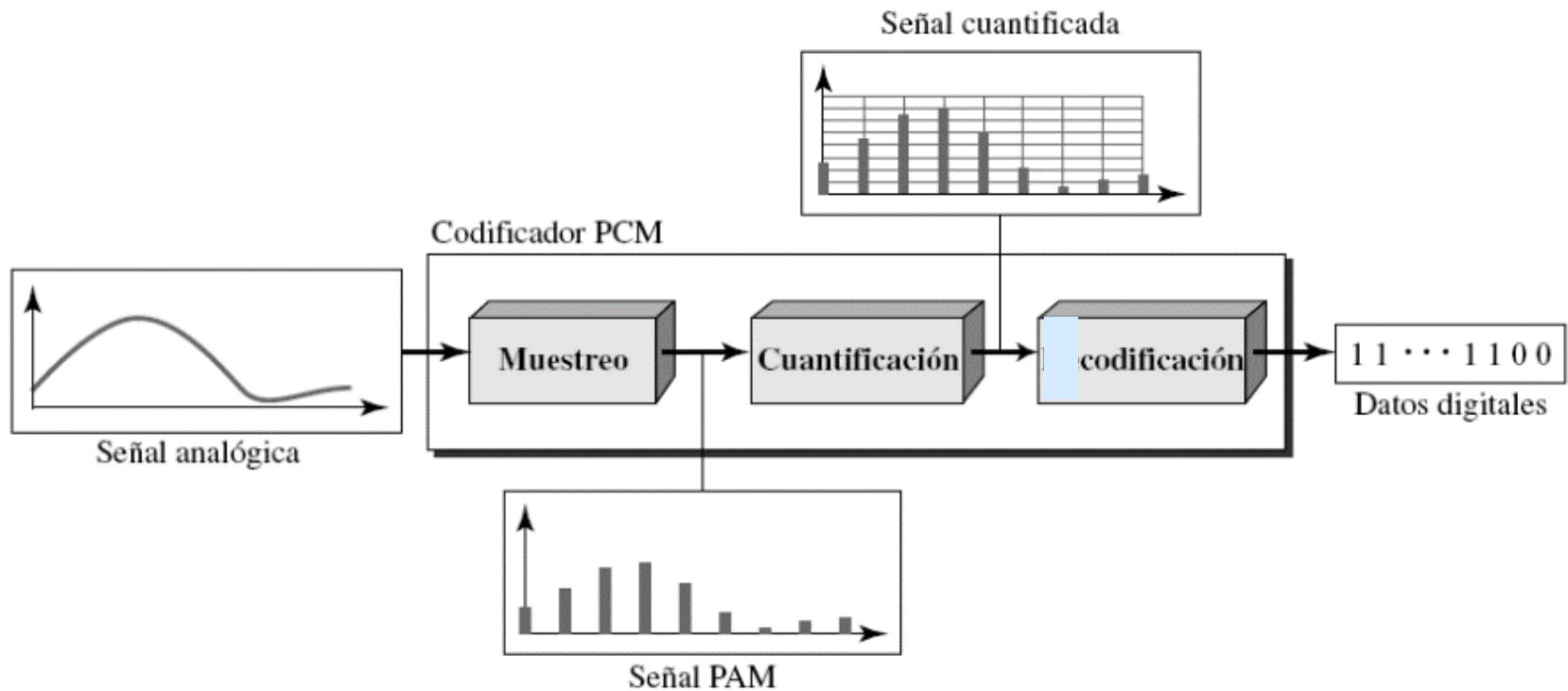
CUANTIFICACIÓN



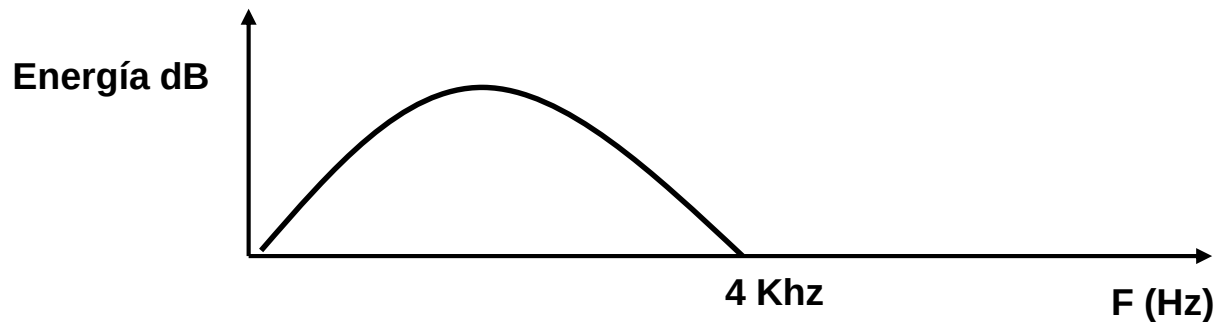
CODIFICACIÓN

010 011 011 011 011 010 010 010 001 001 001 010

Modulación por Impulsos Codificados (MIC/PCM)



Digitalización de la Señal de Voz



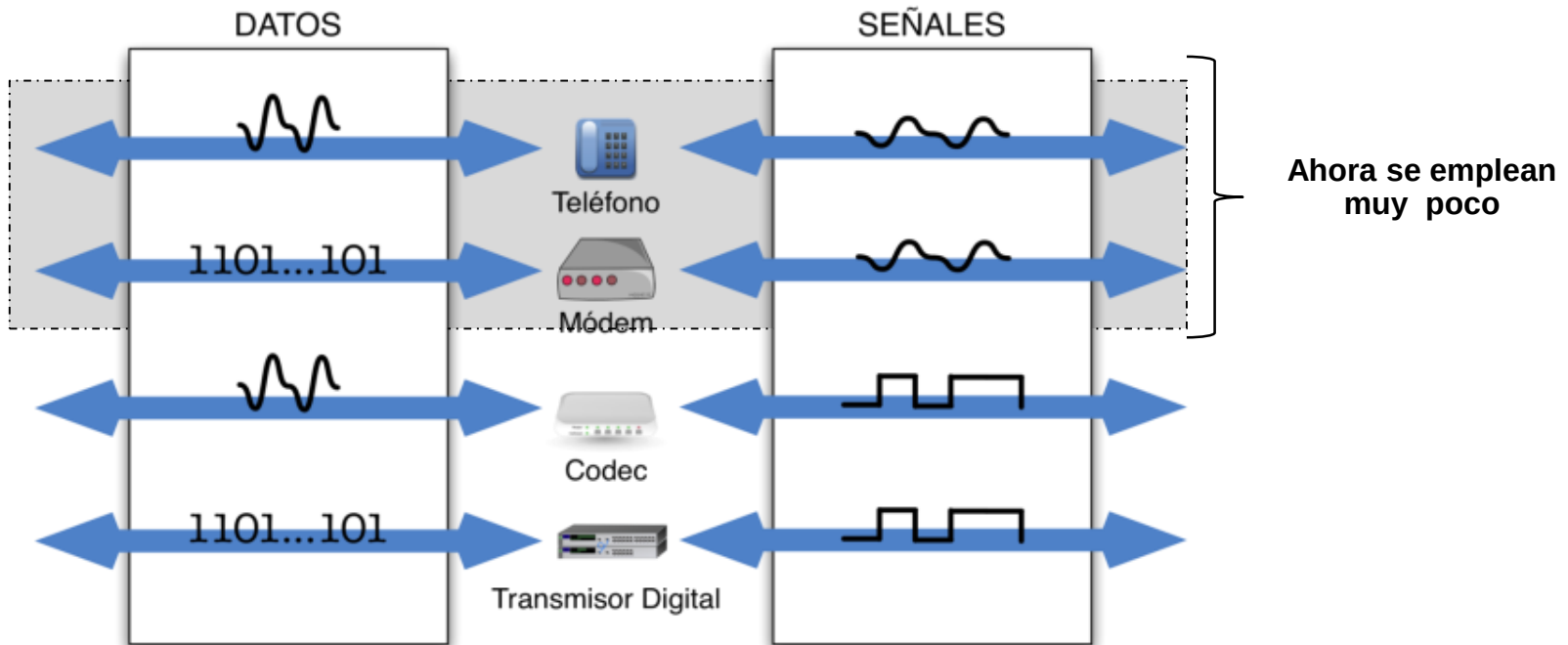
$$f_s > 2W = 2 \cdot 4000 = 8000 \text{muestras} / s$$

- Se pueden conseguir una buena calidad de reproducción con 256 niveles (8 bits). Rec. G.711



$$R_b = \frac{8 \text{Bits}}{T_s} = 8 \text{Bits} \times f_s = 8 \text{Bits} \times 8000 \text{muestras} / s = 64 \text{Kbps}$$

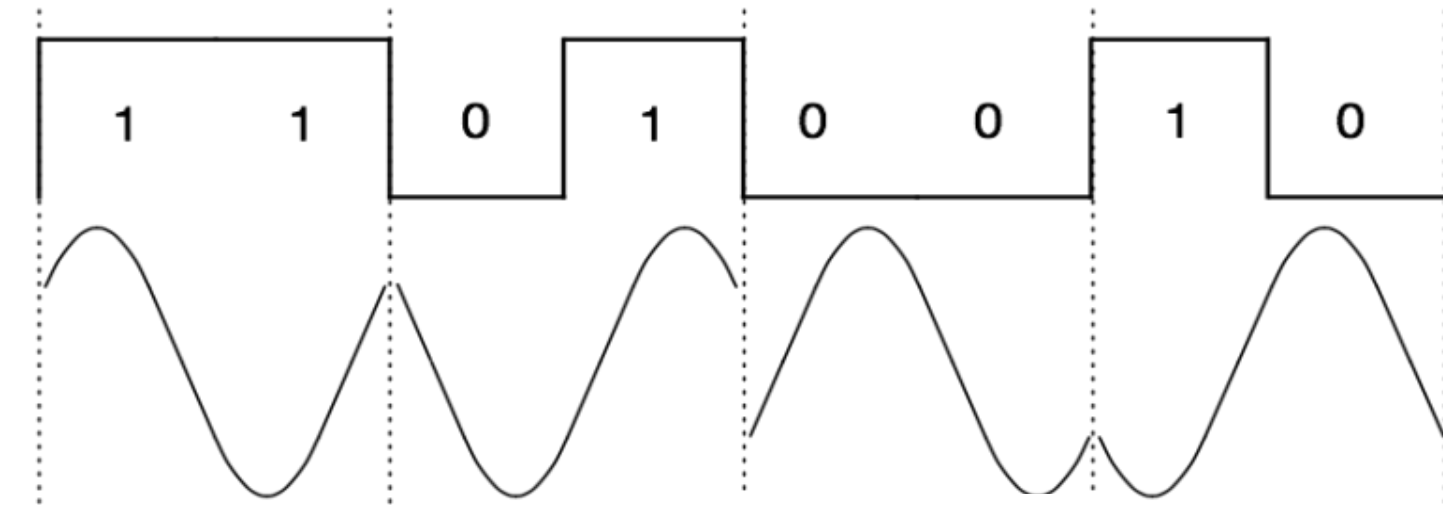
Transmisión analógica



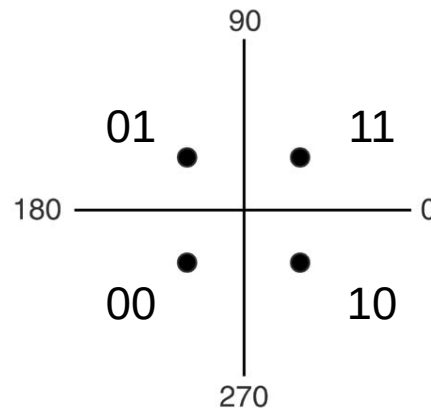
- **Datos por red telefónica**
- **Información digital por canal analógico de 3,1 KHz**

Datos Digitales/ Señales Analógicas

MODULACION QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying)



Entrada	Fase
0 0	225°
0 1	135°
1 0	315°
1 1	45°

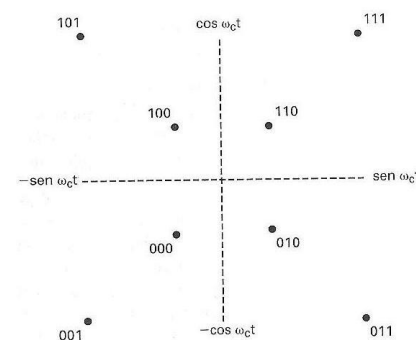
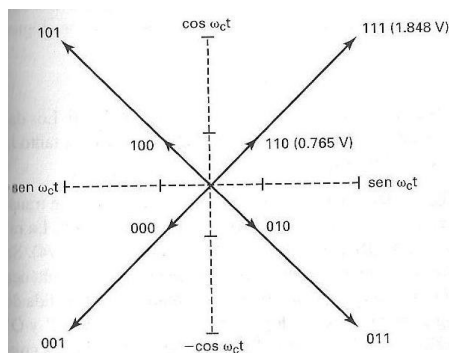
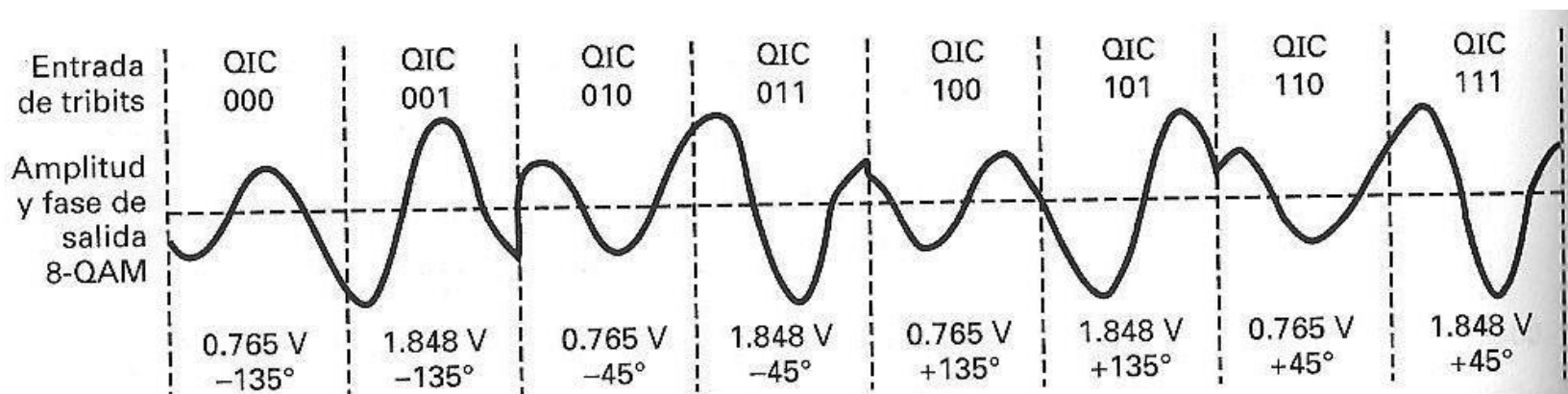


Constelación

MODULACION QAM

(Quadrature Amplitude Modulation)

Técnica de modulación que resulta como combinación de **ASK** y **PSK**. Se generan dos portadoras desfasadas 90° entre sí, y cada una se modula usando ASK. O lo que es lo mismo, modificar dos parámetros simultáneamente en una portadora: la **AMPLITUD** y la **FASE**



Modulación Multinivel

- Velocidad de señalización o modulación
 - Número de pulsos (elementos de señalización) por segundo

$$V_{\text{señalización}} = 1/T \text{ baudios}$$

- Velocidad de datos
 - Numero de bits por segundo

$$V_{\text{datos}} = V_{\text{señalización}} \times N \text{ bits/seg}$$

N: número de bits por elementos de señalización

Test

Una de las limitaciones de los códigos con retorno a cero (RZ) es...

- a) La dificultad de la sincronización de la transmisión
- b) Que requieren una relación señal ruido más alta que los sin retorno a cero (NRZ)
- c) Que requieren más ancho de banda que los códigos sin retorno a cero (NRZ).
- d) Que requieren una relación señal ruido más baja que los sin retorno a cero (NRZ)

Si empleamos una señal con retorno a cero...

- a) La velocidad máxima de transmisión de datos en bps es igual al ancho de banda en Herzios.
- b) La velocidad máxima de transmisión de datos es igual al doble del ancho de banda
- c) La velocidad máxima de transmisión de datos es igual a la mitad del ancho de banda
- d) La velocidad máxima de transmisión de datos dependerá del ancho de banda y de la relación señal ruido

¿Cuál es el motivo para tomar muestras cada 125 microsegundos en la codificación MIC?

- a) Porque cada muestra está formada por 8 bits
- b) Para poder transmitir 32 canales en una trama básica
- c) Porque la voz no contiene frecuencias superiores a 20 kHz
- d) Porque el canal telefónico es de 4 kHz

1. Introducción a las comunicaciones

Introducción

- 1.1. Conceptos básicos de transmisión de datos
- 1.2. Medios de Transmisión. Capacidad de un canal
- 1.3 Técnicas de transmisión
- 1.4 Distribución de ancho de banda**
- 1.5. Técnicas de comunicaciones de datos
- 1. 6 Supuestos: Tema 1

1.4 Distribución de ancho de banda

1.4.1 Multiplexación

1.4.1.1 En Frecuencia (MDF)

1.4.1.2 En longitud de onda

1.4.1.3 En el tiempo (MDT)

1.4.2 Espectro expandido

1.4 Distribución de ancho de banda

✓ Multiplexación

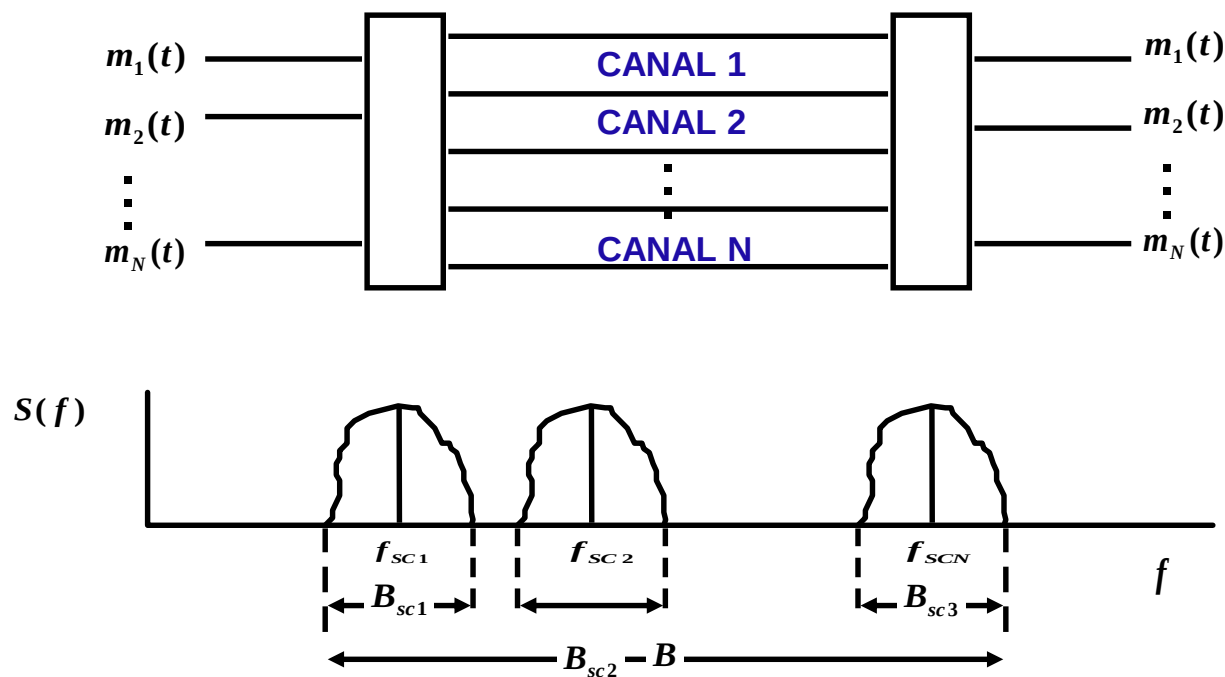
conjunto de técnicas que permiten la transmisión simultanea de múltiples señales a través de un único canal

- Multiplexación en frecuencia
 - Multiplexación por división de longitud de onda
- Multiplexación en el tiempo

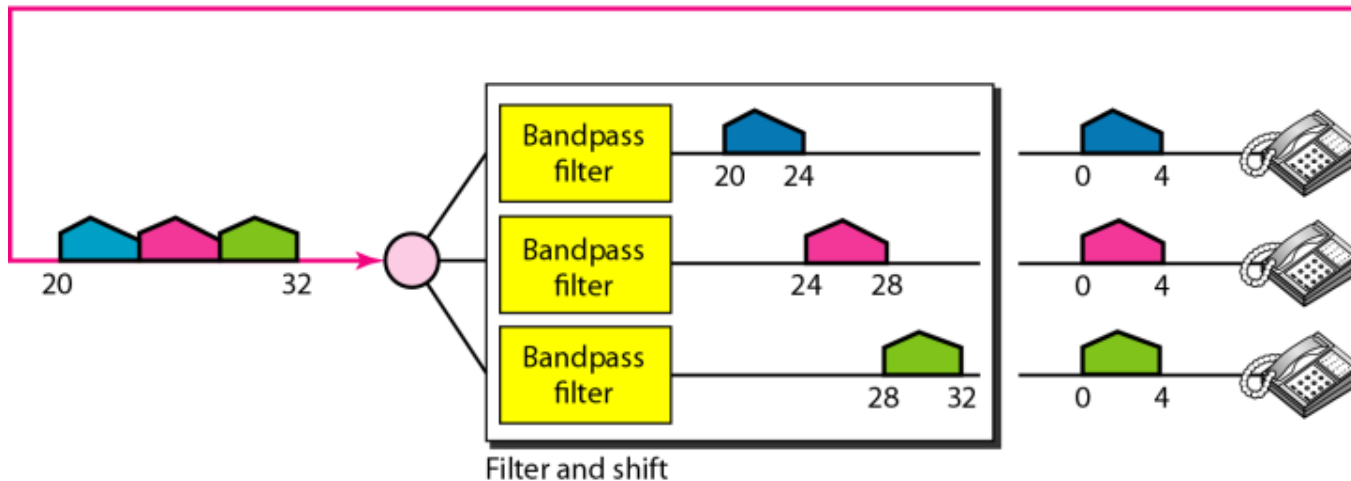
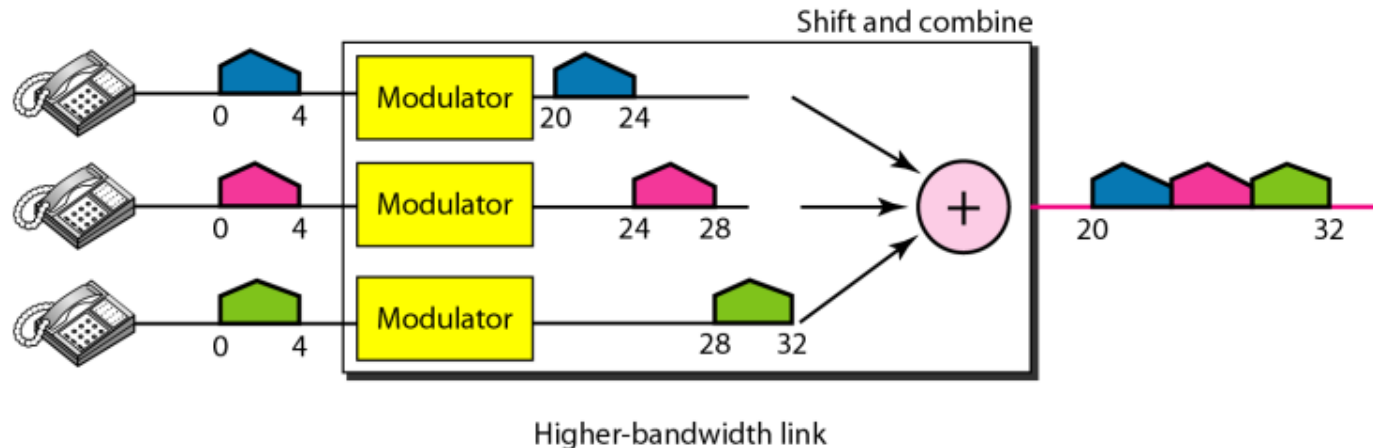
✓ Espectro expandido

Multiplexación en Frecuencia (Frequency Division Multiplexion FDM)

Para utilizar MDF es necesario que el ancho de banda del enlace sea mayor o igual que los anchos de bandas de las señales a transmitir.



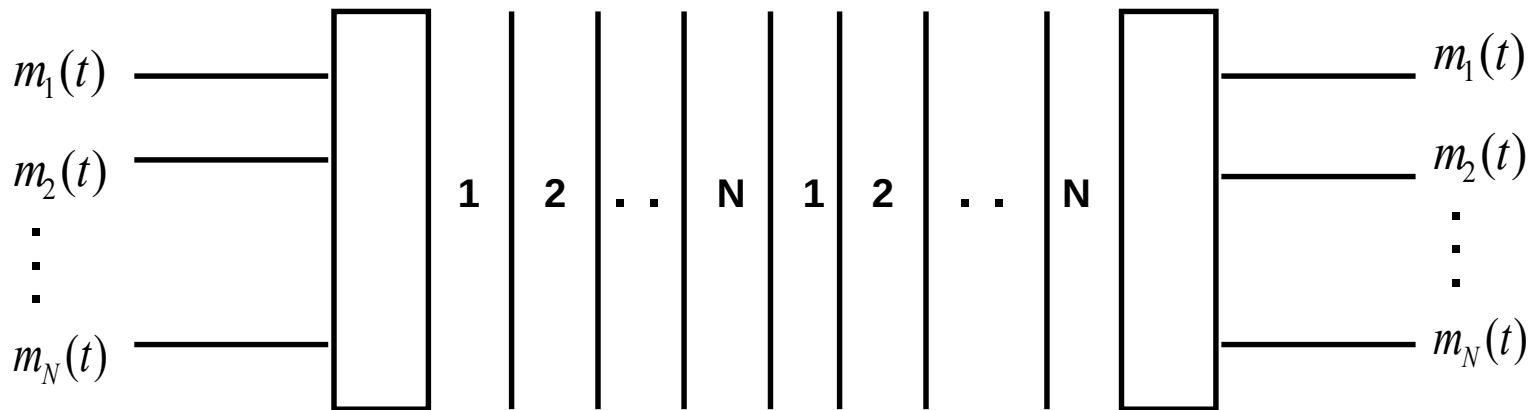
Multiplexación en Frecuencia (Frequency Division Multiplexion FDM)



[Behrouz A.]

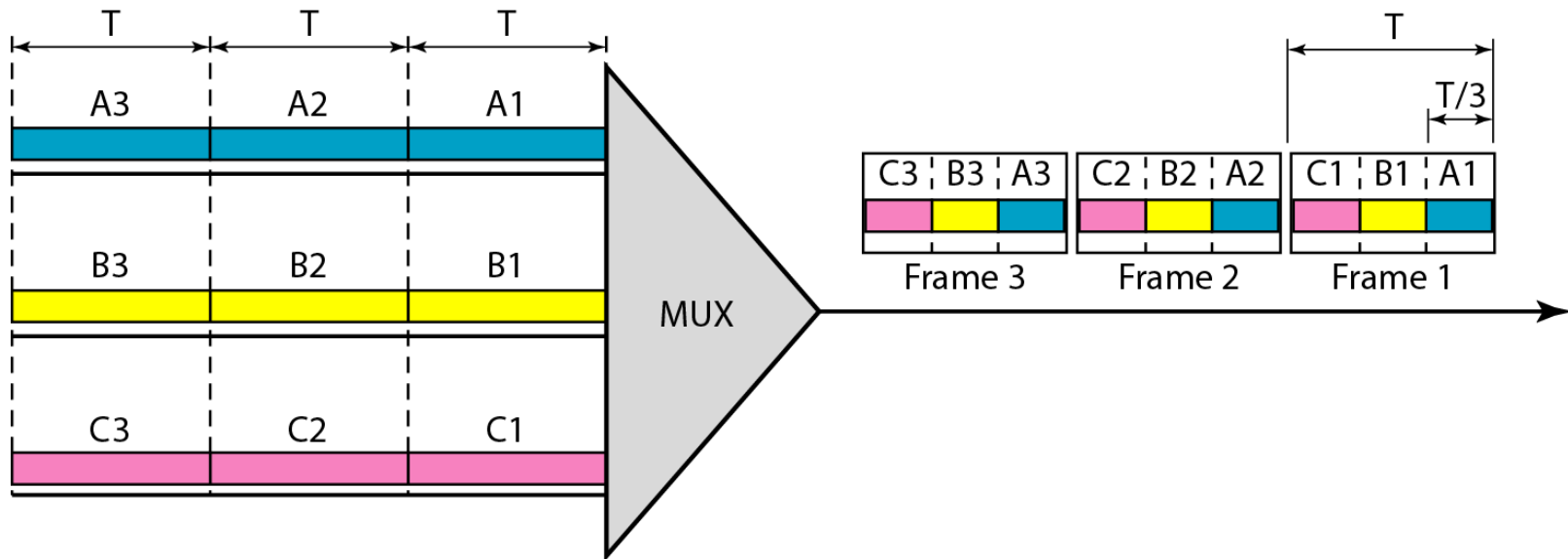
Multiplexación por División en el Tiempo (Synchronous Time Division Multiplexion TDM)

Permite que los datos provenientes de varias fuentes compartan todo el ancho de banda de canal durante un periodo de tiempo.



Multiplexación por División en el Tiempo

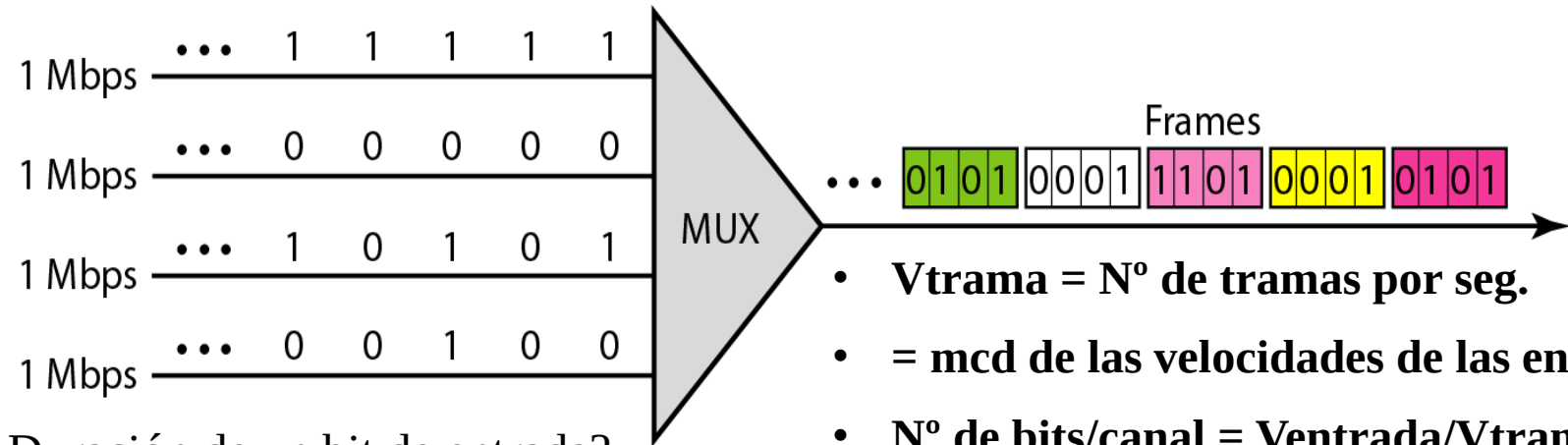
(Synchronous Time Division Multiplexion TDM)



[Behrouz A.]

Multiplexación por División en el Tiempo (Synchronous Time Division Multiplexion TDM)

Orientado a bit



Duración de un bit de entrada?

Duración de un bit en la salida?

Bit de salida

Velocidad de tramas de salida

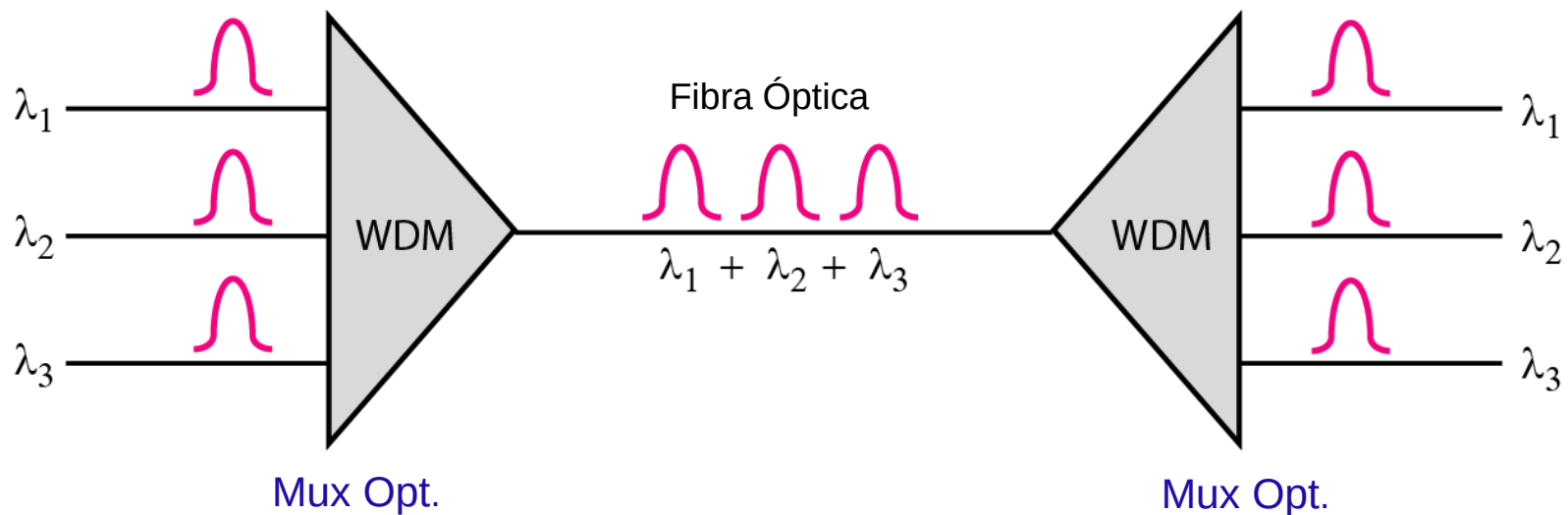
- $V_{trama} = N^{\circ} \text{ de tramas por seg.}$
- $= \text{mcd de las velocidades de las entradas}$
- $N^{\circ} \text{ de bits/canal} = V_{entrada}/V_{trama}$

Orientado a byte

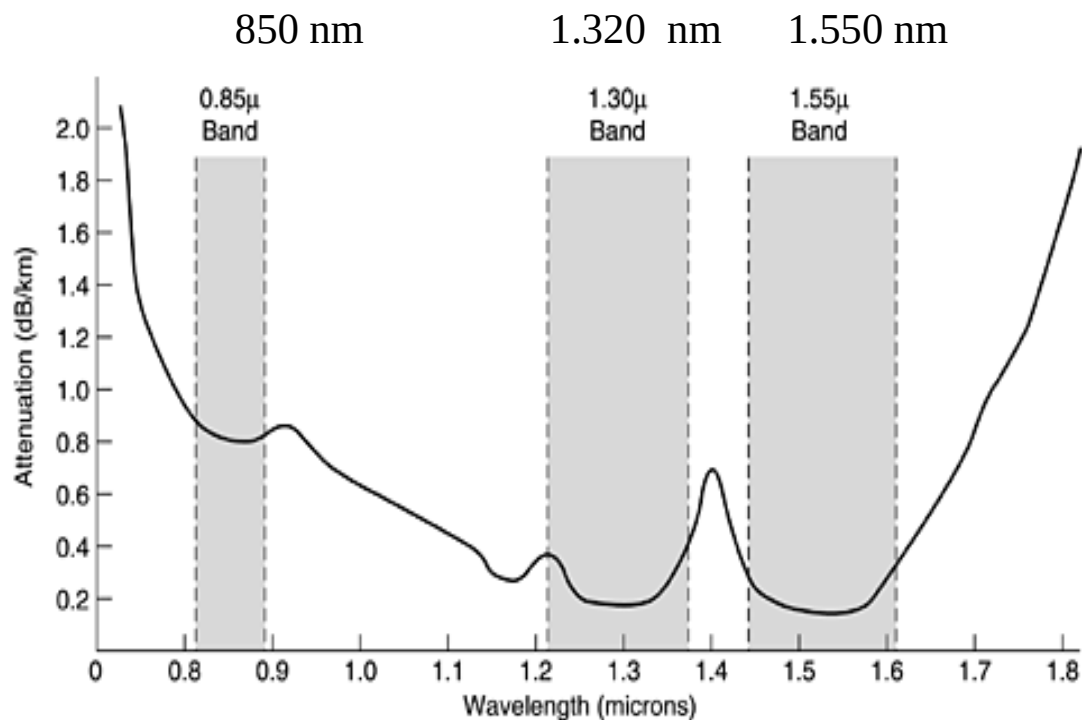
- Se consideran las velocidades en Bytes
- Cada canal de salida tendrá un n° entero de bytes

Multiplexación por Longitud de Onda

- WDM:** Wavelength Division Multiplexing) se pueden transmitir varios láseres de distintas frecuencias/longitudes de onda en la misma fibra, multiplicando así la capacidad de transmisión de la fibra.
- DWDM:** Dense WDM



Fibra óptica



λ : longitud de onda

c: velocidad de la luz

f : frecuencia

Banda de 0,3 a 3 micras; de 100 THz a 1.000 THz

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

1.4 Distribución de ancho de banda

1.4.1 Multiplexación

1.4.1.1 En Frecuencia (MDF)

1.4.1.2 En el tiempo (MDT)

1.4.2 Espectro expandido

Espectro Expandido

La idea del espectro expandido es la codificación de la señal, de modo que se incremente de manera significativa el W de la señal a transmitir con objeto de dificultar las interferencia y la interceptación

Objetivos

- Minimizar las interferencias sufridas por ruido
- Ocultar señales (interceptadas)
- Multiplexación de varias señales (canalización)

Empleada en

- Transmisiones inalámbricas (telefonía, WiFi)
- Aplicaciones militares
- Bluetooth

Espectro Expandido

- Por salto de frecuencia
- Por secuencia directa DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum).
 - División de código (CDMA-Code Division Multiple Access)

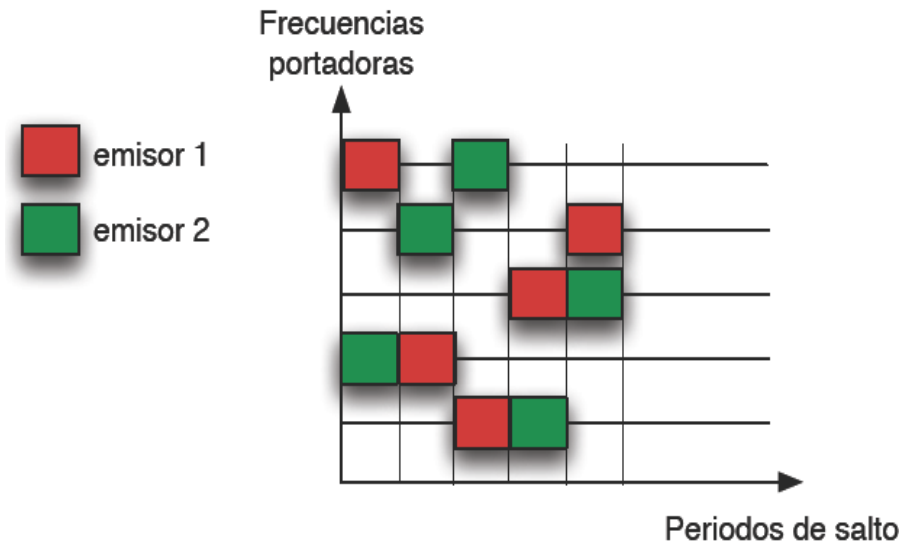
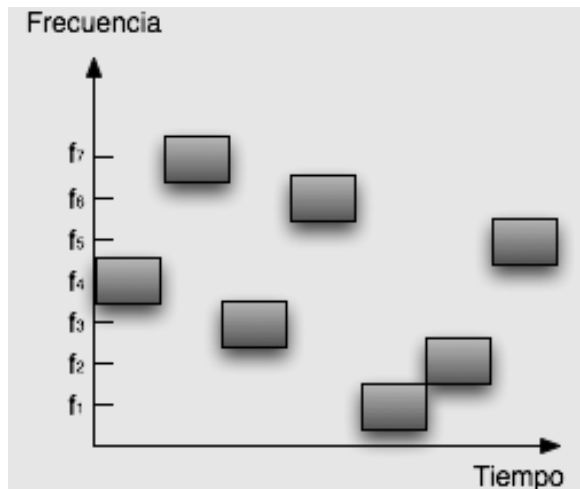
UMTS (3G)

Espectro Expandido

Por salto de frecuencias

Es una técnica que utiliza M frecuencias portadoras pseudoaleatorias saltando de frecuencia en frecuencia en intervalos fijos de tiempo

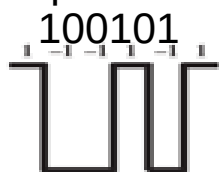
- Las diferentes portadoras son moduladas por la señal origen
- El receptor captará el mensaje saltando de frecuencia en frecuencia sincronizado con el emisor
- Los receptores no autorizados captarán una señal ininteligible



División de código (CDMA)

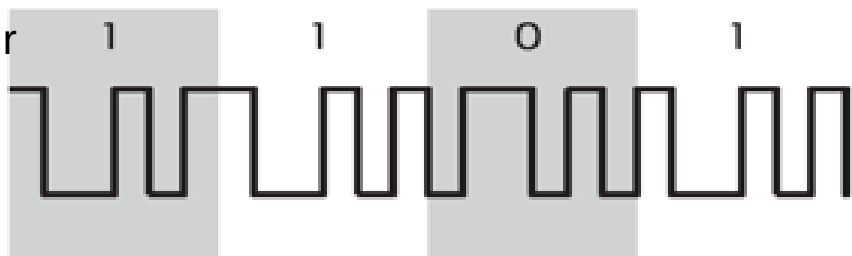
- Codificación de un bit en un tren de “bits” denominados “chips

Código de
expansión:



Datos a transmitir

Chips transmitidos



El receptor decodifica la transmisión calculando el resultado de multiplicar los valores recibidos por el código del emisor (bit a bit) y sumando (producto escalar)

Recepción	1,-1,-1,1,-1,1	1,-1,-1,1,-1,1	-1,1,1,-1,1,-1	1,-1,-1,1,-1,1
Código	1,-1,-1,1,-1,1	1,-1,-1,1,-1,1	1,-1,-1,1,-1,1	1,-1,-1,1,-1,1
Resultado	1+1+1+1+1+1	1+1+1+1+1+1	-1-1-1-1-1-1	1+1+1+1+1+1

Si el resultado es 6 entonces se ha transmitido un 1

Si el resultado es -6 entonces se ha transmitido un 0

CDMA

Ejemplo de operación

- Ej:
 - Código 1,0,0,1,0 1 1,-1,-1,1,-1,1
 - Datos 1 0 1
 - Transmisión 1,-1,-1,1,-1,1 -1,1,1,-1,1,-1 1,-1,-1,1,-1,1

- El receptor decodifica la transmisión calculando el resultado de multiplicar los valores recibidos por el código del emisor (bit a bit) y sumando (producto escalar)
 - Recepción 1,-1,-1,1,-1,1 -1,1,1,-1,1,-1 1,-1,-1,1,-1,1
 - Código 1,-1,-1,1,-1,1 1,-1,-1,1,-1,1 1,-1,-1,1,-1,1
 - Resultado 1+1+1+1+1+1 -1-1-1-1-1-1 1+1+1+1+1+1
 - Si el resultado es 6 (-6) entonces se ha transmitido un 1 (0)

Influencia de transmisiones simultáneas

[TANE11]

$$S \bullet T \equiv \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i = 0$$

$$A = (-1 \ -1 \ -1 \ +1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1)$$

$$B = (-1 \ -1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1 \ +1 \ -1)$$

$$C = (-1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1 \ +1 \ -1 \ -1)$$

$$D = (-1 \ +1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ +1 \ -1)$$

(a)

$$A: 00011011$$

$$B: 00101110$$

$$C: 01011100$$

$$D: 01000010$$

$$S_1 = C = (-1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1 \ +1 \ -1 \ -1)$$

$$S_2 = B+C = (-2 \ 0 \ 0 \ 0 \ +2 \ +2 \ 0 \ -2)$$

$$S_3 = A+B = (0 \ 0 \ -2 \ +2 \ 0 \ -2 \ 0 \ +2)$$

$$S_4 = A+B+C = (-1 \ +1 \ -3 \ +3 \ +1 \ -1 \ -1 \ +1)$$

$$S_5 = A+B+C+D = (-4 \ 0 \ -2 \ 0 \ +2 \ 0 \ +2 \ -2)$$

$$S_6 = A+B+\bar{C}+D = (-2 \ -2 \ 0 \ -2 \ 0 \ -2 \ +4 \ 0)$$

(c)

$$S_1 \bullet C = [1+1-1+1+1+1-1-1]/8 = 1$$

$$S_2 \bullet C = [2+0+0+0+2+2+0+2]/8 = 1$$

$$S_3 \bullet C = [0+0+2+2+0-2+0-2]/8 = 0$$

$$S_4 \bullet C = [1+1+3+3+1-1+1-1]/8 = 1$$

$$S_5 \bullet C = [4+0+2+0+2+0-2+2]/8 = 1$$

$$S_6 \bullet C = [2-2+0-2+0-2-4+0]/8 = -1$$

(d)

- A y C transmiten un 1 y B transmite un cero $(-1 \ +1 \ -3 \ +3 \ +1 \ -1 \ -1 \ +1)$
- El receptor C calcula $S.C \ (-1 \ +1 \ -3 \ +3 \ +1 \ -1 \ -1 \ -1) \times (-1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1 \ +1 \ -1 \ -1) = 8$
- El receptor B calcula $S.B \ (-1 \ +1 \ -3 \ +3 \ +1 \ -1 \ -1 \ -1) \times (-1 \ -1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1 \ +1 \ -1) = -8$
- El receptor A calcula $S.A \ (-1 \ +1 \ -3 \ +3 \ +1 \ -1 \ -1 \ -1) \times (-1 \ -1 \ -1 \ +1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1) = 8$

Test

Indique cuál de las siguientes afirmaciones sobre la multiplexación por longitud de onda es cierta

- a) Todas las señales han de emplear la misma codificación
- b) Permite la multiplexación en frecuencia de señales que pueden emplear velocidades y/o codificaciones distintas
- c) Permite la multiplexación en el tiempo de señales de diferente velocidad y/o codificación
- d) Se emplea para transmisiones inalámbricas

La codificación CDMA

- a) Es una variante de la multiplexación por división en frecuencias
- b) Permite que varios canales utilicen una misma banda de frecuencias mediante una variación de la multiplexación en el tiempo
- c) Permite que múltiples emisores empleen el mismo medio de transmisión sin emplear multiplexación en frecuencias ni en el tiempo
- d) Se emplea sobre fibra óptica para aprovechar el enorme ancho de banda ofrecido por estas

1.5 Técnicas de comunicaciones de datos

1.5.1 Delimitación de tramas

1.5.2 Control de errores

1.5.2.1 Detección y retransmisión (ARQ)

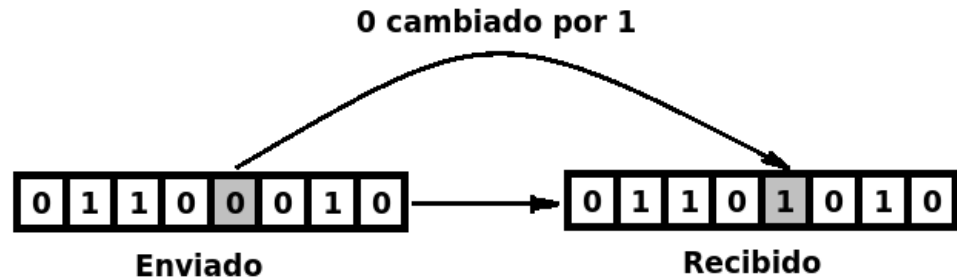
1.5.2.2 Corrección directa (FEC)

Delimitación de Trama

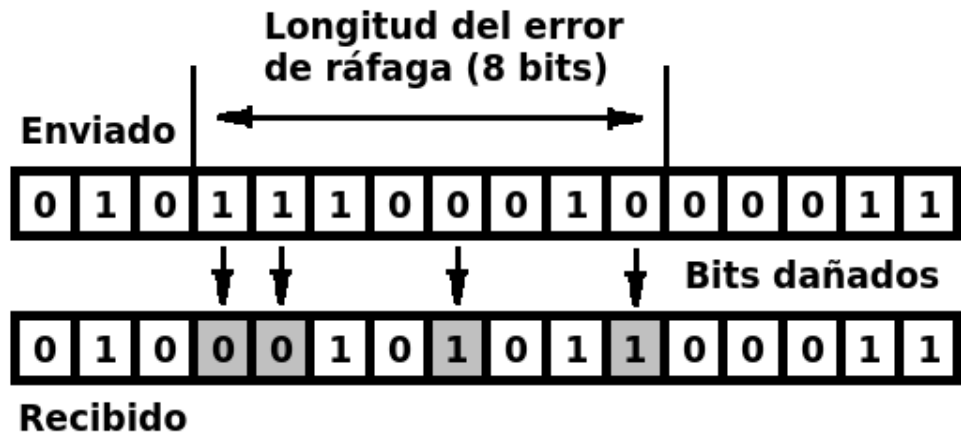
- Las entidades de nivel de enlace dividen el conjunto de bits a transmitir por el nivel físico en **tramas**
- Métodos delimitación de trama:
 - Principio y Cuenta
 - Indicadores de Comienzo y Fin
 - Guiones

Control de Errores

Errores de bit



Errores de ráfagas



Control de Errores

Métodos

ARQ (*Automatic Repeat Request*)

- Sólo detectan errores de transmisión (bits cambiados)
- Requieren menos información adicional o redundancia
 - » *Códigos de paridad*
 - » *Polinómicos o CRC (Cyclic Redundancy Check)*
- Utilización en los protocolos de comunicaciones (TCP)

FEC (*Forward Error Correction*)

- Detectan y corrigen errores de transmisión (bits cambiados)
- Requieren mucha información adicional o redundancia
- Utilización en redes móviles (GSM, 3G)

Control de Errores

ARQ-Detección de Errores

- La protección de errores consiste en la adición de **redundancia** a los mensajes para detectar errores y la recuperación se realiza mediante retransmisión
- Técnicas de detección de errores:
 - **Comprobación de la paridad**
 - **Comprobación de redundancia cíclica (CRC)**

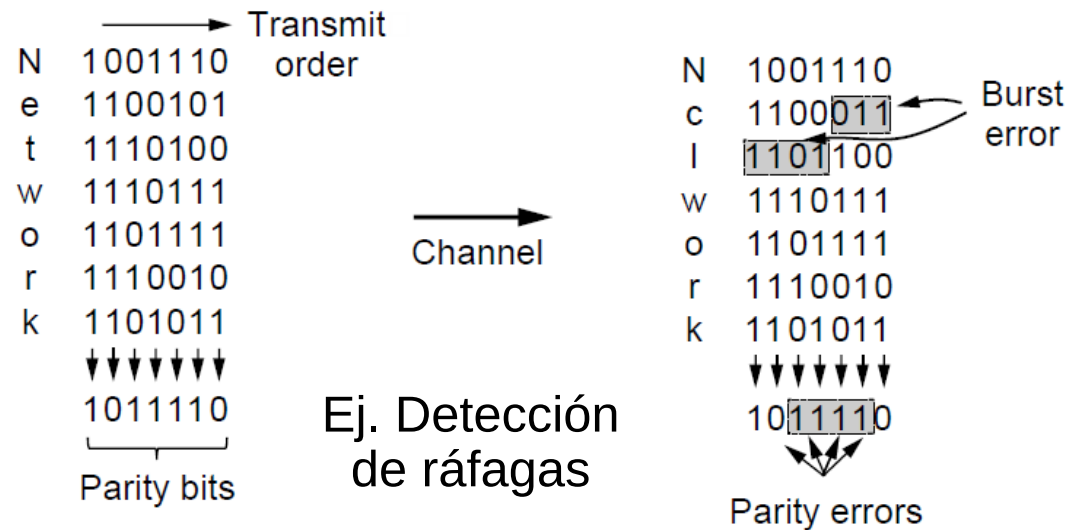
Control de Errores

Comprobación de la Paridad

- Añadir un bit de paridad al final del bloque de datos
 - **Paridad impar:** El valor del bit añadido se determina de modo que el número total de 1's sea impar
 - **Paridad par:** El valor del bit añadido se determina de modo que el número total de 1's sea par

- Errores detectados:

- Número impar de errores



[TANE11]

Control de Errores

Códigos de Redundancia Cíclica (CRC)

- Dado un mensaje de m bits, el emisor genera una secuencia de r bits (SVT)
- La trama resultante ($m+r$ bits) será divisible por algún número determinado
- El receptor divide la trama por ese número y si no hay resto, se supone que no hay errores
- **Códigos polinómicos:**
 - Representa las rstras de bits como polinomios con coeficientes binarios
 - Las operaciones se realizan en módulo 2 (XOR)

Control de Errores

CRC

- Sea:
 - $M(x)$: mensaje original (m bits)
 - $G(x)$: polinomio generador de grado r ($r+1$ bits)
 - $T(x)$: mensaje a transmitir ($m+r$ bits)

- En emisión:

$$T(x) = M(x) \cdot x^r + R(x) \quad \text{siendo} \quad R(x) = \text{mod} \left(\frac{M(x) \cdot x^r}{G(x)} \right)$$

- En recepción:

$$R'(x) = \text{mod} \left(\frac{T(x)}{G(x)} \right)$$

Si $R'(x) = 0$, no hay errores

Si $R'(x) \neq 0$, hay errores

Control de Errores

CRC

■ Errores detectados:

- Errores de un único bit
- Errores dobles, siempre que $G(x)$ tenga al menos tres 1's
- Número impar de errores, siempre que $G(x)$ tenga el factor $(x+1)$
- Ráfagas de errores de longitud menor que la longitud de $G(x)$
- La mayoría de las ráfagas de longitud mayor

■ Polinomios generadores frecuentes:

- CRC-12: $x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$
- CRC-16: $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$
- CRC-CCITT: $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$
- CRC-32: $x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$

Calcular la probabilidad de detectar una ráfaga de longitud 17 bits

Control de Errores CRC

$$M(X) = X^6 + X^3 + 1$$

$$G(X) = X^3 + X + 1$$

1001001000

1011

001000

1011

001110

1011

01010

1011

00010 = R(X)

1011

1010110

$$M(X) = 1001001$$

$$M(X) * X^3 = 1001001000$$

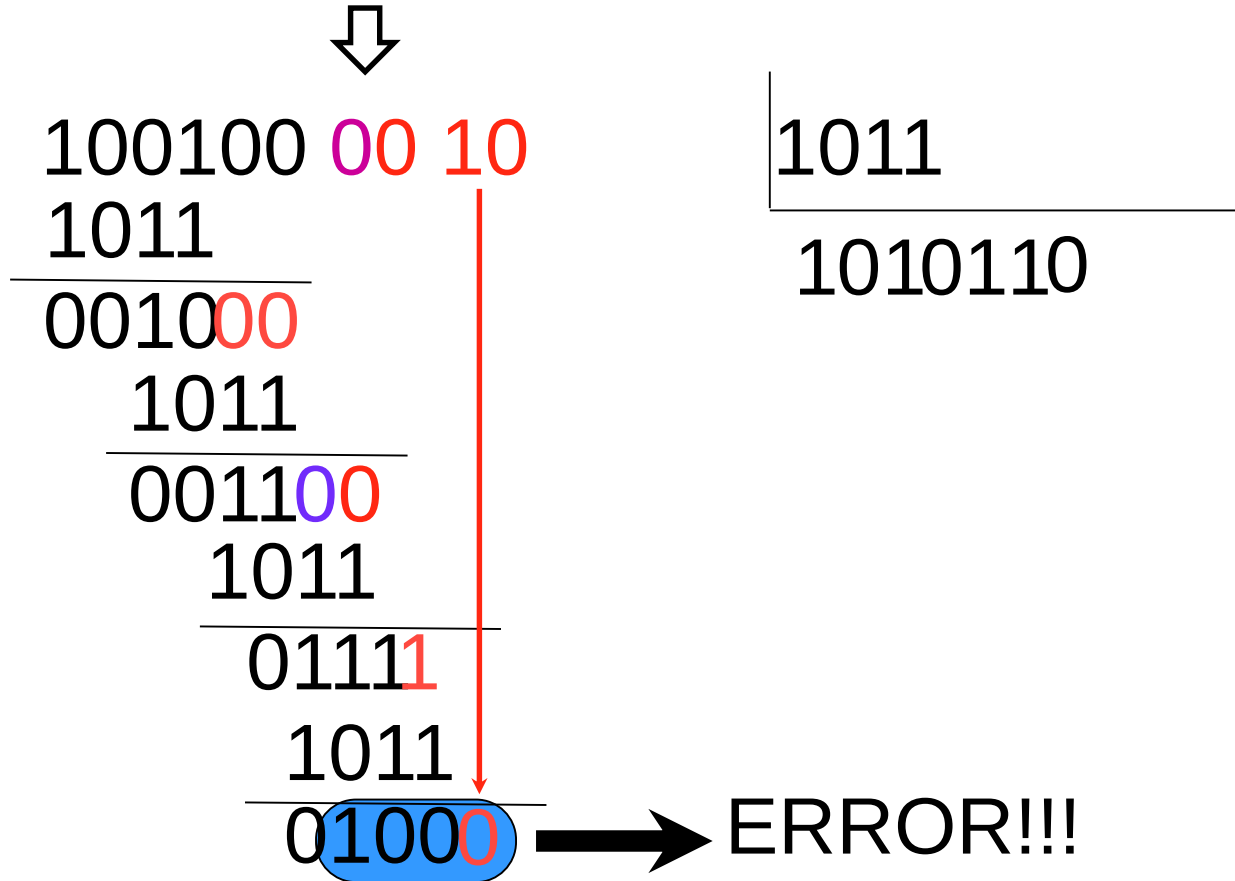
$$T(X) = 1001001010$$

Control de Errores CRC

$$\begin{array}{r}
 1001\ 00\ 10\ 10 \\
 \underline{1011} \\
 001000 \\
 \underline{1011} \\
 001110 \\
 \underline{1011} \\
 01011 \\
 \underline{1011} \\
 00000
 \end{array}
 = R'(X) \longrightarrow \text{CORRECTO!!!}$$

The diagram illustrates the CRC division process. The dividend is 1001 00 10 10, and the divisor is 1011. The remainder is 00000, which is circled in blue and labeled as $R'(X)$. A red arrow points from the remainder to the text "CORRECTO!!!".

Control de Errores CRC



Control de Errores

FEC-Corrección de Errores

- La protección de errores consiste en la adición de **redundancia** a los mensajes para detectar y corregir errores
- Técnicas de corrección de errores:
 - **Códigos de la paridad**
 - **Códigos de Hamming**

Control de Errores

FEC (*Forward Error Correction*)

Detectan y corrigen errores de transmisión (bits cambiados)

Requieren mucha información adicional o redundancia

- **La distancia de Hamming** $d(v1, v2)$ de dos secuencias binarias $v1$ y $v2$ de r bits consiste en un valor numérico que indica el número de bits en los que $v1$ y $v2$ no coinciden
- **Mínima distancia de Hamming**
 - » se pueden detectar hasta t errores, siendo $t = d_{min}-1$
 - » se pueden corregir hasta t errores, siempre que $d_{min} \geq 2t+1$

Palabra	Código
000	000111
001	001100
010	010001
011	011010
100	100010
101	101001
110	110100
111	111111

d (mínima) = 3

Detecta hasta dos bits erróneos

Corrige 1

Control de Errores

FEC (*Forward Error Correction*)

- Códigos de Doble paridad

1	1	0	0	1	1	1	1	Row parities
1	0	1	1	1	0	1	1	
0	1	1	1	0	0	1	0	
0	1	0	1	0	0	1	1	
Column parities								
0	1	0	1	0	1	0	1	

a. Design of row and column parities

[Forouzan13]

FEC (Forward Error Correction) Doble paridad

1	1	0	0	1	1	1	1
1	0	1	1	1	0	1	1
0	1	1	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	0	1	1
0	1	0	1	0	1	0	1

↑ Corrige

Corrige errores simples

1	1	0	0	1	1	1	1
1	0	1	1	1	0	1	1
0	1	1	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	0	1	1
0	1	0	1	0	1	0	1

↑ Detecta

Detecta errores dobles

Corrige errores dobles si están en diferente fila y columna

1	1	0	0	1	1	1	1
1	0	1	1	1	0	1	1
0	1	1	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	0	1	1
0	1	0	1	0	1	0	1

↑ Corrige Detecta

Detecta errores triples

Corrige errores triples si están en diferente fila y columna

1	1	0	0	1	1	1	1
1	0	1	1	1	0	1	1
0	1	1	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	0	1	1
0	1	0	1	0	1	0	1

Ni detecta, ni corrige

[Forouzan13]

Test

Indique, ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es cierta?

- a) Las comprobaciones de errores mediante paridad par, permiten detectar errores dobles.
- b) Los códigos cíclicos de comprobación de errores, detectan todos los errores simples (afecten a un único bit)
- c) Los códigos cíclicos de comprobación de errores, corrigen todos los errores simples (afecten a un único bit)
- d) Los códigos cíclicos de comprobación de errores, corrigen todos los errores dobles (afectan a dos bits) con independencia del polinomio generador empleado

Test

Un código cuya distancia Hamming es 3 permite.....

- a) corregir errores dobles
- b) corregir ráfagas de longitud 3
- c) detectar ráfagas de longitud 3
- d) Permite corregir errores simples

La técnica de corrección de errores de transmisión más adecuada para transmisión de voz en el acceso radio de las redes móviles es:

- a) FEC (Forward Error Control)
- b) El empleo de bits de paridad y retransmisión
- c) El empleo de códigos cíclicos de 2 bytes
- d) El empleo de códigos cíclicos de 4 bytes