

Medios físicos para la Transmisión de datos

Miguel Ángel López Gordo
Teoría de la Señal, Telemática y Comunicaciones
UGR, Mayo 2018, malg@ugr.es

- Estándares de Ethernet
- Cable de cobre
 - Par trenzado
 - Terminaciones
 - Tipos
 - Características
 - Ejemplos
- Fibra optica
 - Detalles constructivos
 - Tipos
 - Dispersión modal en fibra multimodo
 - Características óptico-eléctricas
 - Ejemplos
- Límites a la velocidad de los datos
- Ejercicios
- Bibliografía

Estándares de Ethernet

Standard	Specification	Length (m)	Cable Type	Pairs Required
10Base5	802.3	500	50-Ohm thick coaxial cable	—
10Base2	802.3	185	50-Ohm thin coaxial cable	—
10BaseT	802.3	100	Category 3, 4, or 5 UTP	2
10BaseFL	802.3	2000	Fiber	1
100BaseTx	802.3u	100	Category 5 UTP	2
100BaseT4	802.3u	100	Category 3 UTP	4
100BaseT2	802.3u	100	Category 3, 4, or 5UTP	2
100BaseFx	802.3u	400/2000	MM fiber	1
100BaseFx	802.3u	10,000	SM fiber	1
1000BaseSx	802.3z	220-550	MM fiber	1
1000BaseLx	802.3z	3000	SM or MM fiber	1
1000BaseCx	802.3z	25	Shielded copper	2
1000BaseT	802.3ab	100	Category 5 UTP	4

SM → Grandes distancias
 MM → Pequeñas distancias
 T → Trenzado

Ethernet Standards

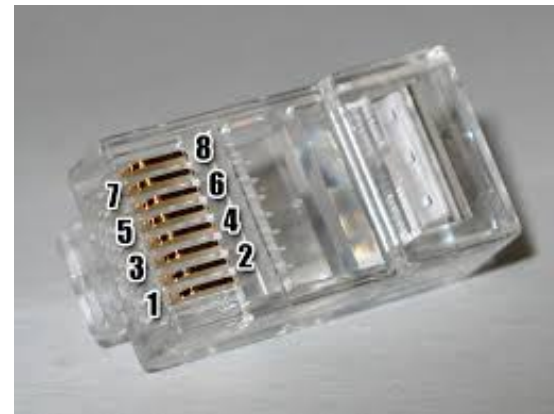
The Evolution of Ethernet Standards to Meet Higher Speeds				
Date	IEEE Std.	Name	Data Rate	Type of Cabling
1990	802.3i	10BASE-T	10 Mb/s	Category 3 cabling
1995	802.3u	100BASE-TX	100 Mb/s*	Category 5 cabling
1998	802.3z	1000BASE-SX	1 Gb/s	Multimode fiber
	802.3z	1000BASE-LX/EX		Single mode fiber
1999	802.3ab	1000BASE-T	1 Gb/s*	Category 5e or higher Category
2003	802.3ae	10GBASE-SR	10 Gb/s	Laser-Optimized MMF
	802.3ae	10GBASE-LR/ER		Single mode fiber
2006	802.3an	10GBASE-T	10 Gb/s*	Category 6A cabling
2015	802.3bq	40GBASE-T	40 Gb/s*	Category 8 (Class I & II) Cabling
2010	802.3ba	40GBASE-SR4/LR4	40 Gb/s	Laser-Optimized MMF or SMF
	802.3ba	100GBASE-SR10/LR4/ER4	100 Gb/s	Laser-Optimized MMF or SMF
2015	802.3bm	100GBASE-SR4	100 Gb/s	Laser-Optimized MMF
2016	SG	Under development	400 Gb/s	Laser-Optimized MMF or SMF
Note: *with auto negotiation				

Cable de cobre. Par trenzado

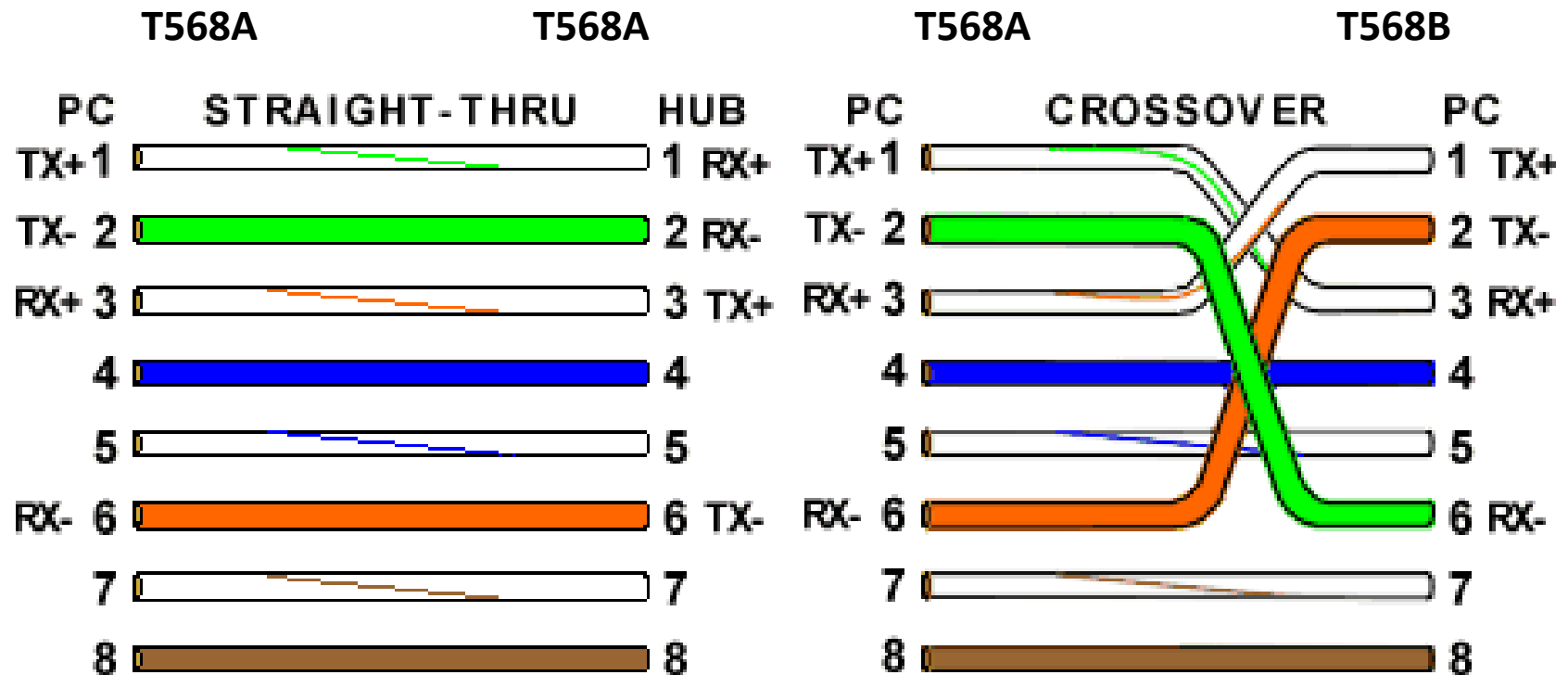
Terminaciones

Estándar

- T568A
- T568B

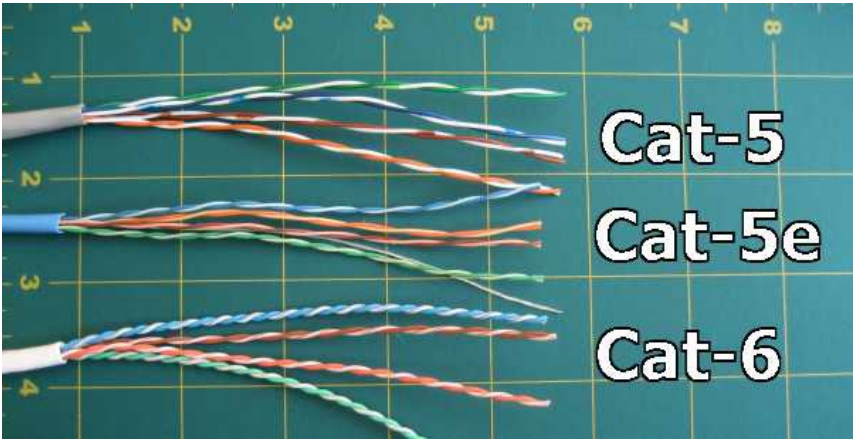


Conector RJ45

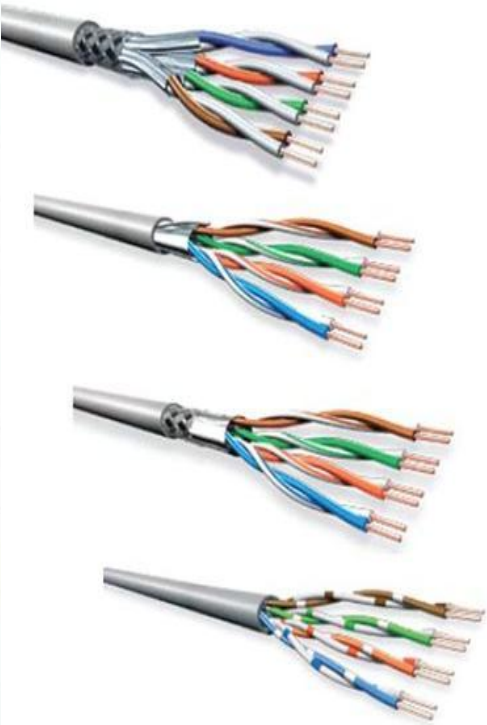
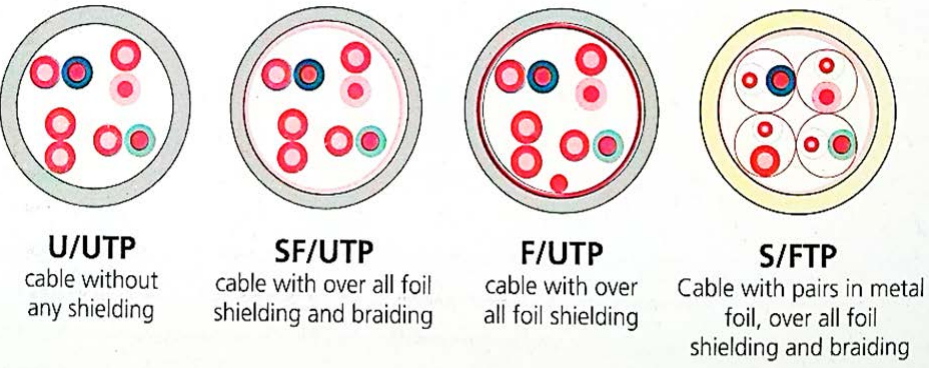
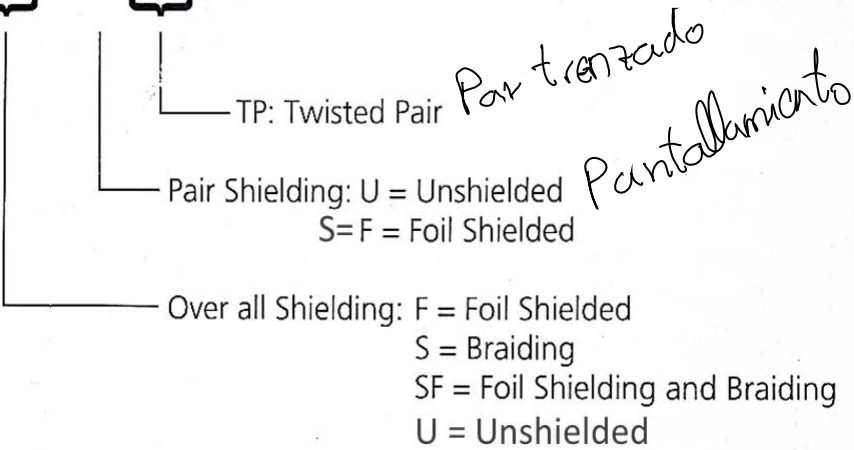


Cable de cobre. Par trenzado.

Tipos



XX/XTP



S/FTP:
overall braid screen (S),
elements foil screened (FTP)

F/UTP:
overall foil screen (F),
elements unscreened (UTP)

SF/UTP:
overall braid and foil screen (SF),
elements unscreened (UTP)

U/UTP:
no overall screen (U),
elements unscreened (UTP)

Cable de cobre. Par trenzado.

Características

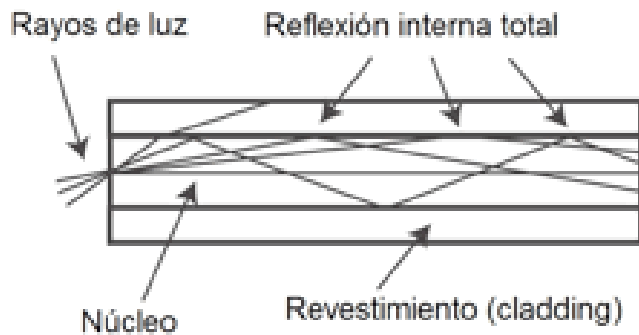
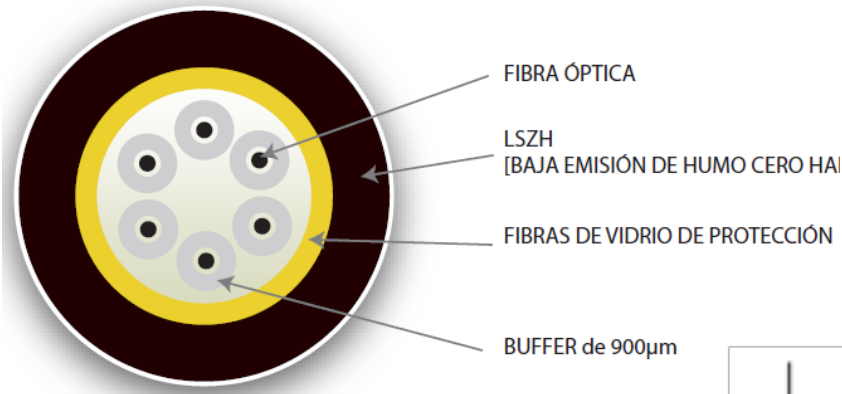
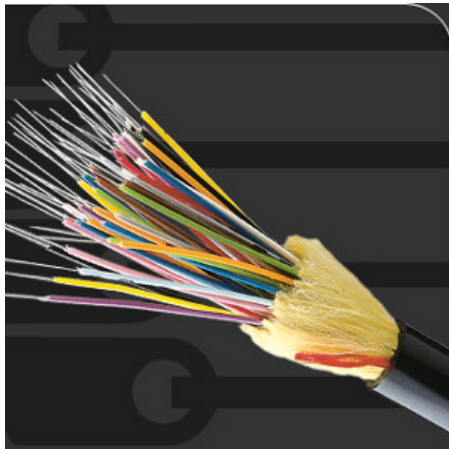
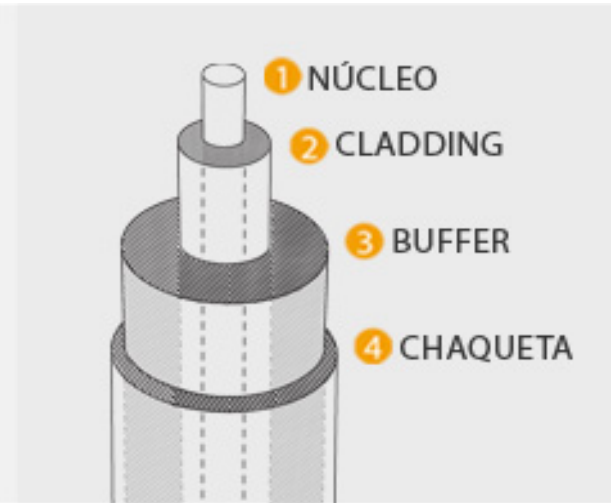
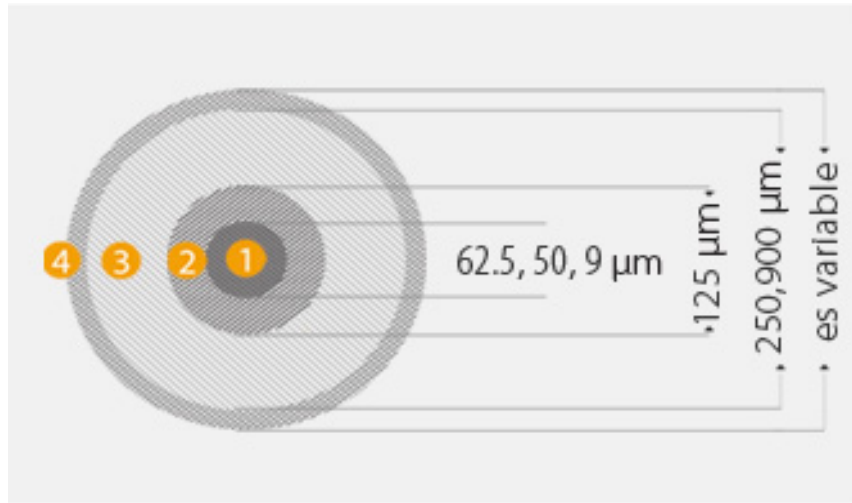
CAT5, CAT5e, and CAT6 UTP (Solid Cable) Specifications Comparison			
	Category 5	Category 5e	Category 6
Frequency	100 MHz	100 MHz	250 MHz
Return Loss (Min. at 100MHz)	16.0 dB	20.1 dB	20.1 dB
Characteristic Impedance	100 ohms ± 15%	100 ohms ± 15%	100 ohms ± 15%
Attenuation (Min. at 100 MHz)	22 dB	22 dB	19.8 dB
Next (Min. at 100MHz)	32.3 dB	35.3 dB	44.3 dB
PS-Next (Min. at 100MHz)	no specification	32.3 dB	42.3 dB
ELFEXT (Min. at 100 MHz)	no specification	23.8 dB	27.8 dB
PS-ELFEXT (Min. at 100 MHz)	no specification	20.8 dB	24.8 dB
Delay Skew (Max. per 100 m)	no specification	45 ns	45 ns

Cable de cobre. Par trenzado . Ejemplos

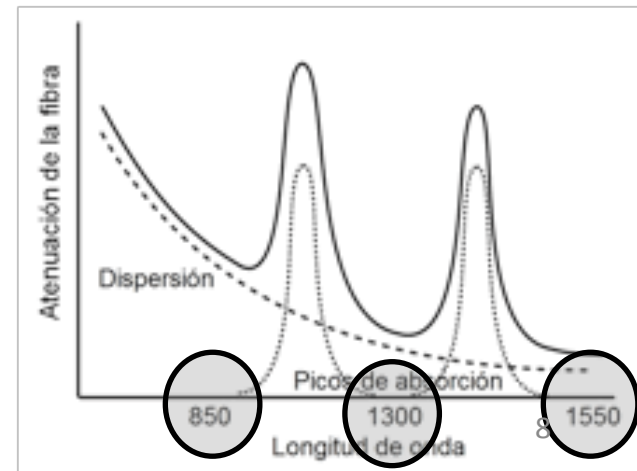
	100Base-Tx	1000BaseT
Cable UTP	Cat 5	Cat5e
Número de pares	2 (1 Tx, 1 Rx)	4 (4Tx, 4 Rx)
Modulación por Amplitud de Pulsos (PAM)	PAM-3 .-3 niveles por par de Tx .-3 combinaciones	PAM-5 .-5 niveles por par de Tx .-625 combinaciones (5x5x5x5)
Número de bits por símbolo	$\log_2(3) = 1.6 \text{ bits}$	$\log_2(625) = 9.3 \text{ bits}$
Tiempo de transmisión de símbolo	8ns cpu (125mhz)	8ns cpu (125mhz)
Codificación	4b/sb	
Tasa de bits	$1.6 / 8 \text{ ns} (4/s) = 160 \text{ Mbps}$	$9.3 / 8 \text{ ns} = 1.16 \text{ Gbps}$

Fibra óptica.

Detalles constructivos



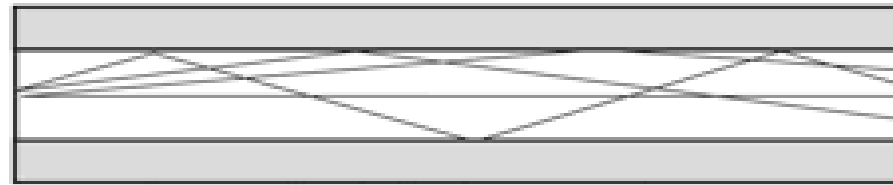
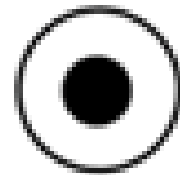
Ventanas de comunicaciones



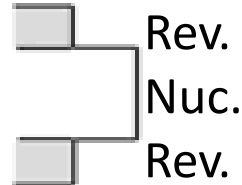
Fibra óptica. Tipos

- Multimodo (50-62.5/125 μm)

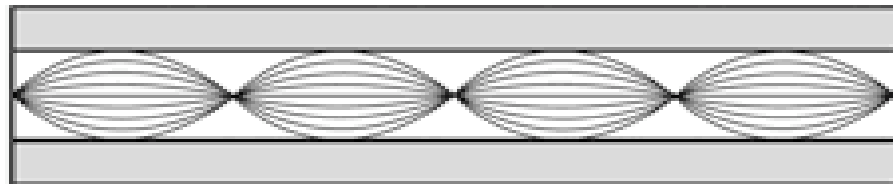
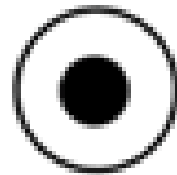
- Escalonado*



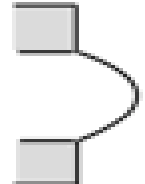
Multimodo de índice escalonado



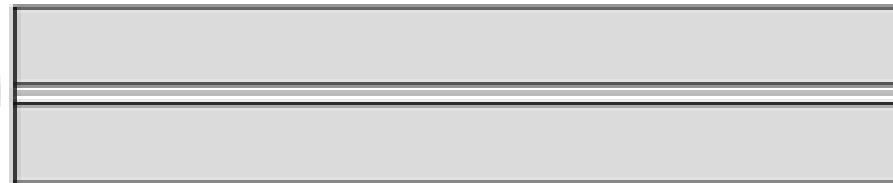
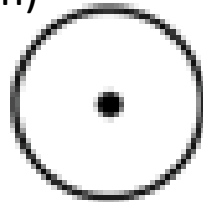
- Gradual



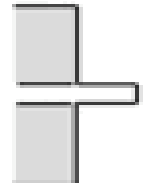
Multimodo, de índice gradual



- Monomodo (9/125 μm)



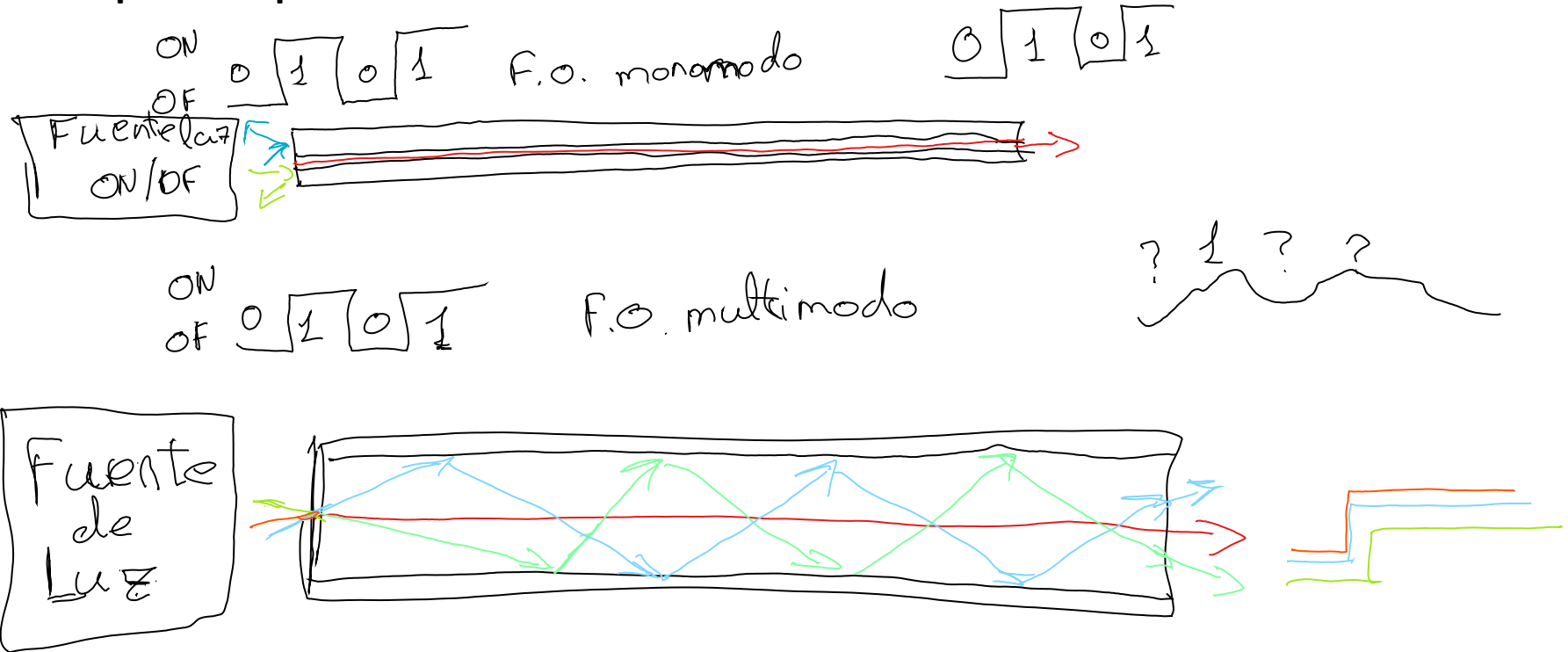
Monomodo



Perfil del índice

*El escalonado provoca pérdidas adicionales por refracción, dando lugar a peores prestaciones que el gradual

Fibra óptica. Dispersión modal en fibra multimodo



- Este fenómeno sólo ocurre en F.O. multimodo
- Afecta al pulso digital a la salida de la fibra
 - Lo ensancha, haciendo que los bits se solapen
 - Lo deforma, provocando errores de bits en recepción
- Causa limitación en la distancia y tasa de bit máximas del enlace
- Es un parámetro de calidad de la F.O. Se suele expresar en unidades de MhzKm. Cuanto más mejor
- Diseño: En un enlace, se puede intercambiar distancia (Km) por ancho de banda (MHz), siempre que su producto no sobrepase el parámetro dado por el fabricante

Fibra óptica. Características óptico-eléctricas

Núcleo/revestimiento (<i>cladding</i>)	Atenuación	Ancho de banda	Aplicaciones/Notas
Monomodo	@1310/1550 nm	@1310/1550 nm	
9/125 micrones (OS1, B1.1, o G.652)	0.4/0.25 dB/km	~100 Terahertz	Fibra estándar monomodo, telecomunicaciones /TV por cable, redes LAN de larga distancia y alta velocidad
9/125 micrones (OS2, B1.3, o G.652)	0.4/0.25 dB/km	~100 Terahertz	Fibra de "pico de agua reducido" (LWP)
9/125 micrones (B2, o G.653)	0.4/0.25 dB/km	~100 Terahertz	Fibra con dispersión desplazada (DSF)
9/125 micrones (B1.2, o G.654)	0.4/0.25 dB/km	~100 Terahertz	Fibra con corte desplazado (CSF)
9/125 micrones (B4, o G.654)	0.4/0.25 dB/km	~100 Terahertz	Fibra con dispersión desplazada no nula (NZ-DSF)
Multimodo de índice gradual	@850/1300 nm	@850/1300 nm	
50/125 micrones (OM2)	3/1 dB/km	500/500 MHz-km	Para láser para redes LAN GbE
50/125 micrones (OM3)	3/1 dB/km	2000/500 MHz-km	Optimizada para VCSEL de 850 nm
50/125 micrones (OM4)	3/1 dB/km	4700/500 MHz-km	Optimizada para VCSEL de 850 nm >10Gb/s
62.5/125 micrones (OM1)	3/1 dB/km	160-200/500 MHz-km	Fibra para red LAN (FDDI)
De índice escalonado	@850 nm	@850 nm	
200/240 micrones	4-6 dB/km	50 MHz-km	Núcleo de vidrio con revestimiento (<i>cladding</i>) de plástico

Fibra óptica. Ejemplos

Table 11-5. Optical specifications for 10GBASE-S

Fiber type	Minimum modal bandwidth at 850 nm (MHz-km)	Channel insertion loss (dB)	Operating range (m)
62.5 μ m MMF	160	1.6	2 to 26
62.5 μ m MMF (OM1)	200	1.6	2 to 33
50 μ m MMF	400	1.7	2 to 66
50 μ m MMF (OM2)	500	1.8	2 to 82
50 μ m MMF (OM3)	2,000	2.6	2 to 300
50 μ m MMF (OM4)	4,700	2.9	2 to 400

Table 11-6. Optical specifications for 10GBASE-LX4

Optical type	Modal bandwidth (MHz-km)	Channel insertion loss (dB)	Operating distance
62.5 μ m MMF	500	2.0	300 m
50 μ m MMF	400	1.9	240 m
50 μ m MMF	500	2.0	300 m
10 μ m SMF	n/a	6.2	10 km

ESPECIFICACIONES

Fibra óptica

G.652D | G.657A1 | G.657A2 OM1, OM2, OM3

Total de fibras

6 - 12

Tipo de la fibra

Multimodo

Monomodo

62.5/125

50/125

50/125 OM3

9/125

Diámetro del cable

5.2 mm ±0.3 (6 fibers)

6.5 mm ±0.3 (12 fibers)

Protección

LSZH

Fibras de vidrio

Código de colores del buffer ajustado

1. Azul

7. Rojo

2. Naranja

8. Negro

3. Verde

9. Amarillo

4. Marrón

10. Morado

5. Gris

11. Rosa

6. Blanco

12. Aqua

Total Fibras

Peso (kg/km)

Ø del bufer (mm)

Longitud Máx. (m)

Tensión Soportada (N)

Rango de Temperatura (°C)

6

40

0.85 ± 0.05

4000

1200

-60°C +85°C

12

40

0.85 ± 0.05

4000

1500

-60°C +85°C

Fibra óptica. Ejemplos

Tipo de fibra	Buffer (µm)	Coeficiente de atenuación (db/km)				Ancho de banda (MhzKm)	
		850nm	1300nm	1310nm	1550nm	850nm	1300nm
62.5/125	250	≤ 2.7	≤ 0.6	-	-	200	600
50/125	250	≤ 2.3	≤ 0.6	-	-	500	500
9/125	250	-	-	≤0.34	≤0.20	-	-
Cable		6				12	
Fibras		6 or 12, 250µm multimodo o monomodo com fibras ajustadas en 900µm, individualmente indentificadas por color [OD 0.9 ±0.05mm].					
Hilos de fibra de vidrio		vidrio resistente al agua tipo 4X1200tex o equivalente, aplicado longitudinalmente y en forma helicoidal.				vidrio resistente al agua tipo 5X1200tex o equivalente, aplicado longitudinalmente y en forma helicoidal.	
Jacket		Ø externo nominal de 5.2mm y Ø interno 3.2mm (±0.3mm), con cubierta LSZH impresa en color negro.				Ø externo nominal de 6.5mm y Ø interno 4.5mm (±0.3mm), con cubierta LSZH impresa en color negro.	

Límites a la velocidad de los datos

La velocidad de los datos (bps) depende de tres factores

- BW disponible (Hz)
- Niveles de las señales que se usan (tipo de modulación/codificación)
- Calidad del canal de transmisión (SNR)

- **Fórmula de Nyquist:** En el caso de un canal de transmisión sin ruido, donde L es El número de niveles usados para codificar cada símbolo

$$\text{Tasa de bits (bps)} = 2 * \text{BW(Hz)} * \log_2(L)$$

- **Capacidad de canal de Shannon:** En el caso de un canal con ruido, entonces la capacidad máxima del canal para transmitir información es

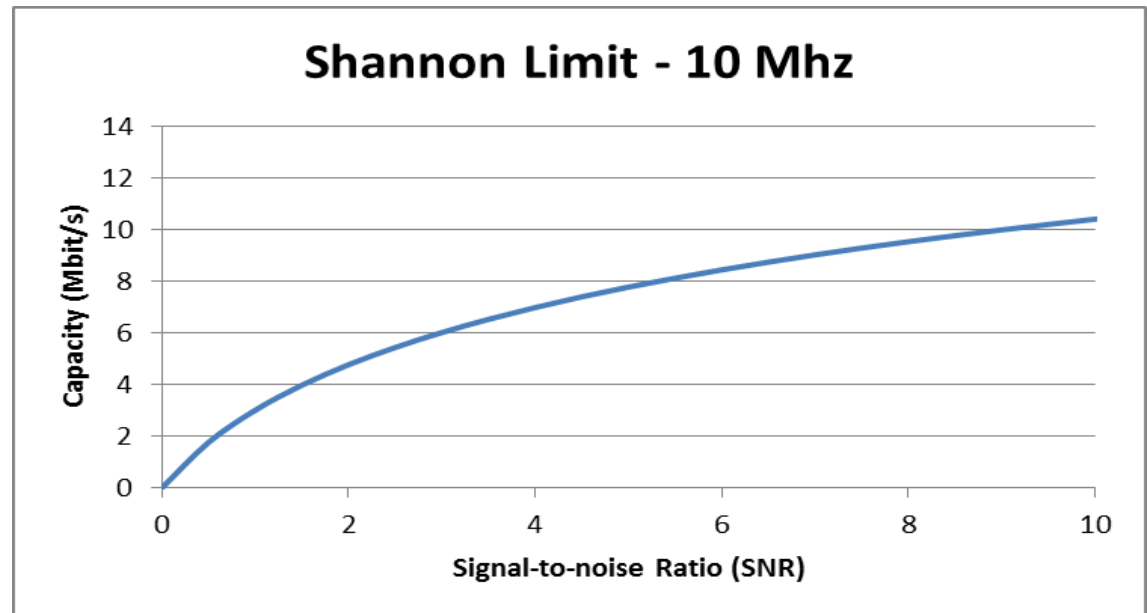
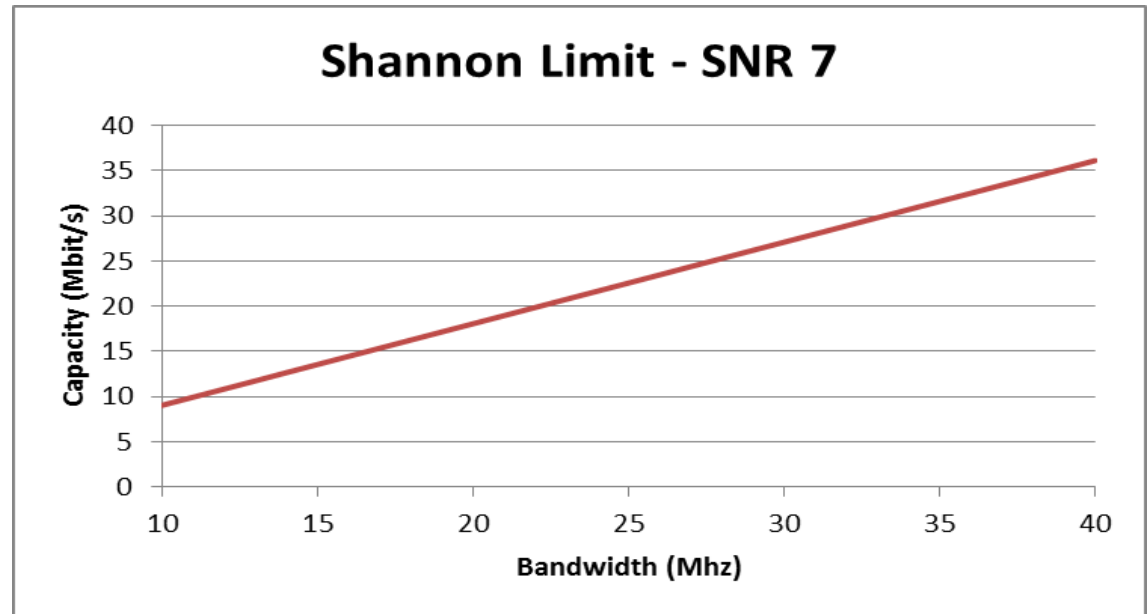
$$C(\text{bps}) = \text{BW(Hz)} * \log_2(1 + \text{SNR(u.n.)})$$

↑
Importante

La capacidad de canal de Shannon nos da el límite superior al que podemos aspirar, la fórmula de Nyquist nos dice el número de niveles necesarios para alcanzarla

Límites de la velocidad de los datos

Ejemplo: Las gráficas muestran la capacidad máxima teórica de transmisión según Shannon para un canal de SNR=7 y para otro de BW=10Mhz. El cómo se alcanza el máximo teórico dependerá de aspectos como la modulación usada.



Ejercicios

- Dado un canal sin ruido con un BW de 3KHz que transmite una señal con dos niveles. ¿Cuál es la velocidad máxima que puede alcanzar?

$$\text{Aplicando Nyquist} = T(\text{bps}) = 2 \cdot 3000\text{Hz} \cdot \log_2(2) = 6000 \text{ bps}$$

- Se necesitar enviar 1Gbps por un canal con ruido (SNR=15) y con un BW de 250 MHz. ¿Es esto posible? ¿Cuántos niveles de señal son necesarios?

Comprobamos si es posible mediante Capacidad de Shannon

$$C(\text{bps}) = 250 \cdot 10^6 \text{Hz} \cdot \log_2(1+15) = 10 \text{ bps} = 10 \text{ Gbps}$$

Si es posible

$$\text{Aplicando Nyquist} : 1000 \text{ Mbps} = 2 \cdot 250 \text{ MHz} \cdot \log_2(L)$$

$$L = 2^{1000 / (2 \cdot 250)} = 2^2 = 4$$

Hacen falta 4 niveles

L puede adoptar valores tipo 256 y tal

- Una F.O. multimodo tiene una dispersión modal de 2000MHzKm. Se quiere usarla para unir la ETSIIT con el CITIC-UGR, que está a unos 100m usando una fuente de luz en la primera ventana (850 nm). ¿Cuál sería el máximo ancho de banda (MHz) que puede transmitir? ¿En ausencia de ruido, cuántos niveles habría que usar para alcanzar 40Gbps? ¿Qué estándares habría que utilizar?

Por la dispersión modal, la fibra permite 2 GHz en un enlace de 1Km o 4 GHz en un enlace de 500m o 20 GHz en un enlace de 100m, que es el caso

En ausencia de ruido, aplicaremos Nyquist:

$$40 \text{ Gbps} = 2 \cdot 20 \text{ GHz} \cdot \log_2(L)$$

$$L = 2^{(40/2 \cdot 20)} = 2^4 = 2$$

Hacen falta 2 niveles.

Una fibra de este tipo sería OM3, de 50mm de núcleo y ventana de transmisión de 850nm. Un estándar Ethernet apto para este enlace sería 40GBps SR IEEE 803.3ba

- De cara a recibir la máxima potencia posible de señal, a partir de qué distancia compensaría usar F.O., monomodo si las pérdidas de inserción son 6.2 y 2.9 dB y la atenuación son 0.2 y 1.2 dB/Km respectivamente para monomodo y multimodo?

Igualemos las pérdidas en dB, siendo d la distancia en kms y teniendo en cuenta que las pérdidas de inserción se producen en los dos conectores (Tx y Rx). Se asume no hay empalmes en el enlace.

$$(\text{Monomodo}) \quad 6.2 + 0.2d + 6.2 = 2.9 + 1.2d + 2.9 (\text{multimodo})$$

$$d = 6.6 \text{ km}$$

Bibliografía

- Transmisión de datos y redes de comunicaciones, 4º Edición. Behrouz A. Forouzan. Mc Graw Hill, 2007, ISBN 978-07-296775-3