

## Tema 2: Comunicación de datos

## Índice

- Medios, transmisión y multiplexación
  - Cables de cobre y fibras ópticas
  - Espectro electromagnético y transmisión radio.
  - Modulaciones digitales. Módems
  - Multiplexación. Sistemas y jerarquías
- Codificación de canal
  - Códigos de corrección de errores
  - Códigos de detección de errores. Sistemas ARQ.
- Enlaces
  - Formatos de trama
  - Transmisión continua y control de flujo
  - El protocolo de bit alternante
- La Red Pública Telefónica Conmutada RPTC
  - Elementos de la RPTC
  - La RPTC como red de acceso
  - El bucle de abonado.
  - Tecnologías xDSL y xPON

## Índice

- Medios, transmisión y multiplexación
  - Cables de cobre y fibras ópticas
  - Espectro electromagnético y propagación
  - Modulaciones digitales. Módems
  - Multiplexación. Sistemas y jerarquías
- Codificación de canal
  - Códigos de corrección de errores
  - Códigos de detección de errores. Sistemas ARQ.
- Enlaces
  - Formatos de trama
  - Transmisión continua y control de flujo
  - El protocolo de bit alternante
- La Red Pública Telefónica Conmutada RPTC
  - Elementos de la RPTC
  - La RPTC como red de acceso
  - El bucle de abonado.
  - Tecnologías xDSL y xPON.

# Características del medio físico

Características del medio físico para la transmisión de señales eléctricas/electromagnéticas/ópticas:

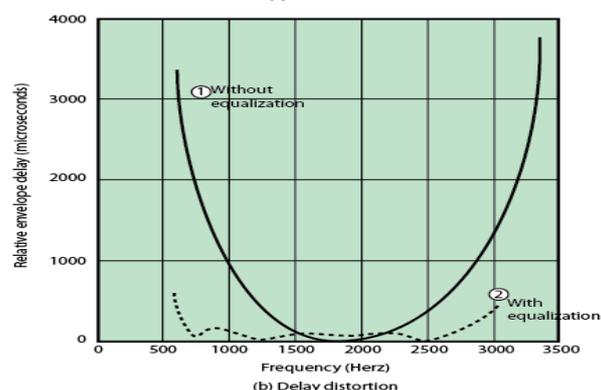
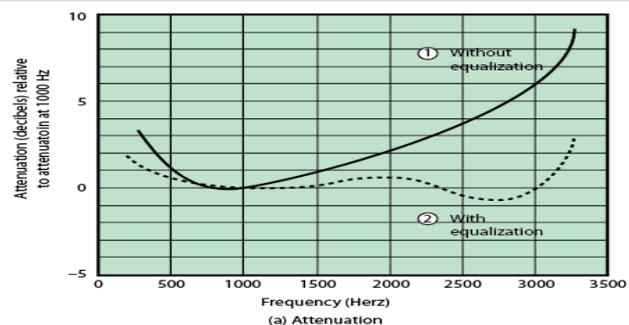
- Atenuación
- Ancho de banda
- Distorsión de amplitud y fase.
- Retardo
- Interferencias
- Diafonía

	Ancho de banda	Atenuación típica	Retardo típico	Distancia entre repetidores
Cables de pares trenzados	1 MHz	0,7 dB/Km @ 1 KHz	5 $\mu$ s/Km	2 Km
Cables de pares trenzados (Cat. 6 - 100 m.)	250	21 dB @ 100 MHz	0,6 $\mu$ s	100 m
Cables coaxiales	500 MHz	20 dB @ 100 MHz 100m	4 $\mu$ s/Km	1 a 9 Km
Fibras ópticas	186 a 370 THz	0,2 a 0,5 dB/Km	5 $\mu$ s/Km	40 Km

# Medios físicos: Atenuación y distorsión

Función de transferencia de un bucle de abonado telefónico de cable de pares.

Atenuación y retardo de las componentes espectrales



# Medios físicos

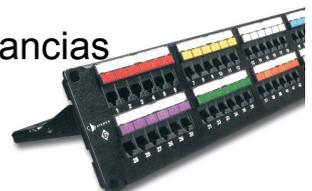
Tipos de medios físicos:

- Medios Guiados
  - Cables de pares trenzados
  - Cables coaxiales
  - Fibras ópticas
- Medios No Guiados
  - Espectro radioeléctrico y propagación
  - Enlaces de microondas
  - Satélites
  - Ganancia de una antena

## Medios físicos guiados

### Cable de pares trenzados

- Cable formado por pares de hilos de cobre aislados y trenzados para minimizar la interferencia electromagnética entre pares (diafonía)
- Problemas: interferencia electromagnética y atenuación
  - Para señales digitales repetidores cada 2-3 Km, para analógicas cada 5-6 Km
- Medio utilizado para voz y para datos en cortas distancias
  - Bucle de abonado en la Red Telefónica
  - Redes locales de ordenadores LANs
- Dos tipos: No apantallados (UTP) y Apantallados (STP) (a partir de categoría 6)



# Medios físicos guiados

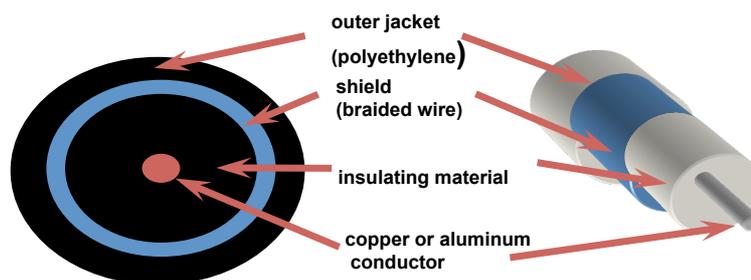
## Cableado estructurado

- Manguetas de 4 pares de cobre trenzados
- Hasta 100 m. Entre equipos en LANs
- Estándares (Categorías USA y Clases ISO)

ANSI/TIA/EIA-568 componentes/cables	ISO/IEC 11801 componentes/cables	Ancho de banda a 100 m. (MHz)
Categoría 3	Clase C	16
Categoría 5E	Clase D	100
Categoría 6	Clase E	250
Categoría 6A	Clase E <sub>A</sub>	500
	Categoría 7/Clase F	600
	Categoría 7A/Clase F <sub>A</sub>	1000

Ethernet sobre cables de pares	Cat. 3 Clase C	Cat. 5E Clase D	Cat. 6 Clase E	Cat. 6A Clase E <sub>A</sub>	Cat. 7 Clase F	Cat. 7A Clase F <sub>A</sub>
10Base-T	●	●	●	●	●	●
100Base-T		●	●	●	●	●
1000Base-T			●	●	●	●
10GBase-T				●	●	●
40GBase-T						
100GBase-T						

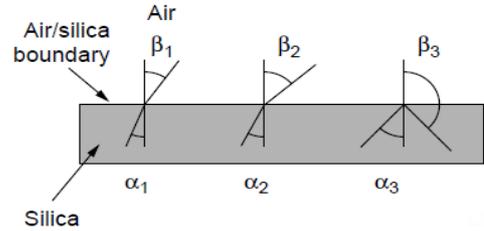
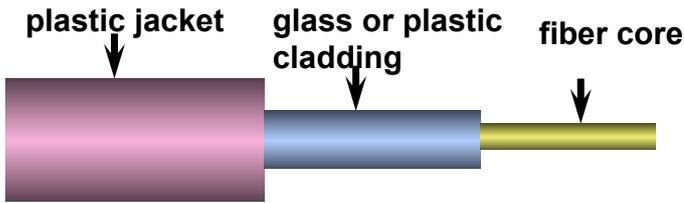
# Medios físicos guiados



## Cables coaxiales

- Mayor ancho de banda (500 MHz) y menor interferencia y atenuación
- Repetidores cada 2-3 Km

# Medios físicos guiados

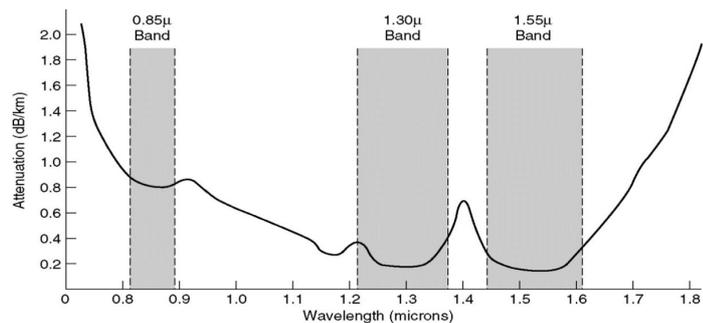


## Fibras ópticas

- Está formado por tres capas
- Tres tipos de fibra:
  - Multimodo de salto de índice 
  - Multimodo de índice gradual 
  - Monomodo 
- Bajos BER e interferencias electromagnéticas
- Poner conectores requiere herramientas especiales

# Medios físicos guiados

- **3 ventanas de transmisión**
  - 1ª ventana: 850 nm
  - 2ª ventana: 1300 nm
  - 3ª ventana: 1550 nm
- **2 tipos de fibra**
  - Multimodo: Emisores LED
  - Monomodo: Emisores LASER



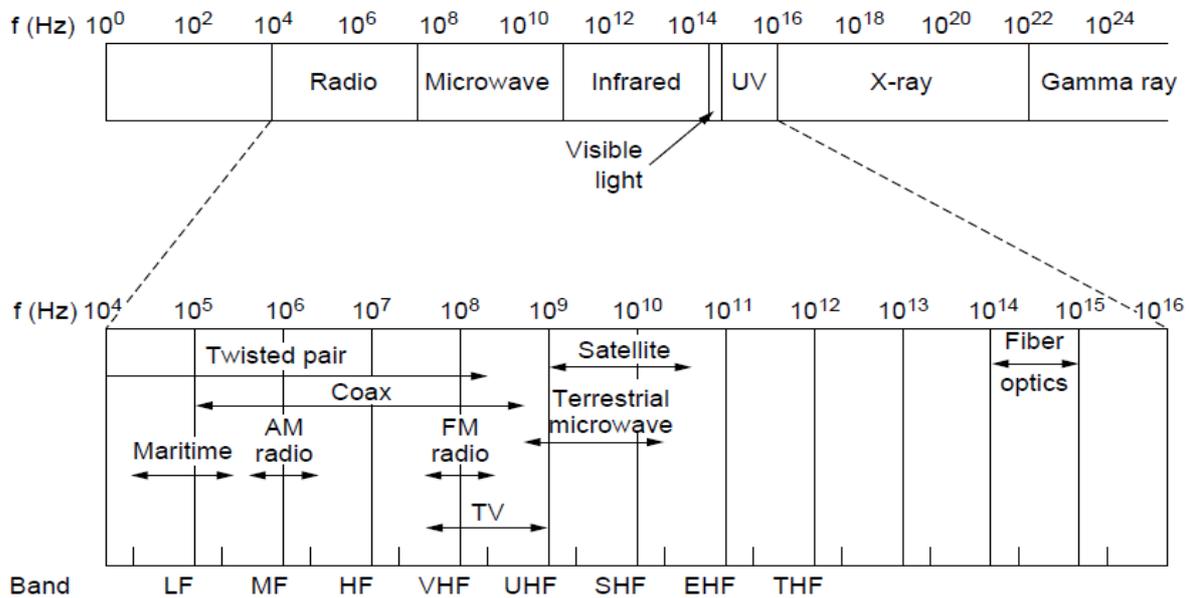
Medio físico de LAN Ethernet Fibra

10BASE-FL	850 nm	1 km
100BASE-FX	850 nm	2 km
1000BASE-SX	850 nm	275 m, 550 m
1000BASE-LX	1300 nm	550 m, 5 km
1000BASE-LX10	1300 nm	550 m, 10 km
10GBASE-SR	850 nm	33 m, 300 m
10GBASE-LRM	1300 nm	220 m
10GBASE-LR	1300 nm	10 km
10GBASE-ER	1500 nm	40 km
40GBASE-SR4, 100GBASE-SR10	850 nm	100 m
40,100GBASE-LR4	1300 nm	10 km
100GBASE-ER4	1300 nm	40 km

<http://ebookbrowse.com/10-gigabit-media-alternatives-pdf-d55700365>  
[http://www.hp.com/md/pdfs/10gig\\_cabling\\_technical\\_brief.pdf](http://www.hp.com/md/pdfs/10gig_cabling_technical_brief.pdf)

# Medios físicos no guiados

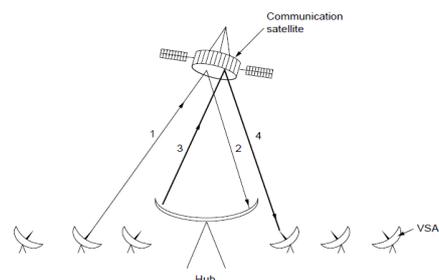
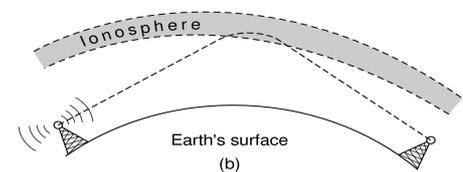
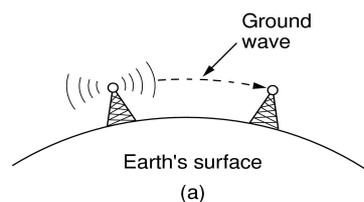
## Espectro electromagnético



# Medios físicos no guiados

## Bandas de frecuencia y propagación

- Bandas VLF, LF, MF
- Banda HF
- Microondas
  - A partir de 1 GHz.
  - Radioenlaces de visión directa
- Infrarrojos (LANs)
- Laser
- Satélites (LEO, MEO, GEO)



## Medios físicos no guiados

### Bandas del espectro radioeléctrico en satélites geoestacionarios

Band	Downlink	Uplink	Bandwidth	Problems
L	1.5 GHz	1.6 GHz	15 MHz	Low bandwidth; crowded
S	1.9 GHz	2.2 GHz	70 MHz	Low bandwidth; crowded
C	4.0 GHz	6.0 GHz	500 MHz	Terrestrial interference
Ku	11 GHz	14 GHz	500 MHz	Rain
Ka	20 GHz	30 GHz	3500 MHz	Rain, equipment cost

## Medios físicos no guiados

### Atenuación en espacio libre

$$L = 10 \log (4\pi d/\lambda)^2 = 10 \log (4\pi f d/c)^2 \text{ dB}$$

$c = \lambda \cdot f$  ;  $d$  = distancia ;  $\lambda$  = longitud de onda ;  $c$  = velocidad de la luz  $f$  = frecuencia de la portadora

### Balance de un enlace radio en espacio libre



$$P_t = G_t \cdot (4\pi f d/c)^2 \cdot G_r \cdot P_r$$

$P_t$  = potencia a la entrada de la antena transmisora/receptora

$G_t$  = ganancia de la antena transmisora/receptora

## Medios físicos no guiados

La “**ganancia de una antena**”  $G$  en una dirección es la potencia transmitida en **esa dirección comparada con la potencia transmitida en cualquier dirección por una antena omnidireccional ideal**

$$G = 4\pi f^2 A_e / c^2$$

$A_e$  = área efectiva de la antena

$f$  = frecuencia de la portadora

$c$  = velocidad de la luz

$\lambda$  = longitud de onda

### G en una medida de la direccionalidad de la antena

Ejemplo: **Ganancia de una antena parabólica de radio  $r$  y área  $A$**

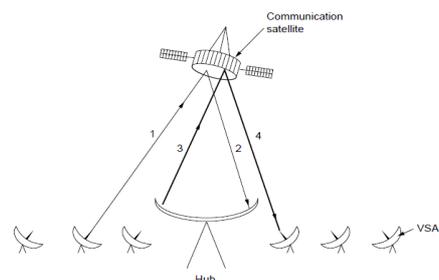
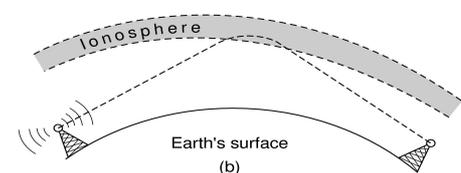
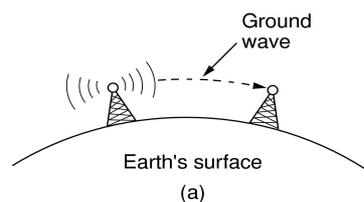
$$A_e = 0,56A = 0,56(\pi r^2) \quad G = 7Af^2/c^2$$

Ganancia transmitiendo a 12 GHz  $G = 7A(12 \cdot 10^9/3 \cdot 10^8)^2 = 35.186 = 45,46 \text{ dB}$

## Medios físicos no guiados

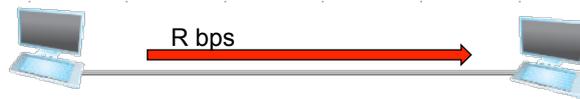
### Bandas de frecuencia y propagación

- Bandas VLF, LF, MF
- Banda HF
- Microondas
  - A partir de 1 GHz.
  - Radioenlaces de visión directa
- Infrarrojos (LANs)
- Laser
- Satélites (LEO, MEO, GEO)



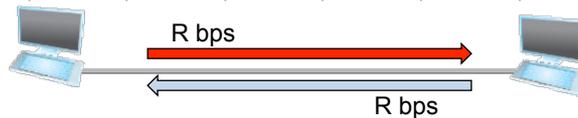
# Enlaces simplex, duplex y semiduplex

**Enlaces Símplex:** *Transmisión en un solo sentido.*



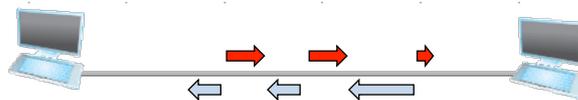
Enlace símplex de  $R$  bps

**Enlaces Dúplex:** *Transmisión simultánea en ambos sentidos.*



Enlace dúplex de  $R$  bps

**Enlaces Semi-dúplex:** *Transmisión en un ambos sentidos, pero no simultáneamente.*



Enlace semi-dúplex de  $R$  bps

# Enlaces punto-a-punto y punto-a-multipunto

## Enlaces directos o Punto a Punto (PtP)

Un medio físico interconecta dos equipos en sus extremos



## Enlaces compartidos

Un medio físico interconecta diferentes equipos que están conectados al mismo



Será necesario:

- ✓ “Coordinar” la transmisión (**técnicas de Acceso Múltiple**).
- ✓ Tener mecanismos de seguridad adicionales.

# Transmisión por un canal. Capacidad del canal.

## Canales con ruido aditivo

$$r(t) = s(t) + n(t)$$

$r(t)$  y  $s(t)$  señales recibida y transmitida

$n(t)$  ruido aditivo

## Capacidad del canal

La capacidad  $C$  de un canal aditivo es (Teorema de Shannon):

$$C = B \log_2(1+S/N) \quad \text{bps}$$

Ancho de banda ( $B$  Hz)

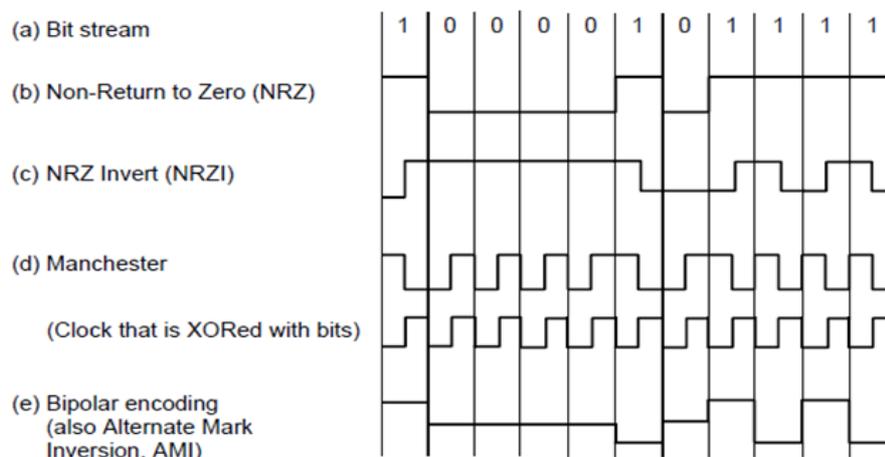
Relación de potencias de señal y ruido ( $S/N$  dB)

Para un canal telefónico:

- $B = 3300 - 300 = 3000\text{Hz}$
- $(S/N) = 10 \times \log_{10}(S/N) = 30\text{dB}$  (típico).
- $C = 3000 \times \log_2(1001) = 30\text{kbps}$ .
- Con  $S/N$  algo mejor,  $56\text{kbps}$

# Transmisión digital en banda de base

## Transmisión en banda de base. Códigos de línea

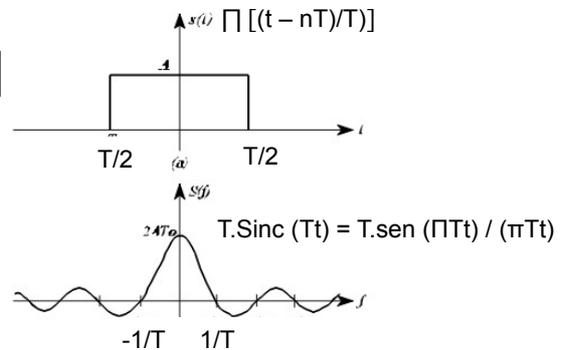


Códigos de línea: (a) Bits, (b) NRZ, (c) NRZI, (d) Manchester, (e) Bipolar o AMI.

# Modulaciones digitales. Módems

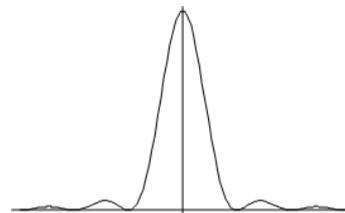
## Señal banda de base NRZ

$$x(t) = A \cdot \sum b_n \cdot \Pi [(t - nT)/T]$$



## Densidad espectral de NRZ

$$G_x(f) = A^2 T^2 \cdot \text{sinc}^2 (Tf) \cdot C(f)$$



# Modulaciones digitales. Módems

## Interferencia entre símbolos y máxima $V_{tx}$

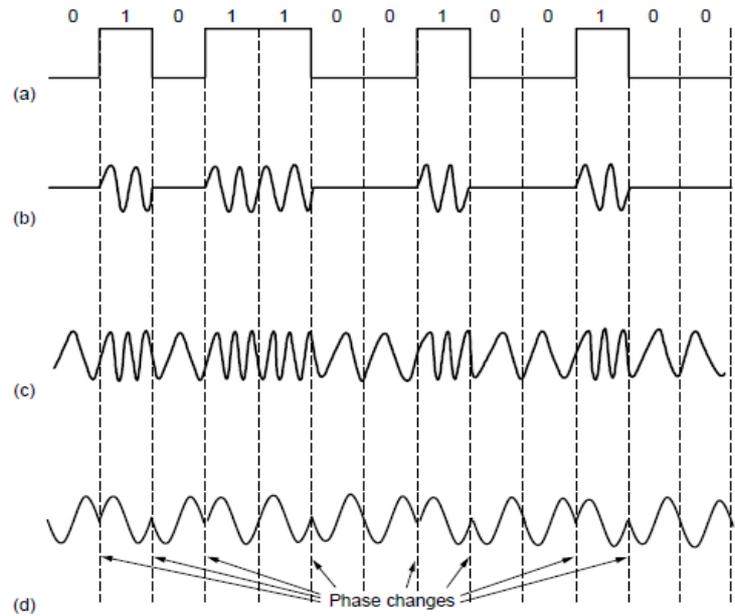
- Canal ideal en banda de base
  - $H(f) = \Pi(f/2w)$  ( $= 1$  si  $|f| \leq w$  ;  $= 0$  si  $|f| > w$ )
  - $h(t) = 2w \cdot \text{sinc}(2wt)$
  - $\Rightarrow h(t) = 0$  en  $t = n/2w$  con  $n \in \mathbb{Z}$
  - $\Rightarrow$  no hay interferencia entre símbolos (i.e.s.) en  $t = n/2w$
  - $\Rightarrow$  con  $B = w$  la separación entre ceros es  $t = n/2B$
  - $\Rightarrow$  máxima velocidad de transmisión  $V_{tx} = 2B$
- Caso general: **Canal equivalente  $C_{eq}$**   
 $C_{eq} = \sum H(f + n \cdot 2w) = \text{cte}$

**Teorema de Nyquist:** La máxima velocidad de transmisión con  $M$  niveles por un canal de  $B$  Hz es:

$$V_{tx} = 2B \log_2 M \quad \text{bps}$$

# Modulaciones digitales. Módems

Transmisión paso banda.  
Modulaciones digitales  
ASK, FSK, PSK

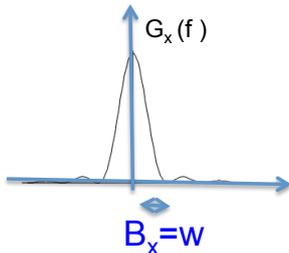


(a) Banda de base (b) ASK (c) FSK (d) PSK

# Modulaciones digitales. Módems

Modulaciones digitales lineales.

- Modulación ASK

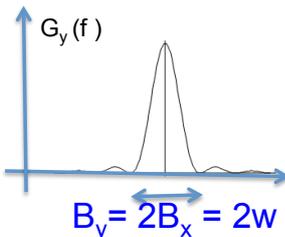


$$\text{Señal moduladora } x(t) = \sum b_n \cdot \Pi [(t - nT)/T]$$

$$G_x(f) = C(f) \cdot |X(f)|^2$$

Por C. Nyquist  $V_{tx} \leq 1/T = 2w = 2B_x$   
siendo  $B_x$  el ancho de banda de la señal moduladora ideal  
con  $H(f)$  plana =  $\Pi(f/2w)$

$\Rightarrow$  máxima velocidad de transmisión  $V_{tx \text{ max.}} = 2B_x$



$$\text{Señal modulada } y(t) = \sum b_n \cdot \Pi [(t - nT)/T] \cdot A \cos(w_c t)$$

$$G_y(f) = A^2/4 [G_x \text{ banda base } (f - f_c) + G_x \text{ banda base } (f + f_c)]$$

Por C. Nyquist  $V_{tx} \leq 1/T = 2w = 2B_x = B_y$

$\Rightarrow$  máxima velocidad de transmisión  $V_{tx \text{ max.}} = B_y$

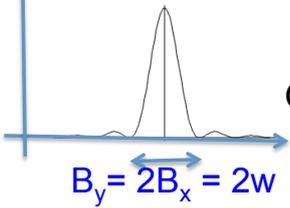
# Modulaciones digitales. Módems

## • Modulación PSK

Señal modulada

$$G_x(f) \quad y(t) = \sum b_n^f \cdot \Pi[(t - nT)/T] \cdot A \cos(w_c t) + \sum b_n^c \cdot \Pi[(t - nT)/T] \cdot A \sin(w_c t)$$

Siendo  $(b_n^f)^2 + (b_n^c)^2 = 1$



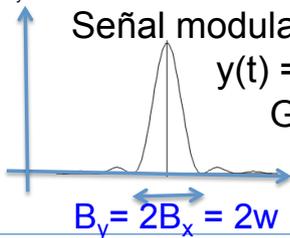
$G_y(f) = A^2/4 [G_x \text{ banda base } (f - f_c) + G_x \text{ banda base } (f + f_c)]$   
 desplazamiento de  $G_x(f)$  similar a ASK  $\Rightarrow$  modulación lineal  
 Por tanto al igual que en ASK  
 Por C. Nyquist  $V_{tx} \leq 1/T = 2w = 2B_x = B_y$   
 $\Rightarrow$  máxima velocidad de transmisión  $V_{tx \text{ max.}} = B_y$

## • Modulación QASK

Señal modulada

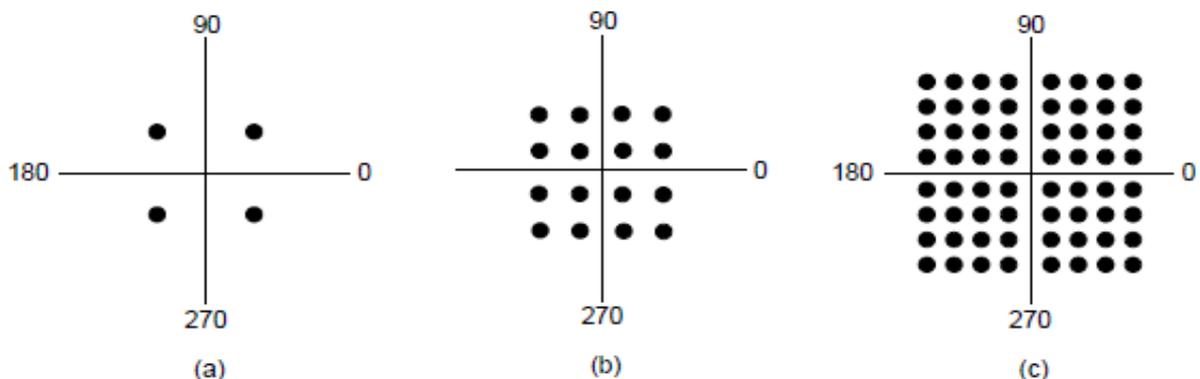
$$G_y(f) \quad y(t) = \text{equivalente a PSK pero sin la restricción } (b_n^f)^2 + (b_n^c)^2 = 1$$

$G_y(f) = \text{equivalente a ASK y PSK} \Rightarrow$  modulación lineal  
 Idem que en ASK y PSK:  $V_{tx} \leq 1/T = 2B_x = B_y$   
 $\Rightarrow$  máxima velocidad de transmisión  $V_{tx \text{ max.}} = B_y$



# Modulaciones digitales. Módems

## Modulaciones digitales PSK y QASK



(a) QPSK. (b) QASK-16. (c) QASK-64.

# Modulaciones digitales. Módems

## Modulaciones digitales no lineales

- FSK

$$y(t) = A \cos(\omega_c t + 2\pi f_d \cdot \sum b_n \cdot \Pi[(t - nT)/T])$$

BFSK dos tonos  $b_n = -1, 1$   $f_1 = f_c - f_d$   $f_2 = f_c + f_d$   
 $2f_d$  separación entre tonos  
 $G_y(f)$  = energía concentrada alrededor de  $f_1$  y  $f_2$   
Modulación no lineal  $\Rightarrow$  ancho de banda  $> 2 B_x$

Ancho de banda  $B_y$  de la señal modulada con  $f_d = 1/T = V_{tx}$   
 $B_y = 4f_d = 4/T$   
Por C. Nyquist  $V_{tx} \leq 1/T = 2w = 2B_x$   
 $B_y \geq 4V_{tx}$   
 $\Rightarrow$  máxima velocidad de transmisión  $V_{tx \max.} = \frac{1}{4} B_y$

Para la misma  $V_{tx}$  el  $B_y$  en modulaciones no lineales  $> B_y$  en modulaciones lineales

# Modulaciones digitales. Módems

## Modulaciones digitales no lineales

- MFSK

$$y(t) = A \cos(\omega_c t + 2\pi f_d \cdot \sum b_n \cdot \Pi[(t - nT)/T])$$

MFSK M tonos  $b_n = -(M+1), \dots, -1, 1, \dots, (M+1)$   
 $f_1 = f_c - (M+1)f_d$  .....  $f_M = f_c + (M+1)f_d$  con  $2f_d$  separación entre tonos

$G_y(f)$  = energía concentrada alrededor de  $f_1 \dots f_M$

Ancho de banda de la señal modulada

$$B_y = 2Mf_d$$

$B_y = 2M/(T \log_2 M)$  cuando  $f_d = 1/T_s = 1/(T \log_2 M)$   
donde  $T_s$  es la duración de un símbolo = tiempo mínimo de transmisión de un tono

Por C. Nyquist  $V_{tx} \leq 1/T = 2w = 2B_x$   
 $B_y \geq V_{tx} \cdot 2M/\log_2 M$   
 $\Rightarrow$  máxima velocidad de transmisión  $V_{tx \max.} = (B_y \log_2 M)/2M$

# Modulaciones digitales. Módems

Modulación	$V_{tx}$ (bps)	B (Hz)	Eficiencia binario (bps/Hz)	Eficiencia M niveles (bps/Hz)
Banda base	1/T	$B_x=W ; V_{tx} \leq 2W$	2	$2 \cdot \log_2 M$
Lineal (ASK, PSK, QASK ...)	1/T	$B_y=W ; V_{tx} \leq 2W$	1	$\log_2 M$
No lineal (FSK ...)	1/T	$B_y=4f_d=V_{tx} ; V_{tx} \leq 2W$	1/4	$1/2M \cdot \log_2 M$

## Técnicas de acceso múltiple

### Técnicas para acceso múltiple a un recurso:

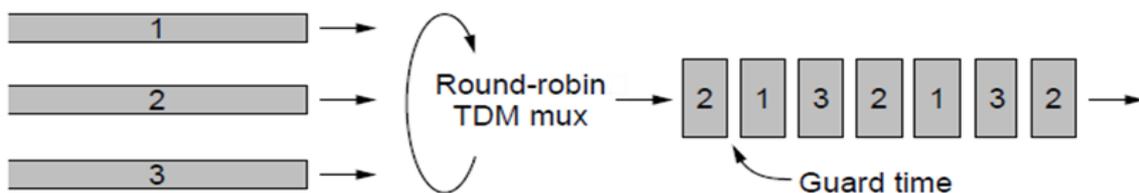
- **Multiplexación: REPARTIR el recurso**
  - Reparto estático y centralizado del recurso
  - Para demanda conocida y constante (canal telefónico)
- **Contienda: COMPARTIR el recurso**
  - Reparto dinámico y distribuido del recurso.
  - Para demanda desconocida a ráfagas (LAN Ethernet)
- **Reserva: RESERVAR el recurso**
  - Reparto dinámico y centralizado del recurso.
  - Para demanda desconocida a ráfagas en medios con alto retardo (Redes VSAT por satélite)

# Multiplexación

## Multiplexación en medios de transmisión

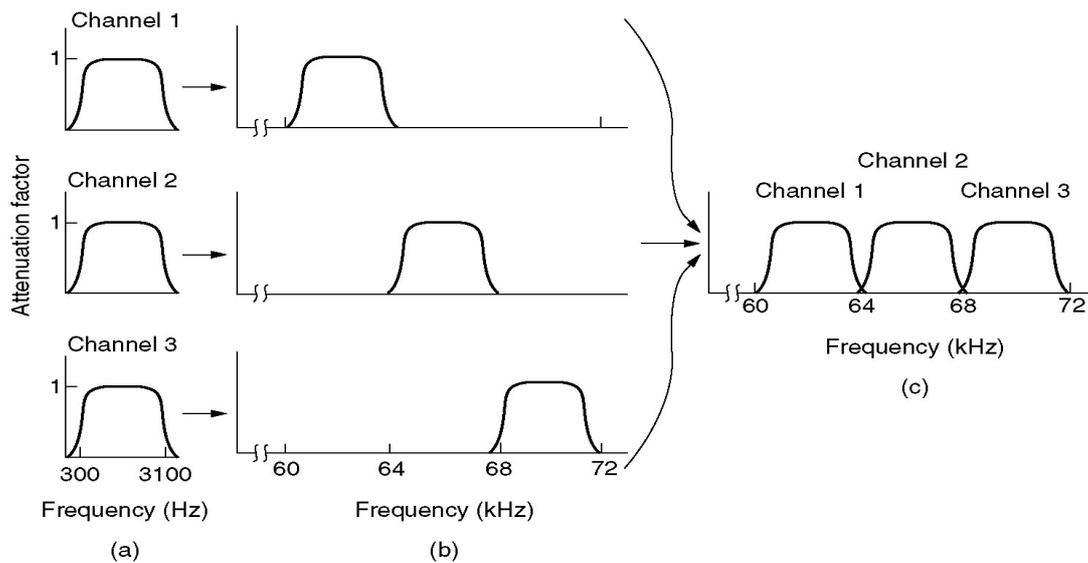
- TDM Múltiplex por división de tiempo
- FDM Múltiplex por división de frecuencia
- CDM Múltiplex por división de código
- WDM Múltiplex por longitud de onda
- SDM Múltiplex por división de espacio
- Múltiplex híbridos

## TDM Múltiplex por división de tiempo



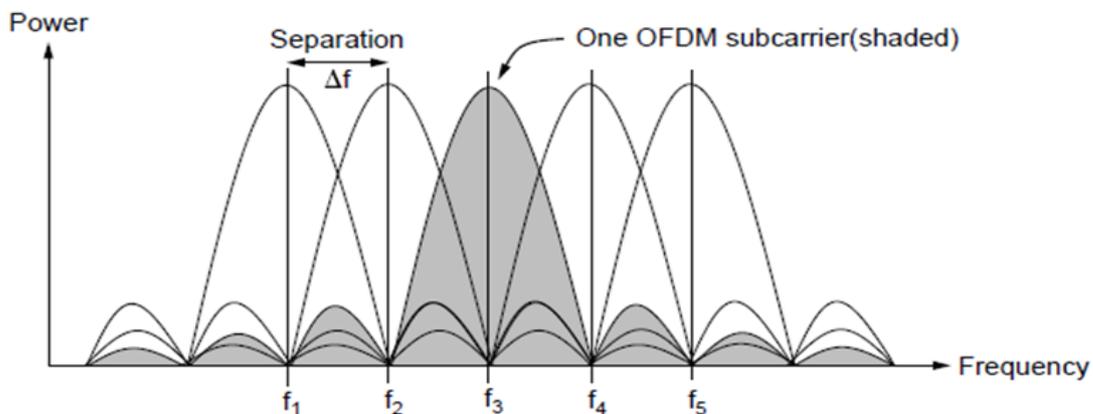
Time Division Multiplexing (TDM).

## FDM Múltiplex por división de frecuencia



- (a) La señal original (canal telefónico o canal multiplexado)
- (b) La señal desplazada en frecuencia
- (c) El canal multiplexado

## FDM Múltiplex por división de frecuencia



Orthogonal frequency division  
multiplexing (OFDM).

## CDM Múltiplex por división de código

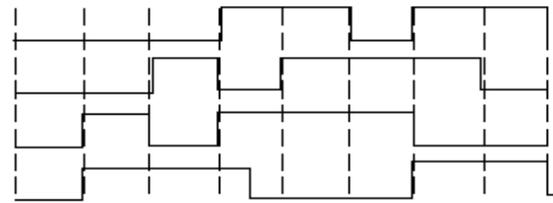
$$A = (-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)$$

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

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

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

(a)



(b)

(a) Secuencias para 4 estaciones A, B, C y D

(b) Señales asociadas

## CDM Múltiplex por división de código

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

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

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

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

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

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

(c)

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

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

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

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

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

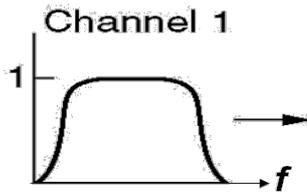
$$S_6 \cdot C = [2-2+0-2+0-2-4+0]/8 = -1$$

(d)

(a) Seis ejemplos de señales transmitidas

(b) Salida del receptor de la estación C

# TDM Múltiplex por división de tiempo



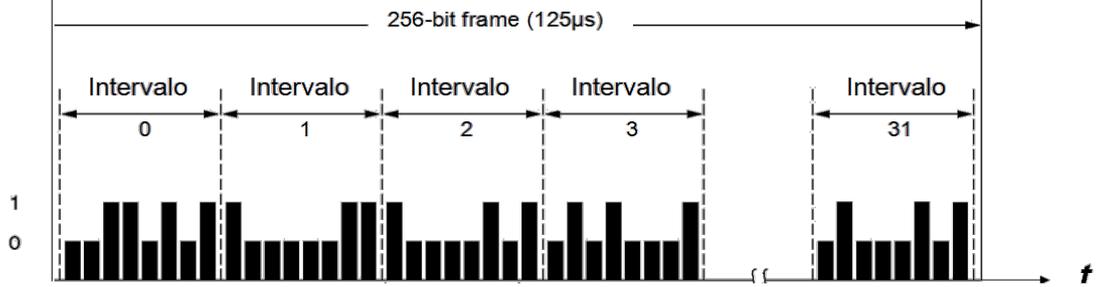
*Digitalización de un canal de voz:*

4 KHz (H): 8000 muestras/seg

30dB (S/N): 8 bits/muestra+Ley A => **64 kbps**

(En US: 8000 m/s+7 bits/m+Ley  $\mu$  => **56 Kbps**)

*El múltiplex E1 (flujo binario de 2048 kbps, 32 canales de 64 kbps).*



Intervalo 0: Sincronismo y canal de señalización común (**64 kbps**)

Intervalos 1..15: Canales de tráfico (**15 x 64 kbps**)

Intervalo 16: Canal de sincronización multitrama (**4 kbps**)

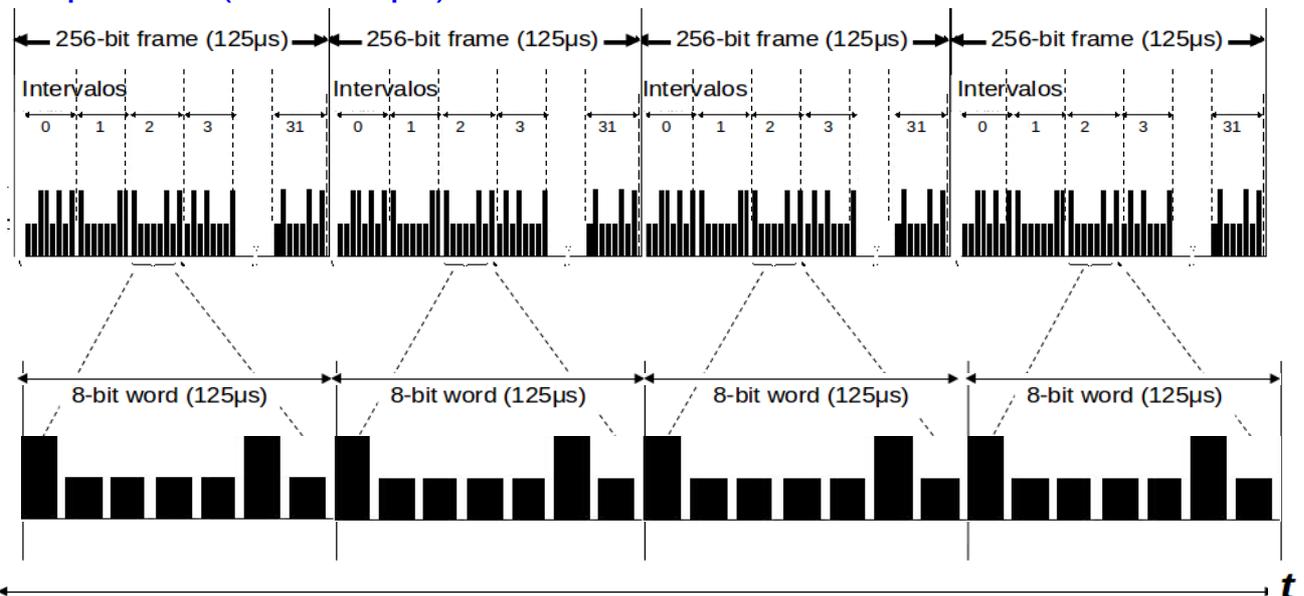
Canales de señalización asociados (30 canales):  $[(64 - 4)/30=2 \text{ kbps}]$

Intervalos 17..31: Canales de tráfico (**15 x 64 kbps**)

# TDM Múltiplex por división de tiempo

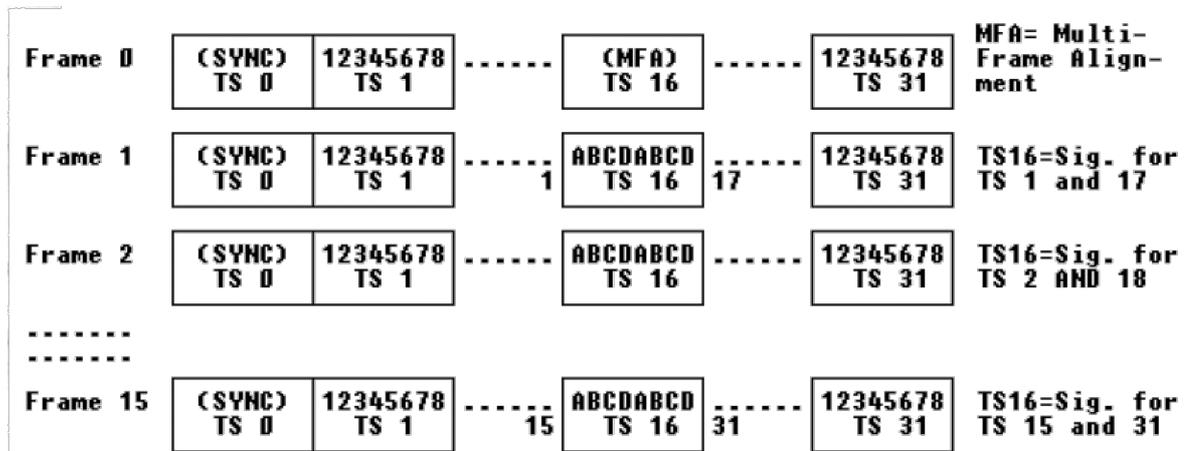
## Demultiplexación de canales

### Múltiplex E1 (2048 Kbps)



# TDM Múltiplex por división de tiempo

## Multitrama E1: Sincronización y señalización



### Multitrama de 16 tramas

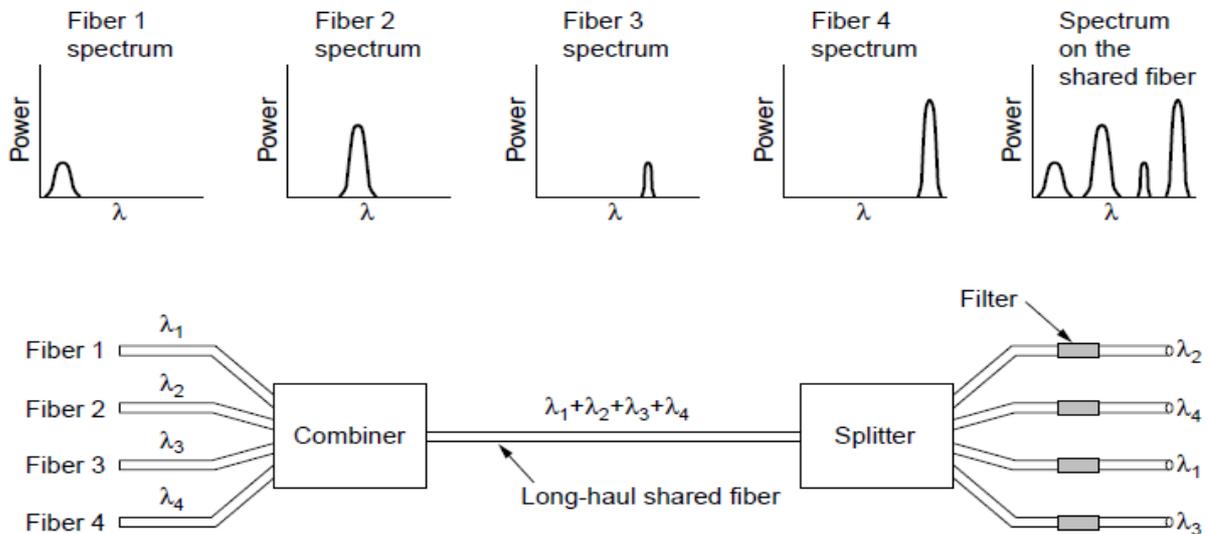
- Duración  $16 * 125 \mu s = 2 \text{ ms}$
- Capacidad canal MFA:  $8 \text{ bit} / 2 \text{ ms} = 4 \text{ kbps}$
- Capacidad de cada canal asociado:  $4 \text{ bit} / 2 \text{ ms} = 2 \text{ kbps}$

## Jerarquías TDM

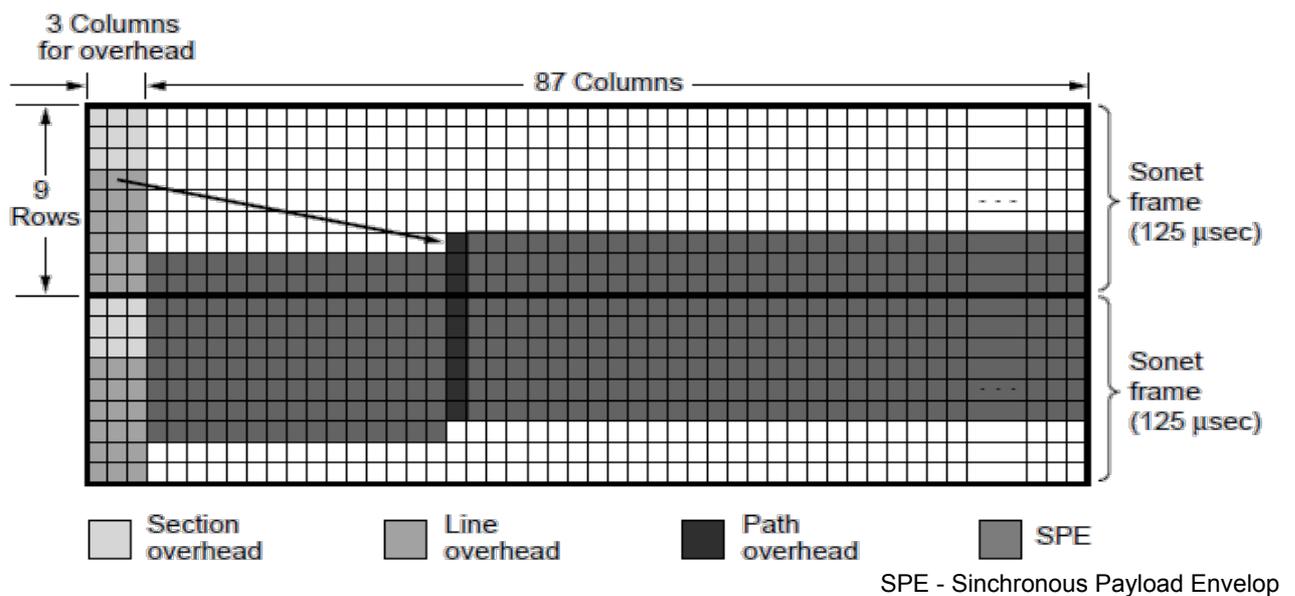
### Jerarquía en Europa (Múltiplex E1,...)

- E1.-  $30 + 2$  canales de 64Kbps = 2048 Kbps
- E2.-  $4 \times E1 = 8192 \text{ Kbps}$ ,
- E3.-  $4 \times E2 = 32768 \text{ Kbps}$ ,
- E4.-  $4 \times E3 = 131072 \text{ Kbps}$

# WDM Múltiplex por longitud de onda



# SONET/SDH



Dos tramas SONET (SDH STM-0) contiguas

# Jerarquías SONET/SDH

SONET		SDH	Data rate (Mbps)		
Electrical	Optical	Optical	Gross	SPE	User
STS-1	OC-1		51.84	50.112	49.536
STS-3	OC-3	STM-1	155.52	150.336	148.608
STS-12	OC-12	STM-4	622.08	601.344	594.432
STS-48	OC-48	STM-16	2488.32	2405.376	2377.728
STS-192	OC-192	STM-64	9953.28	9621.504	9510.912
STS-768	OC-768	STM-256	39813.12	38486.016	38043.648

STS - Synchronous Transfer Signal

## SONET and SDH multiplex rates.

## Índice

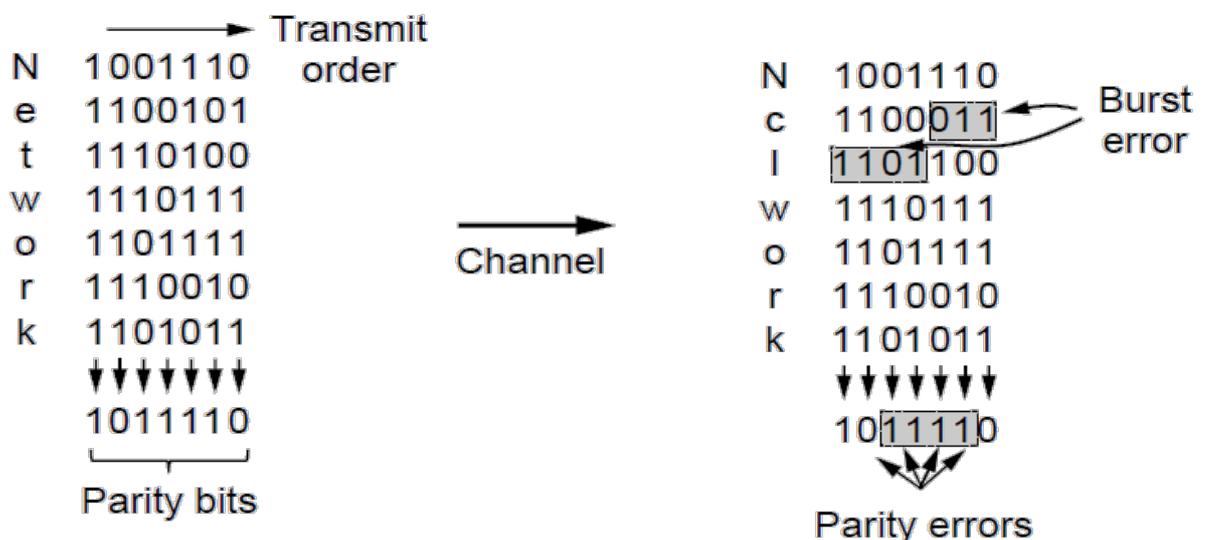
- Medios, transmisión y multiplexación
  - Cables de cobre y fibras ópticas
  - Espectro electromagnético y transmisión radio
  - Modulaciones digitales. Modems
  - Multiplexación. Sistemas y jerarquías
- Codificación de canal
  - Códigos de corrección de errores
  - Códigos de detección de errores. Sistemas ARQ.
- Enlaces
  - Formatos de trama
  - Transmisión continua y control de flujo
  - El protocolo de bit alternante
- La Red Pública Telefónica Conmutada RPTC
  - Elementos de la RPTC
  - Conmutación de circuitos
  - La RPTC como red de acceso
  - El bucle de abonado.
  - Tecnologías xDSL y xPON.

# Detección y corrección de errores

- Códigos de detección de errores
  - Códigos bloque lineales sistemáticos
    - Parity
    - Checksums
    - Cíclicos (CRC Cyclic Redundancy Checks)
- Códigos de corrección de errores
  - Códigos bloque lineales sistemáticos
    - Códigos Hamming
    - Códigos BCH y Reed-Solomon
  - Códigos lineales sistemáticos
    - Códigos convolucionales

## Códigos detectores de errores

### Código de paridad

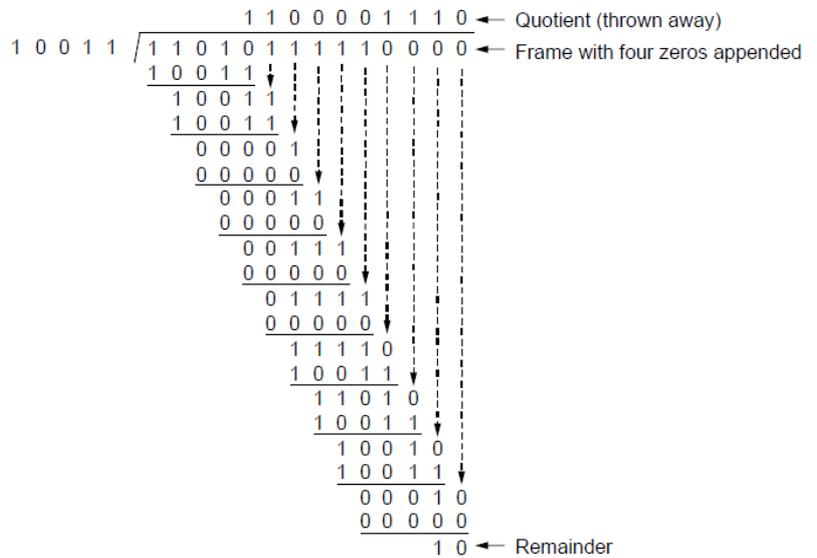


# Códigos detectores de errores. Códigos cíclicos

$$C(x) = x^9 + x^8 + x^6 + x^4 + x^3 + x^2 + x + 1$$

$$\text{Polinomio generador } G(x) = x^4 + x + 1$$

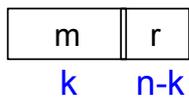
Frame: 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1  
 Generator: 1 0 0 1 1



Transmitted frame: 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 0 0 1 0 ← Frame with four zeros appended minus remainder

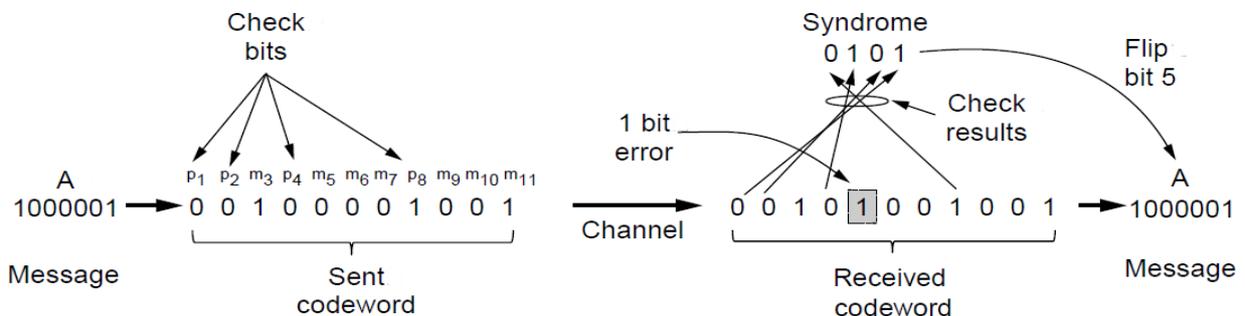
$$c(x) = m(x).g(x) + r(x)$$

$$r(x) = \text{resto de } c(x)/g(x)$$



# Códigos correctores de errores

## Código de Hamming (11,7) corrector de error en un bit $d=m=3$



Para todo  $m \geq 3$  existe un C. Hamming  $(n,k)$  con  $n= 2^m + m$ ,  $k=2^m - 1$ ,  $d=m=3$

# Códigos Hamming (n,k)

Para todo  $m \geq 3$  existe un C. Hamming (n,k) con  $n=2^m + m$ ,  $k=2^m - 1$ ,  $d=m=3$

Matriz de paridad H y síndrome S:

$$H^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

1 2 4 8 3 5 9 6 10 7 11

reordenar columnas

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

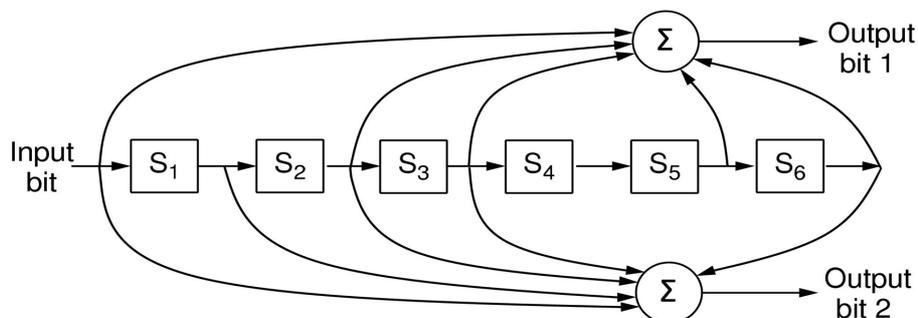
para que el síndrome "S" indique la posición del bit erróneo

Cálculo del síndrome (de la posición del bit erróneo):

$$S = r \cdot HT = (e + c) \cdot HT = e \cdot HT + c \cdot HT = e \cdot HT = S$$

# Códigos correctores de errores

Código convolucional binario de la NASA  
usado en las LAN WIFI 802.11



# Control de errores. Técnicas ARQ

## Técnicas de control de errores:

- FEC corrección de errores
- FEC detección + ACK
  - Técnicas ARQ
    - Parada y espera (Stop&Wait)
    - Go-back-N
    - Repetición selectiva
- Híbridas

## Índice

- Medios, transmisión y multiplexación
  - Cables de cobre y fibras ópticas
  - Espectro electromagnético y transmisión radio
  - Modulaciones digitales. Módems
  - Multiplexación. Sistemas y jerarquías
- Codificación de canal
  - Códigos de corrección de errores
  - Códigos de detección de errores. Sistemas ARQ.
- Enlaces
  - Formatos de trama
  - Transmisión continua y control de flujo
  - El protocolo de bit alternante
- La Red Pública Telefónica Conmutada RPTC
  - Elementos de la RPTC
  - La RPTC como red de acceso
  - El bucle de abonado.
  - Tecnologías xDSL y xPON.

# Formato de trama

Métodos de generación de tramas a partir de un flujo continuo:

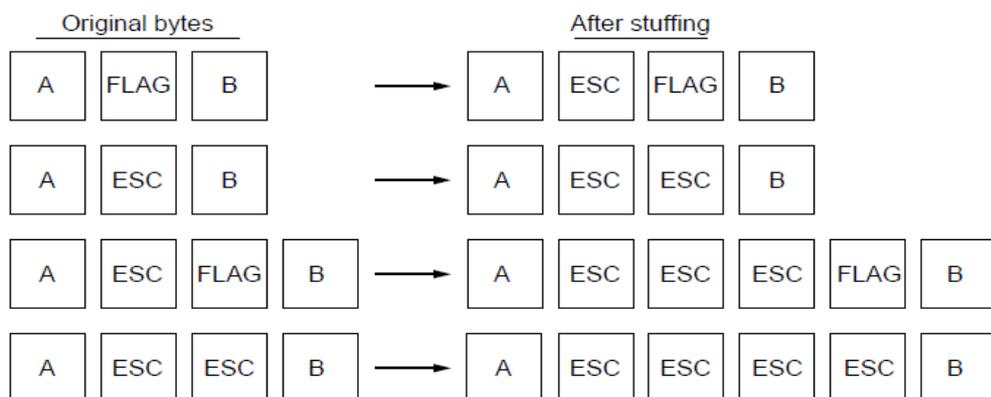
- Contador de octetos
- Banderas de octetos con relleno de octetos (byte stuffing)
- Banderas de bit con relleno de bits (bit stuffing)
- Violaciones del código de línea

# Formato de trama

Banderas de octetos con relleno:



(a)



(b)

## Formato de trama

### Banderas de bits con relleno:

(a) 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0

(b) 0 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 0 0 1 0

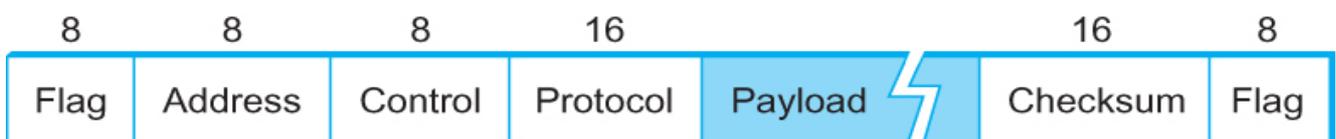
↑  
Stuffed bits

(c) 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0

(a) Datos originales (b) Datos que se transmite (c) Datos como se almacenan en la memoria del receptor.

## Formato de trama PPP

### Tramas del protocolo PPP



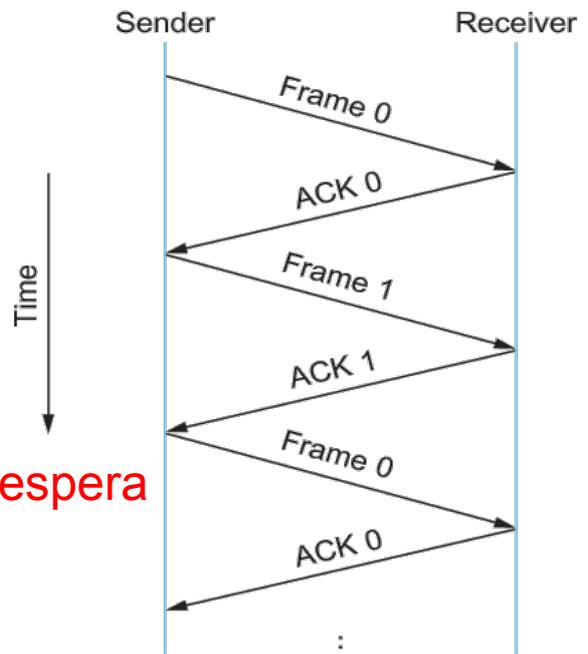
- Bandera de inicio
- Dirección de enlace.
- Control
- Protocolo
- Campo de datos
- El CRC
- Bandera de fin

# Control de flujo

## Métodos de control de flujo:

1. Realimentación desde el receptor
  - Parada y espera
  - Ventana deslizante
2. El protocolo negocia al inicio la velocidad para evitar desbordamientos

### Método de parada y espera

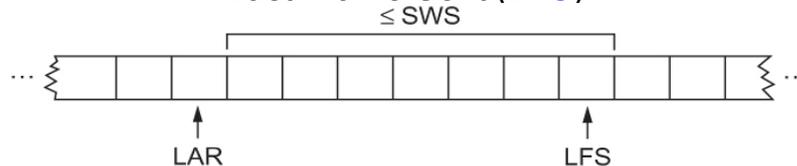


# Control de flujo. Ventana deslizante

- Ventana deslizante en el transmisor:

$$LFS - LAR \leq SWS$$

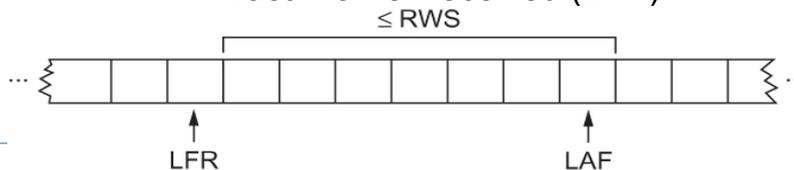
- Sending Window Size (SWS)
- Last Acknowledgement Received (LAR)
- Last Frame Sent (LFS)



- Ventana deslizante en el receptor:

$$LAF - LFR \leq RWS$$

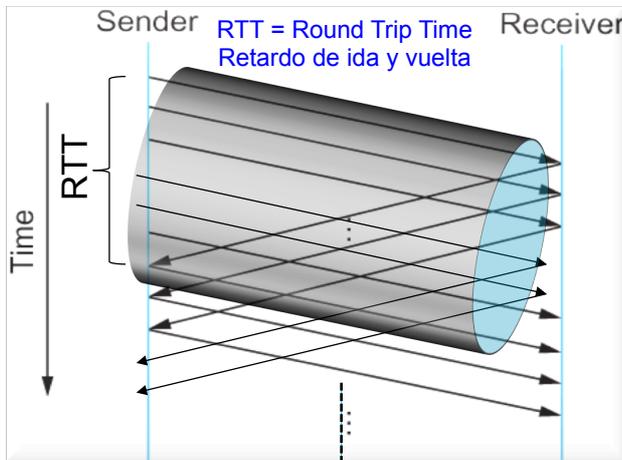
- Receiving Window Size (RWS)
- Largest Acceptable Frame (LAF)
- Last Frame Received (LFR)



# Control de flujo. Ventana deslizante

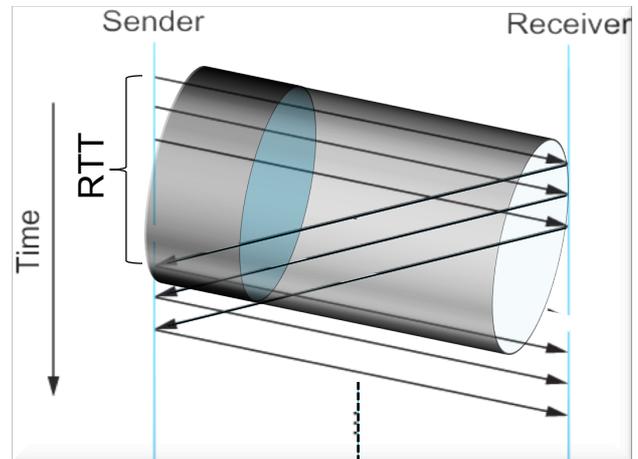
## Método de ventana deslizante

Tamaño de ventana > RTT



Transmisión continua  
"pipe" lleno  
"throughput" ~ "bandwidth"

Tamaño de ventana < RTT



Se intenta mantener el  
"pipe" lleno

Transmisión a ráfagas  
"pipe" sin llenar  
"throughput" < "bandwidth"

# Control de flujo. Ventana deslizante

## Ejemplo de cálculo de ventana deslizante

Calcular el tamaño de la ventana deslizante que hay que utilizar para enviar paquetes de  $L = 1 \text{ kB}$  por una red con velocidad  $V_{tx} = 1,5 \text{ Mbps}$  y retardo  $RTT = 45 \text{ ms}$ .

Para la red:

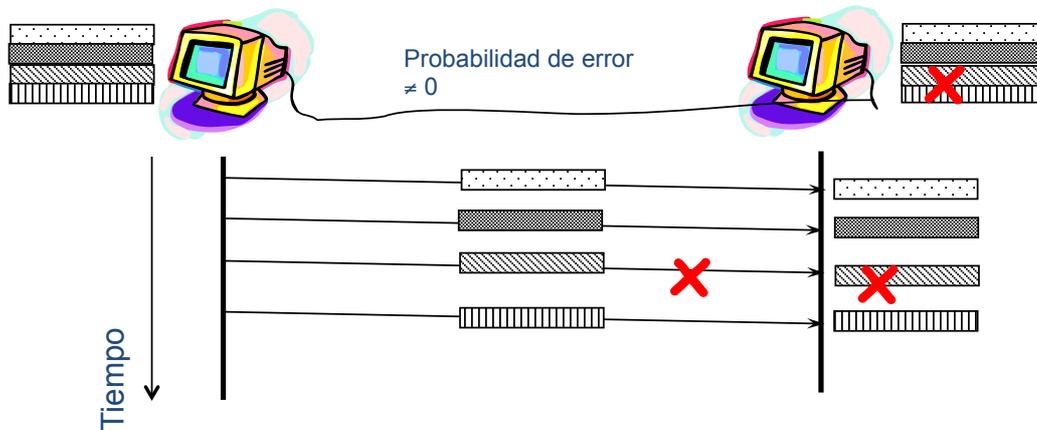
$$\begin{aligned} \text{Retardo x Ancho de banda} &= RTT \cdot V_{tx} \\ \text{Retardo x ancho de banda} &= 45 \cdot 1,5 = 67,5 \text{ kb} \end{aligned}$$

Para un paquete:

$$\text{Retardo x Ancho de banda} = d_{tx} \cdot V_{tx} = L = 1024 \cdot 8 = 8,19 \text{ kb}$$

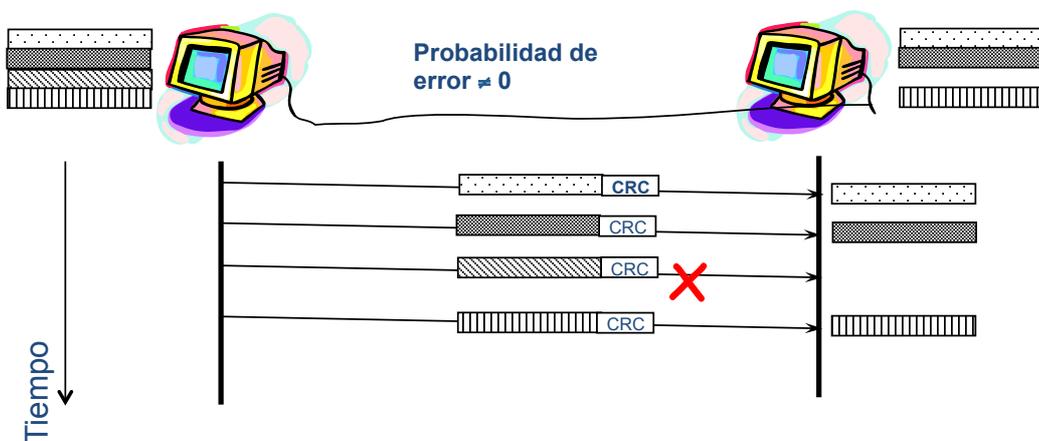
$$\begin{aligned} L &\approx 1/8 \cdot (\text{Retardo x ancho de banda de la red}) \\ &\Rightarrow \text{transmitir 8 paquetes y luego esperar ACK} \\ &\Rightarrow \text{tamaño de ventana} = 8 \end{aligned}$$

## Ejemplo de protocolo de enlace: Bit alternante



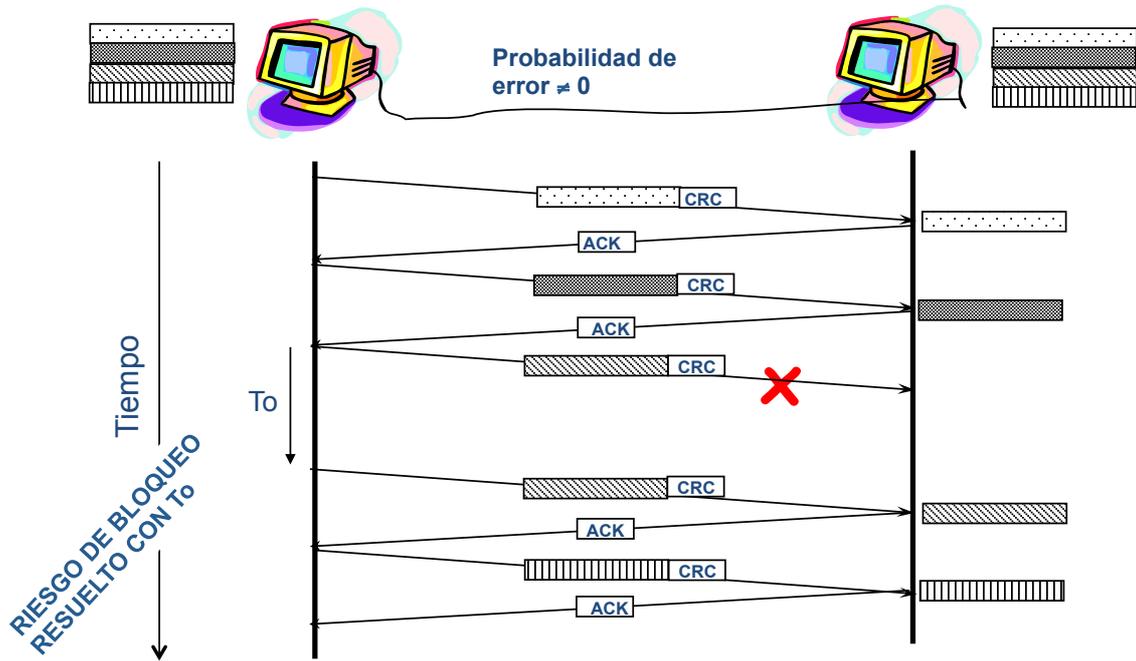
**PROBLEMA:** SE ENTREGA INFORMACIÓN ERRÓNEA. . . .  
Y ES MÁS GRAVE ENTREGAR INFORMACIÓN ERRÓNEA QUE NO ENTREGARLA

## Ejemplo de protocolo de enlace: Bit alternante

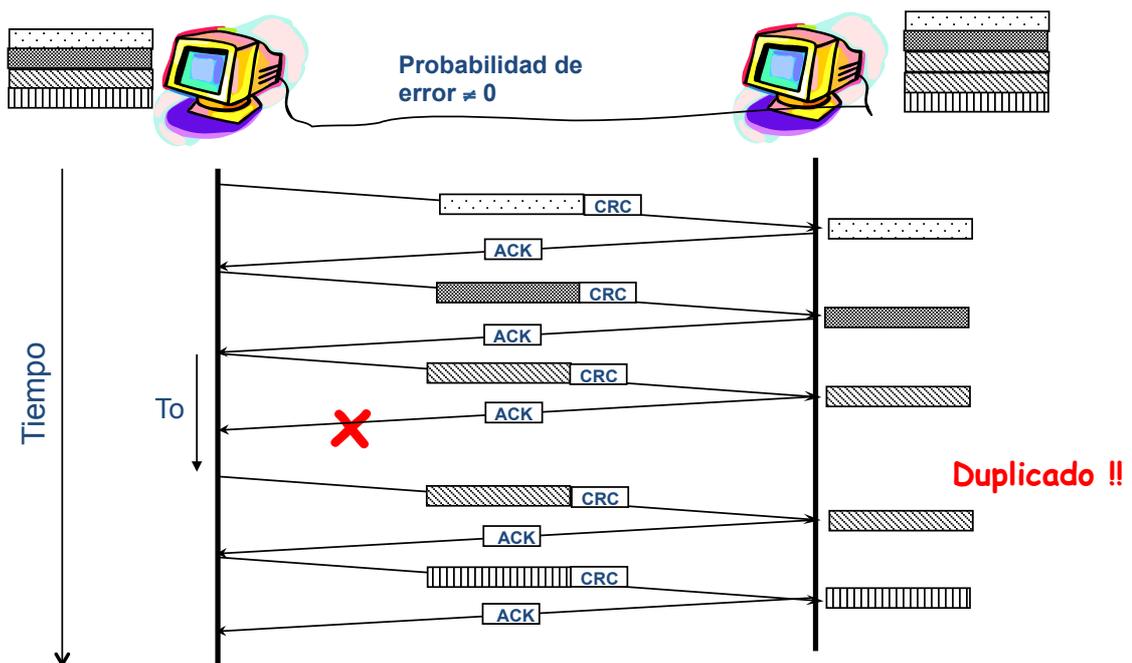


- SE PIERDEN PAQUETES (Se tiran los de CRC erróneo)

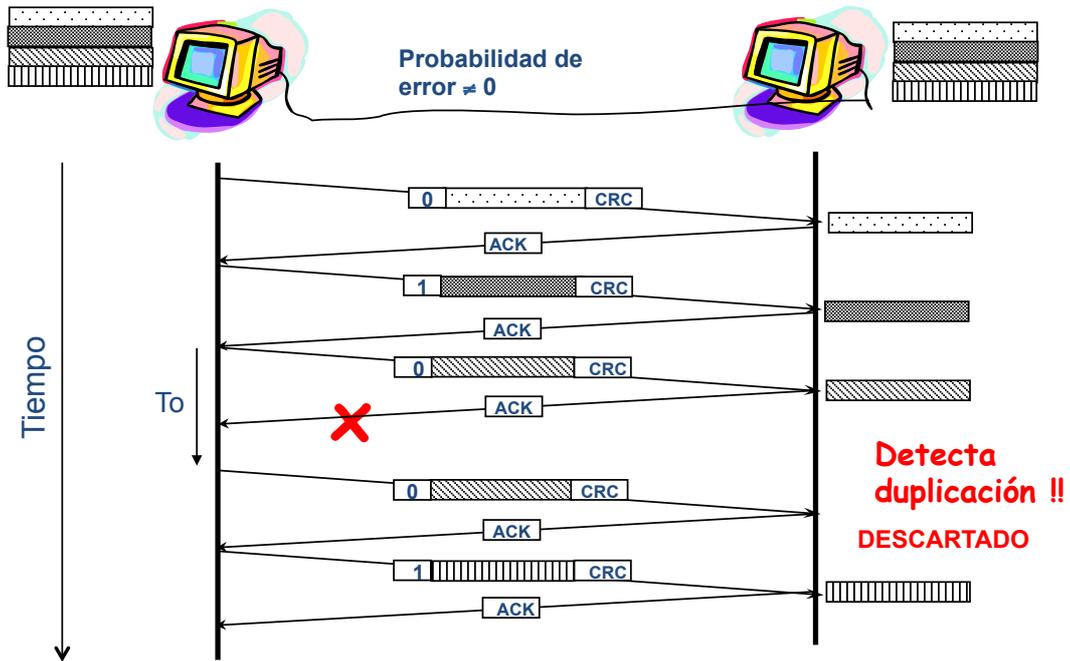
# Ejemplo de protocolo de enlace: Bit alternante



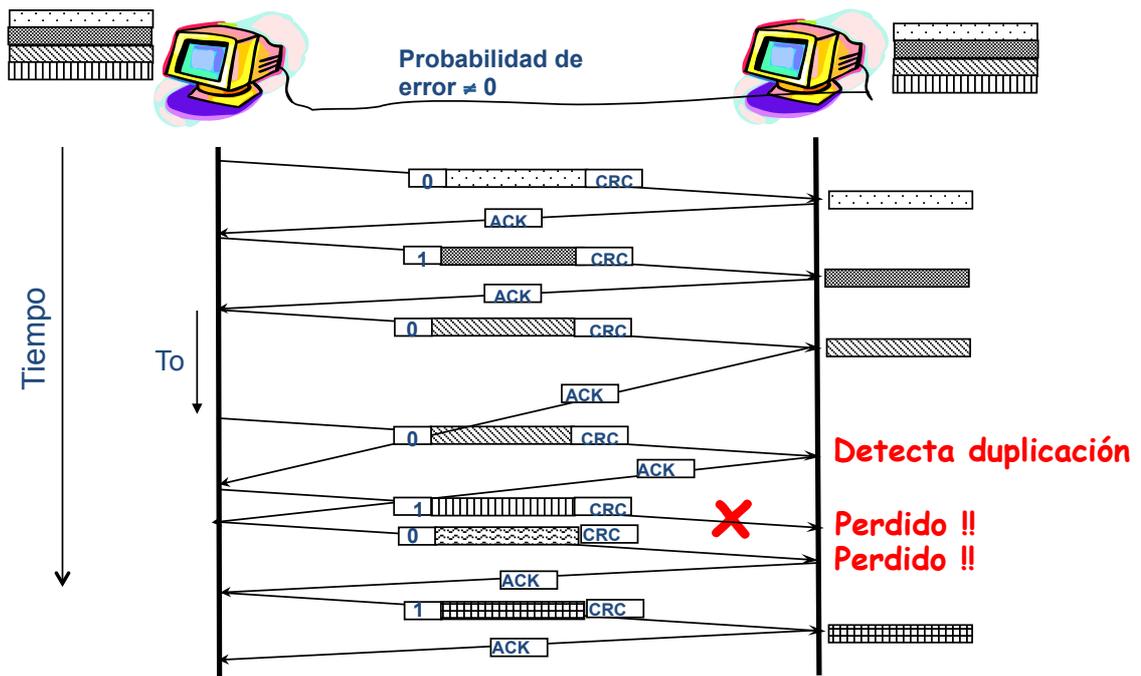
# Ejemplo de protocolo de enlace: Bit alternante



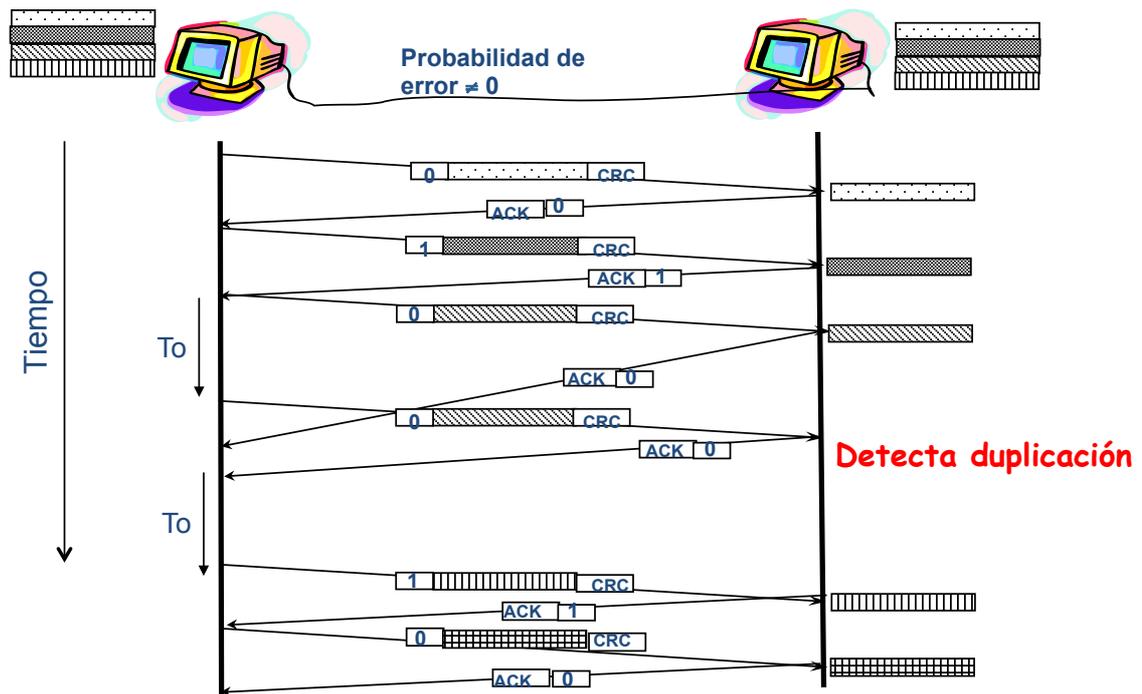
# Ejemplo de protocolo de enlace: Bit alternante



# Ejemplo de protocolo de enlace: Bit alternante



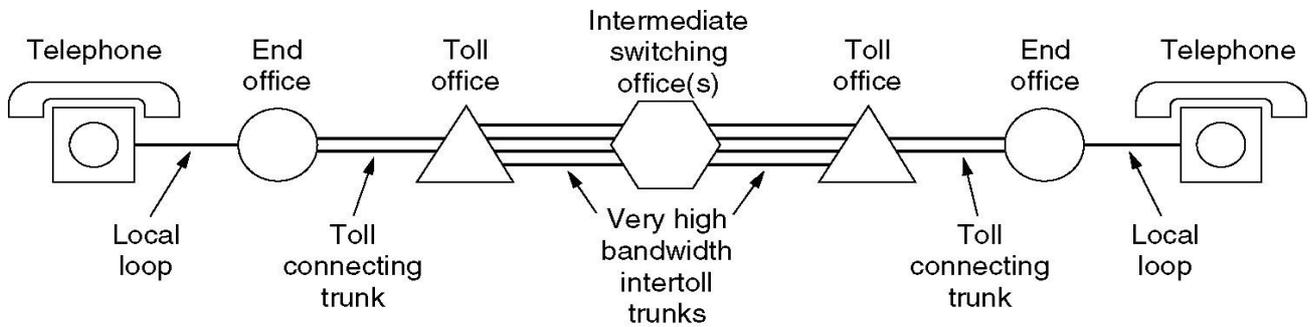
# Ejemplo de protocolo de enlace: Bit alternante



## Índice

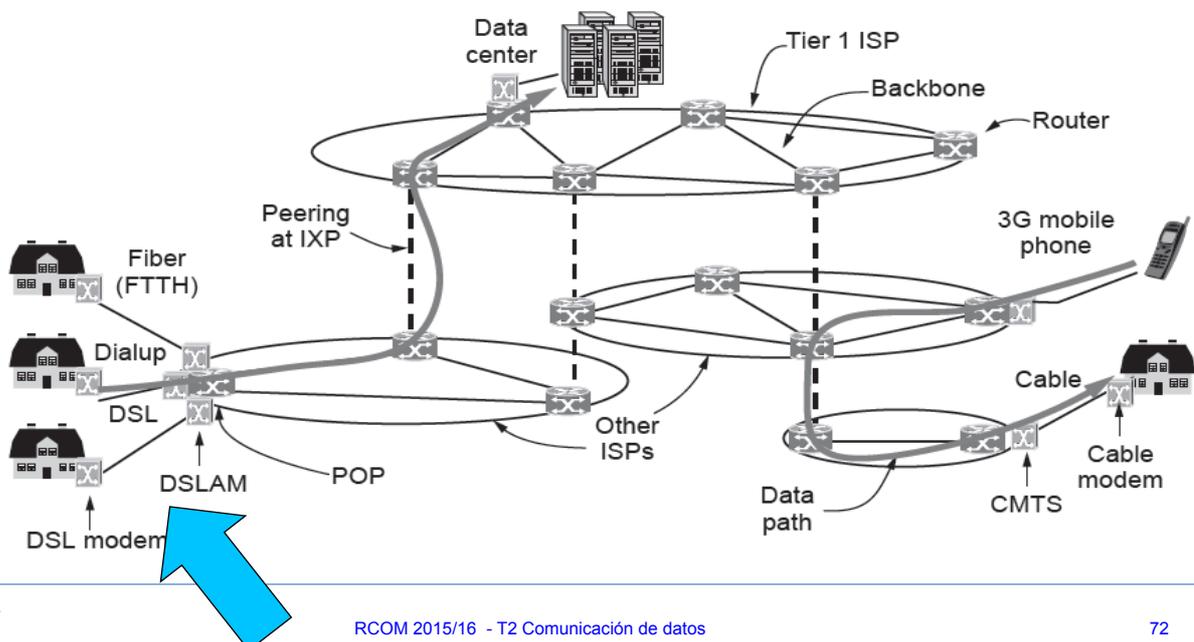
- Medios, transmisión y multiplexación
  - Cables de cobre y fibras ópticas
  - Espectro electromagnético y transmisión radio
  - Modulaciones digitales. Módems
  - Multiplexación. Sistemas y jerarquías
- Codificación de canal
  - Códigos de corrección de errores
  - Códigos de detección de errores. Sistemas ARQ.
- Enlaces
  - Formatos de trama
  - Transmisión continua y control de flujo
  - El protocolo de bit alternante
- La Red Pública Telefónica Conmutada RTPC
  - Elementos de la RTPC
  - La RTPC como red de acceso
  - El bucle de abonado.
  - Tecnologías xDSL y xPON.

# La Red Pública Telefónica Conmutada RPTC



## Terminales, enlaces, centrales y jerarquía

## La RPTC como red de acceso El bucle de abonado. Módemss xDSL.



# El bucle de abonado. Módems ADSL

## ¿Qué es?

- ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line).
- Es un protocolo de nivel FÍSICO para transmisión de datos bidireccional, asimétrica por los pares de cobre telefónicos

## Ventajas:

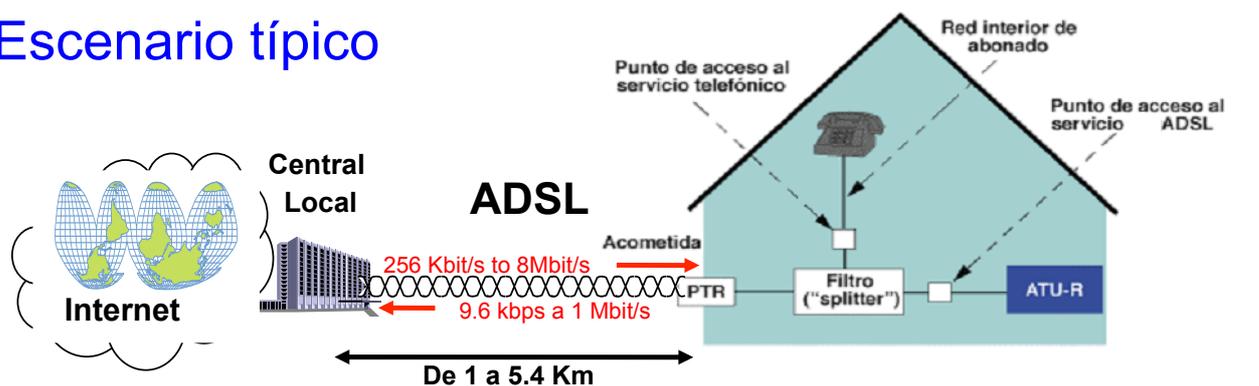
- Reutiliza infraestructura. Baja inversión, despliegue rápido.
- Gran disponibilidad (donde llegue el teléfono).
- Compartido con el servicio telefónico.
- Siempre conectado.
- Alta velocidad de datos y tráfico asimétrico (Internet)

## Inconvenientes:

- Limitaciones por la calidad del bucle de abonado

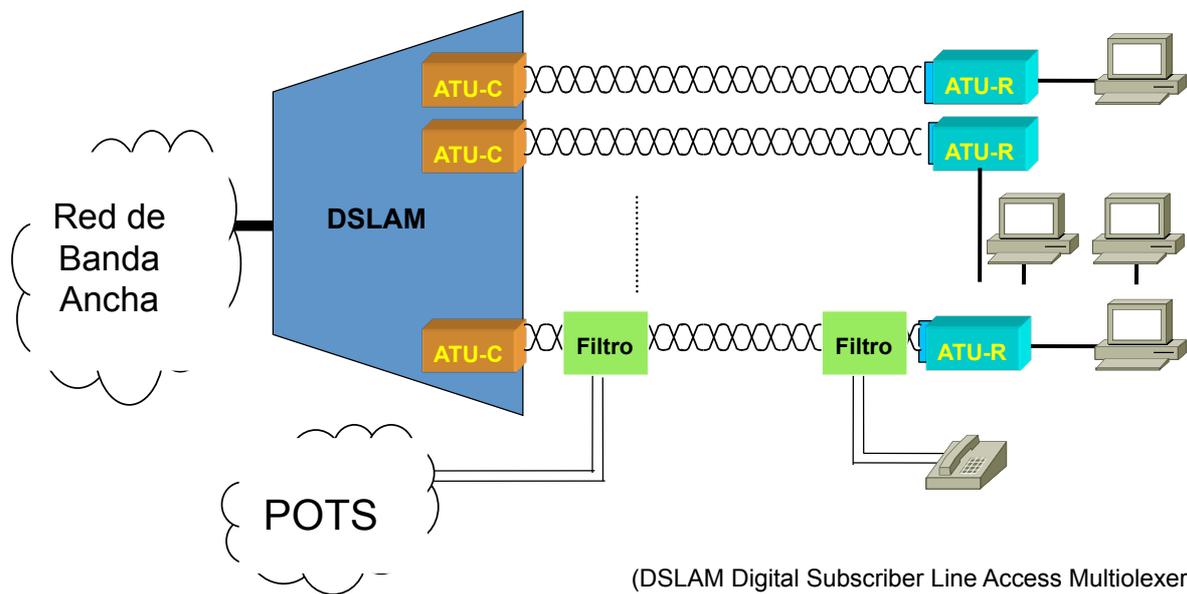
# El bucle de abonado. Módems ADSL

## Escenario típico



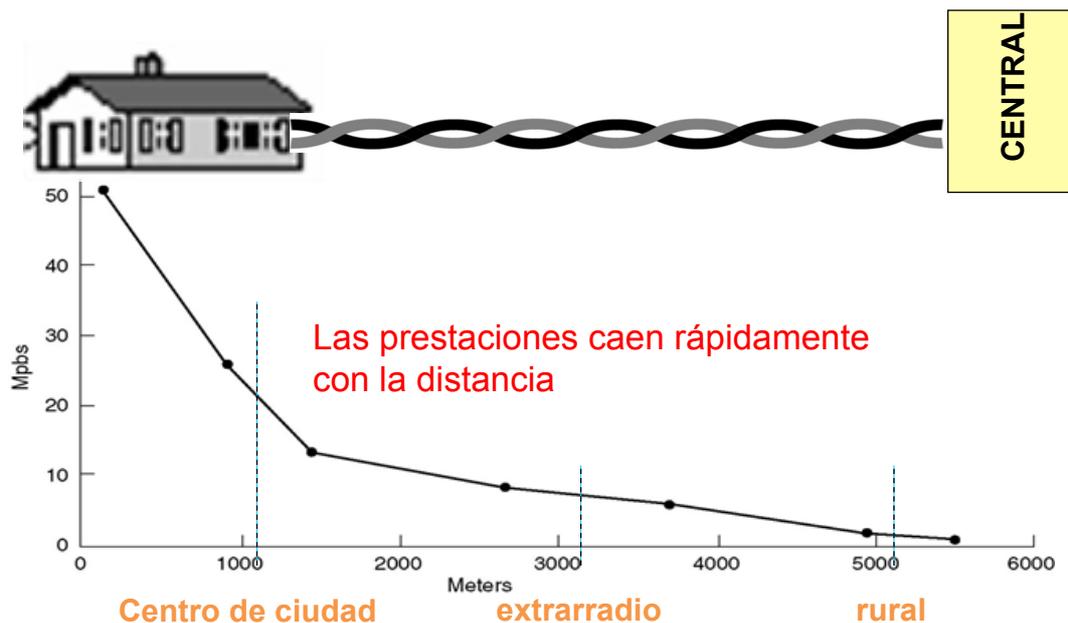
# El bucle de abonado. Módems ADSL

## Arquitectura de acceso y equipos

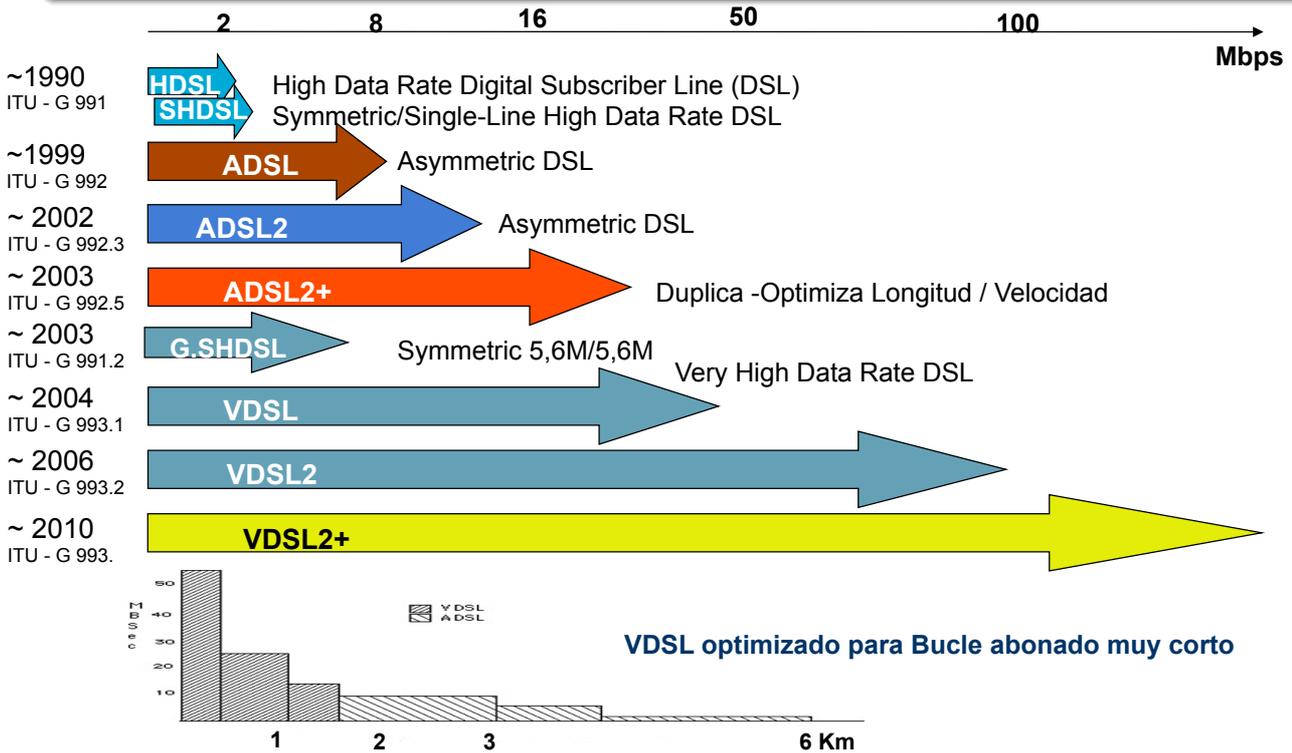


# El bucle de abonado.

## Prestaciones del bucle de abonado PSTN

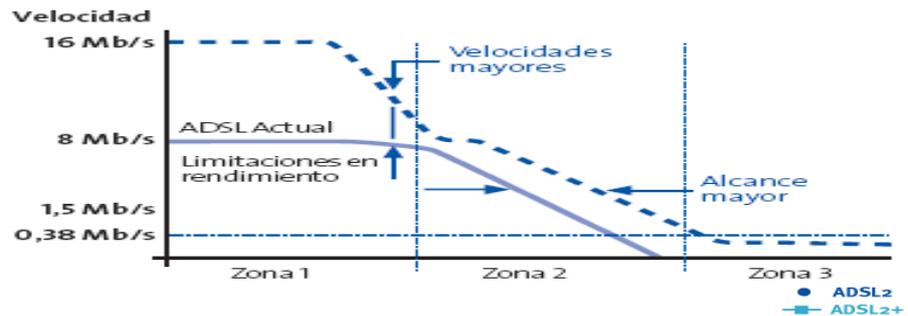


# El bucle de abonado. Evolución de xDSL

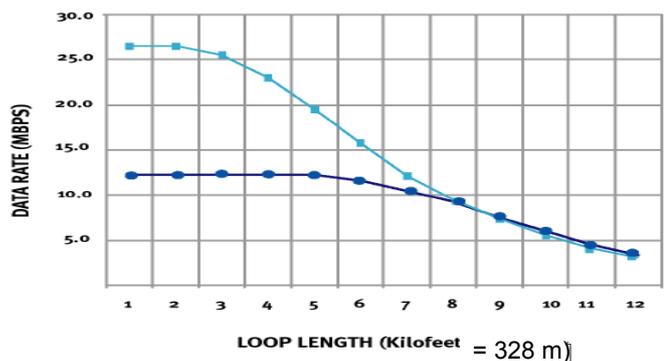
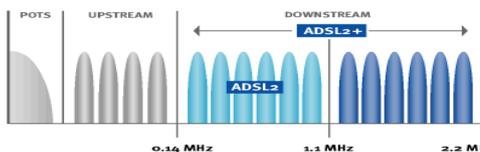


# El bucle de abonado.

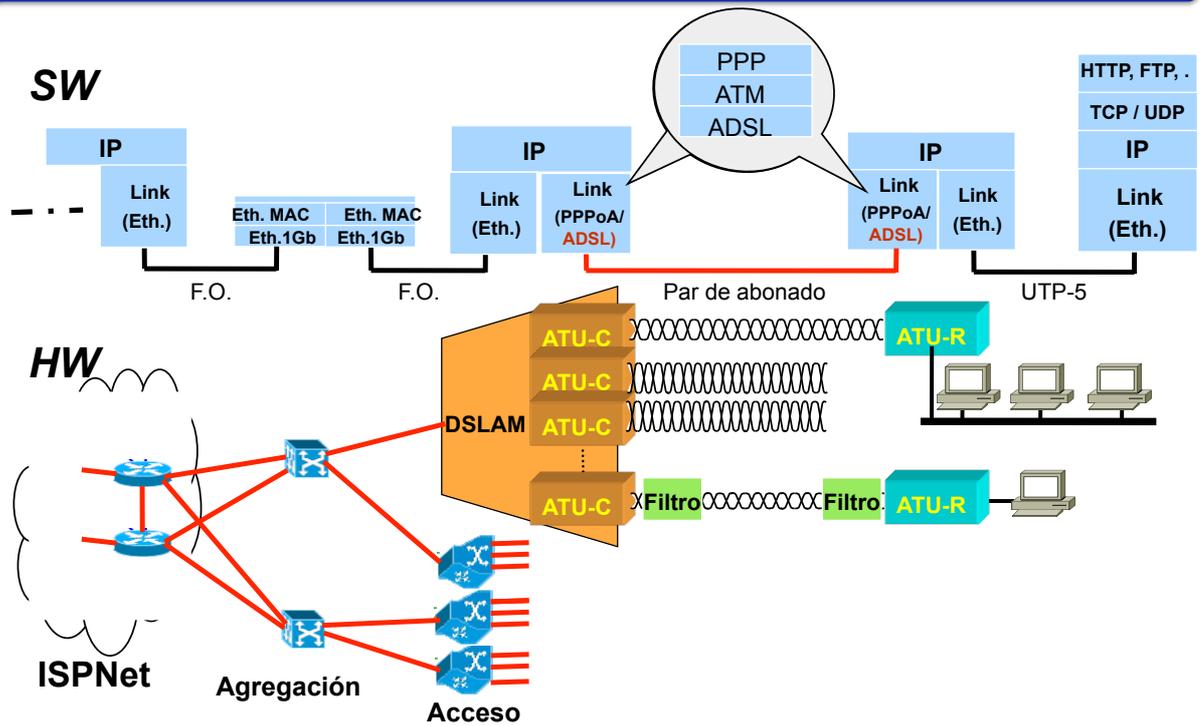
## ADSL2



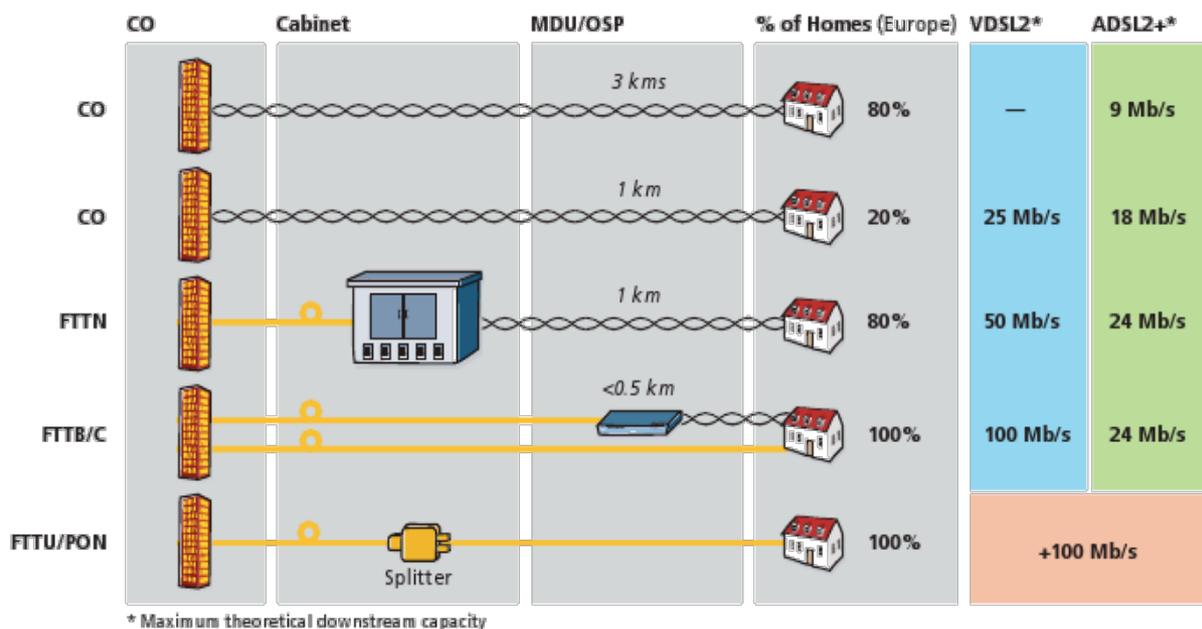
## ADSL2+: Extensión del Espectro



# Arquitecturas xDSL



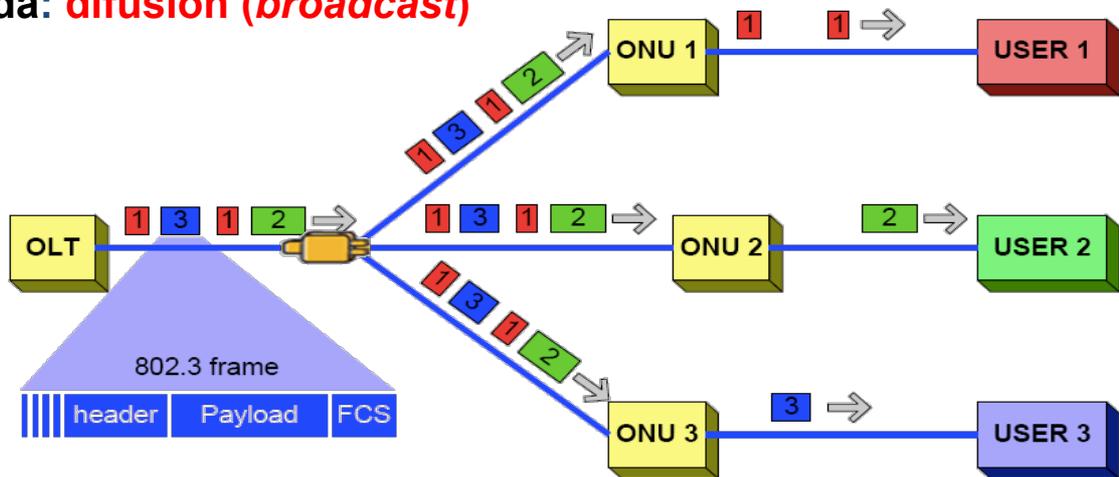
# Tecnologías xDSL y xPON



## xPON: red → usuario



### Bajada: **difusión (broadcast)**



OLT: Optical Line Terminal, **ONU/ONT**: Optical Network Unit/Optical Network Terminal

## xPON: usuario → red



### Subida: **Acceso múltiple TDMA**

