

Cursos de Nuevas Tecnologías

# FIBRA ÓPTICA



# Características del curso

- 15 Clases Teóricas - Viernes 17 Hs
- Clases Prácticas

## Instructores:

- Ing. Jose Adolfo Pedemonte
- Sr. Sergio Pasquinelli

## Contactos:

Enzo Barbero – Secretario de Tecnología 3417249012

Mara Mosto – Secretaria de Capacitación 3416958955

The background is a dark blue gradient with several bright blue, glowing lines that appear to be light trails or fiber optic paths. These lines are scattered across the frame, some horizontal and some diagonal. Small, bright white or light blue circular dots are also scattered throughout, resembling nodes or data points in a network.

# Historia de la Fibra Óptica

# Introducción – Historia de la FO

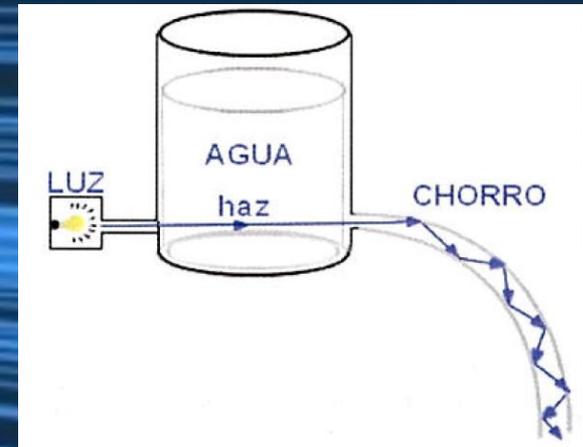
1626: Snell pronuncia las leyes de Reflexión y Refracción de la luz.

1668: Isaac Newton describe la luz como un comportamiento similar a las ondas mecánicas del sonido.

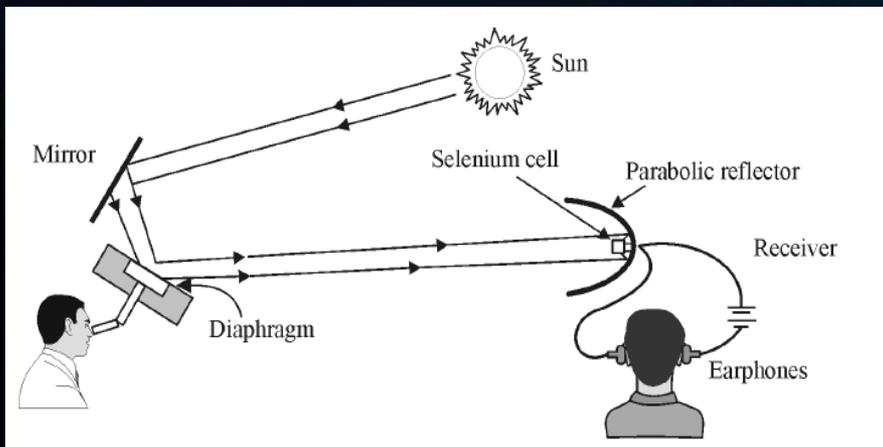
1810: Fressnel establece las bases matemáticas sobre propagación de ondas.

1873: James Clerck Maxwell demostró que la luz puede estudiarse como una onda electromagnética.

1910 :Hendros y Debye en Alemania experimentan con varillas de vidrio como guías de onda dieléctricas.



*Experimento de Tyndall - 1870*



*Fotófono de Graham Bell*

1910 :Hendros y Debye en Alemania experimentan con varillas de vidrio como guías de onda dieléctricas.

1910 :Hendros y Debye en Alemania experimentan con varillas de vidrio como guías de onda dieléctricas.

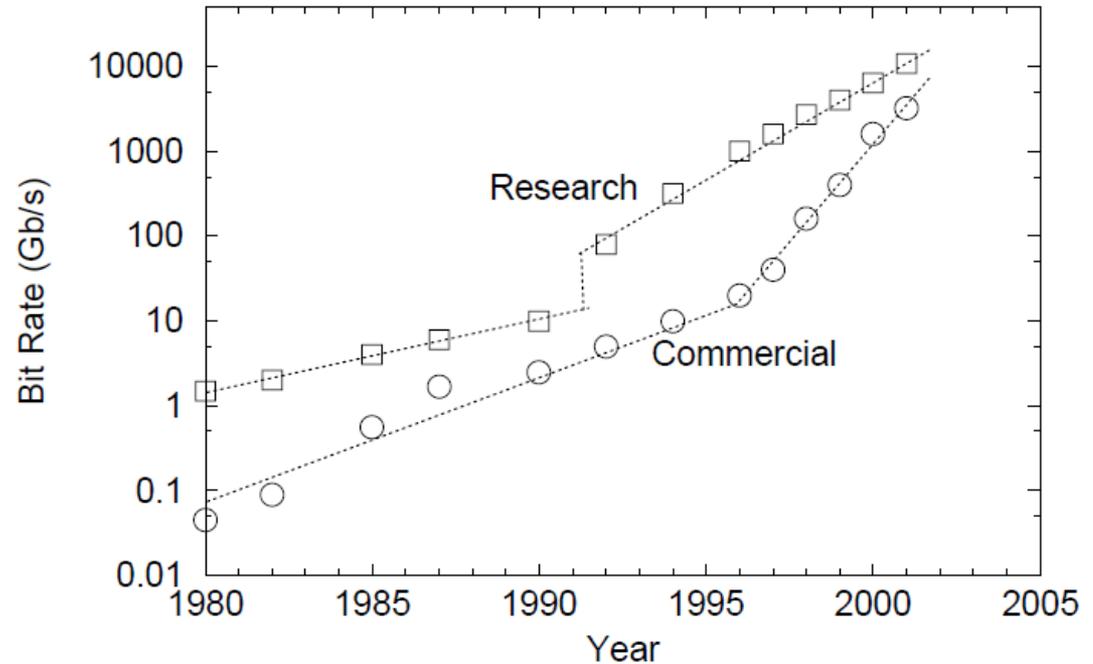
1953 : Bram van Heel realiza la primera transmisión de una imagen por un grupo de fibras ópticas con recubrimiento transparente.

# Introducción – Historia de la FO

1956: Narinder Singh Kapany acuña el termino “fibra óptica” por primera vez

1965: Se desarrolla el primer sistema de transmisión de datos por red optica.

1970: Corning Glass Works logra crear fibras ópticas con una atenuación de 20dB/km a una longitud de onda de 633nm.



1978: Se logra una fibra óptica monomodo y en 1979 se consigue para esta una atenuación de 0.20 dB/km a 1550 nm.

# Introducción – Historia de la FO

---

1978: Se logra una fibra óptica monomodo y en 1979 se consigue para esta una atenuación de 0.20 dB/km a 1550 nm.

1970: Corning Glass Works logra crear fibras ópticas con una atenuación de 20dB/km a una longitud de onda de 633nm.

1983: Se logra aumentar la velocidad de manufactura de la fibra de 2 a 50 Mts/s, llevando a que el costo de producción de la FO sea menor al del cable de cobre tradicional.

1986: Laboratorio Bell desarrolla el EDFA (amplificador dopado con Erblio)

1991: Se desarrolla la primera FO de Cristal-Fotonico

2006 – [Nippon Telegraph and Telephone](#) transfiere 14 terabits por second (Tbit/s) sobre un vínculo de 160 km  
2.2 (Pbit/s)·km

2009 – [Bell Labs](#) transfiere 15.5 Tbit/s over 7000 km fiber: 108 (Pbit/s)·km

2010 – Nippon Telegraph and Telephone transfiere 69.1 Tbit/s sobre un unico vínculo de 240 km: 16.5 (Pbit/s)·km

2012 – Nippon Telegraph and Telephone transfiere 1 Pbit/s over a single 50 km fiber: 50 (Pbit/s)·km

The background features a dark blue gradient with numerous thin, parallel blue lines that create a sense of depth and movement, resembling light rays or a starry sky. Several bright white circular spots are scattered across the scene, some appearing as larger, more prominent stars or planets, while others are smaller and more distant.

# Naturaleza de la Luz

# Introducción – Naturaleza de la luz

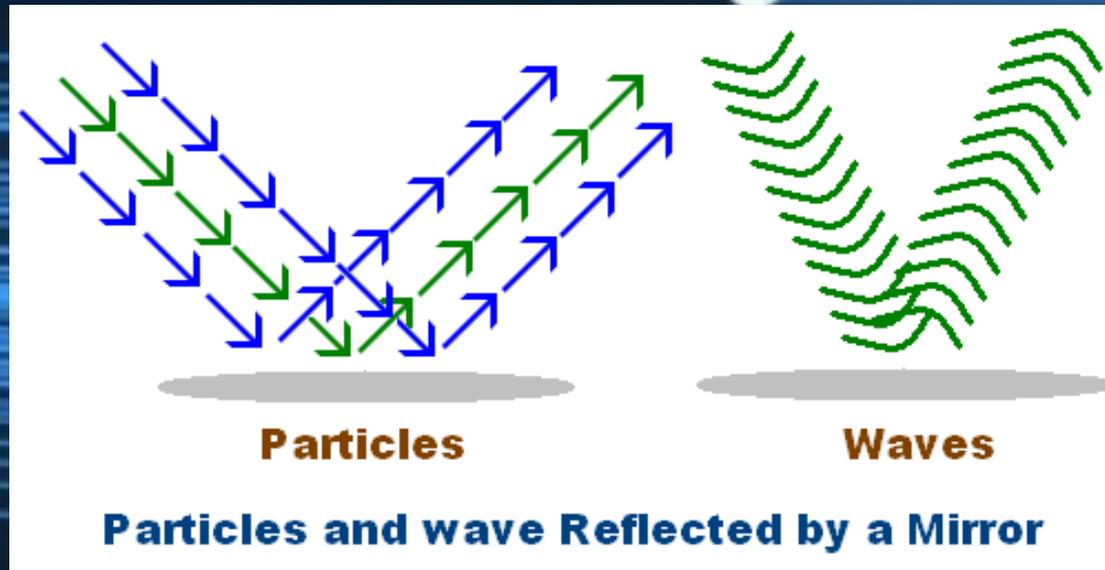
*La luz es una onda electromagnética , que según el momento en la que se la observa, puede comportarse como una onda o como una partícula.*

## Dualidad onda-partícula

Hoy tengo  
buena onda



# Introducción – Naturaleza de la luz



Los dos modelos de explicar la forma que se propaga la luz son necesarios, dado que cada uno por separado no puedo terminar de explicar todos los fenómenos físicos que la involucran.

**3re Modelo → Modelo Cuántico de radiación electromagnética.**

The background features a dark blue gradient with numerous thin, horizontal, wavy lines in a lighter blue shade. Scattered across the scene are several bright white circular dots of varying sizes, some of which appear to be part of the wavy lines, creating a sense of depth and light rays.

# Física de la Luz

# Introducción – Óptica geométrica

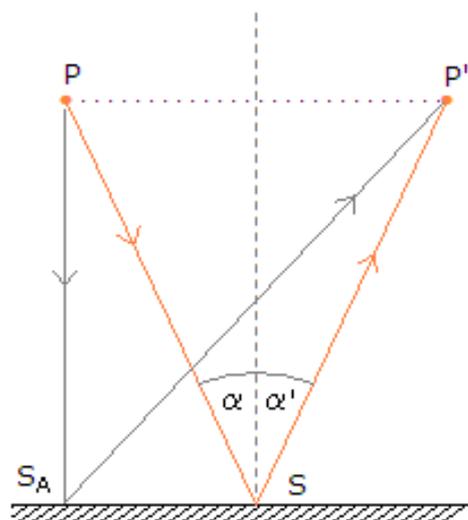
## Óptica Geométrica



Describe la propagación de la luz en terminos de rayos

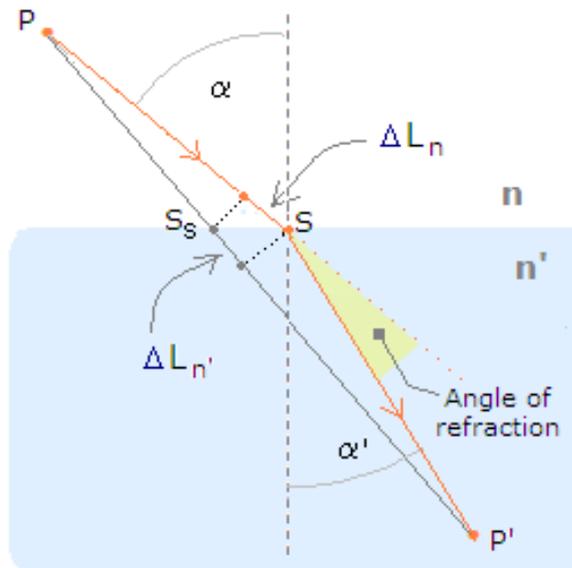
### FERMAT'S PRINCIPLE: ILLUSTRATION

— RAY PATH IN REFLECTION  
— POSSIBLE ALTERNATIVE PATH



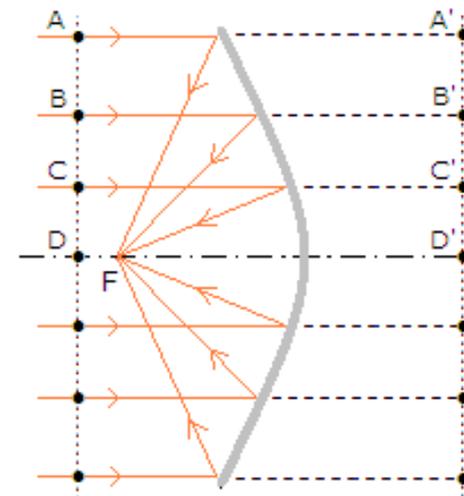
(A)

— RAY PATH IN REFRACTION  
— SHORTEST GEOMETRICAL PATH



(B)

— RAY PATHS IN REFLECTION FROM PARABOLA



(C)

## La Luz cumple con:

propagarse en trayectorias rectas mientras viajan en un medio homogéneo

doblarse, y en circunstancias particulares, puede dividirse en dos, en la interfaz entre dos medios disímiles

seguir caminos curvos en un medio en el que cambia el índice de refracción

puede ser absorbido o reflejado

*La óptica clásica es una excelente aproximación cuando la longitud de onda es pequeña en comparación con el tamaño de las estructuras con las que interactúa la luz.*

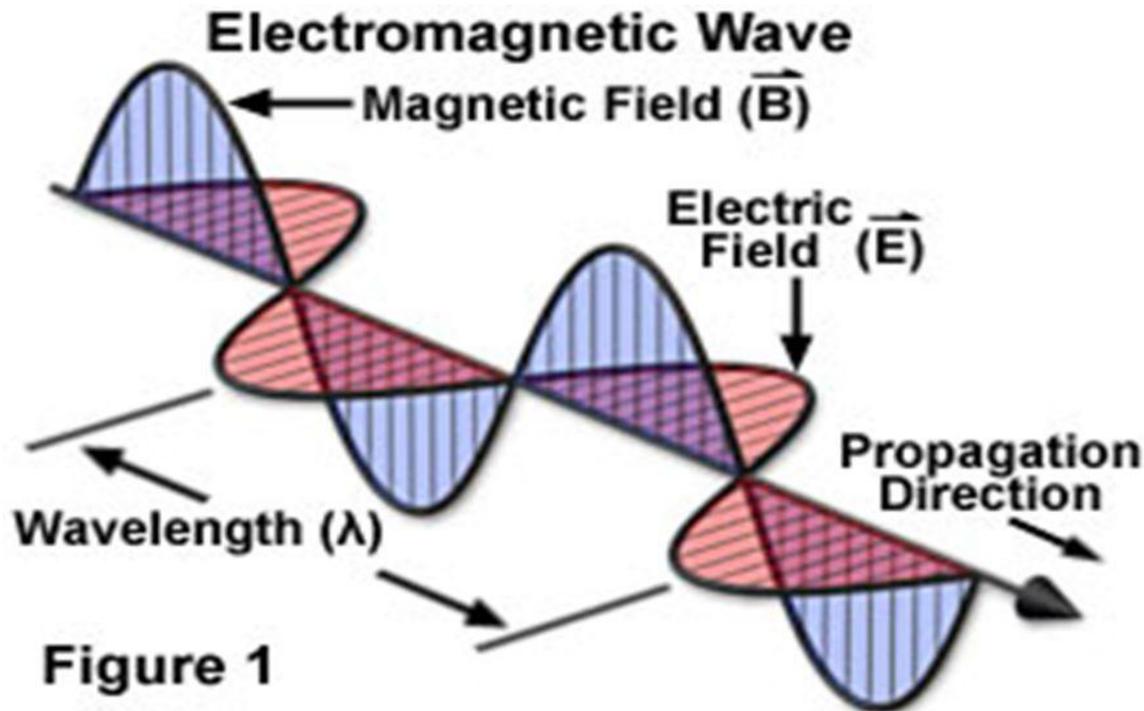
# Introducción – Ondas y sus parámetros

Onda Electromagnética

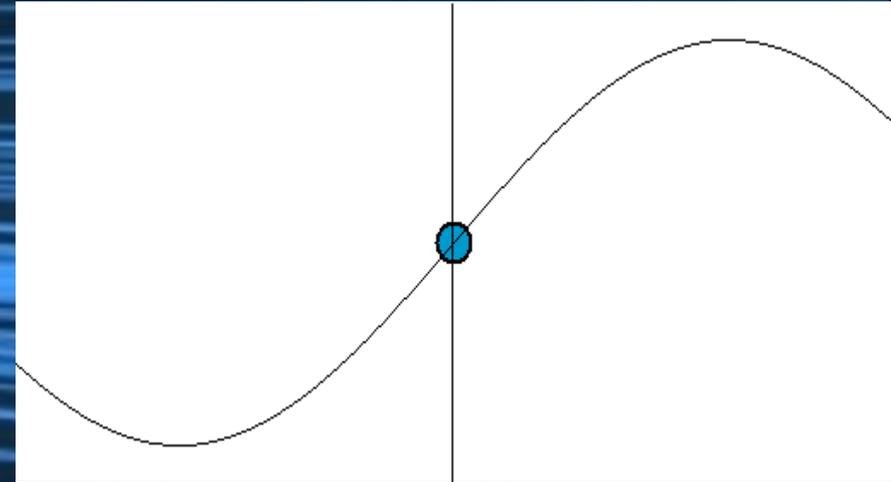
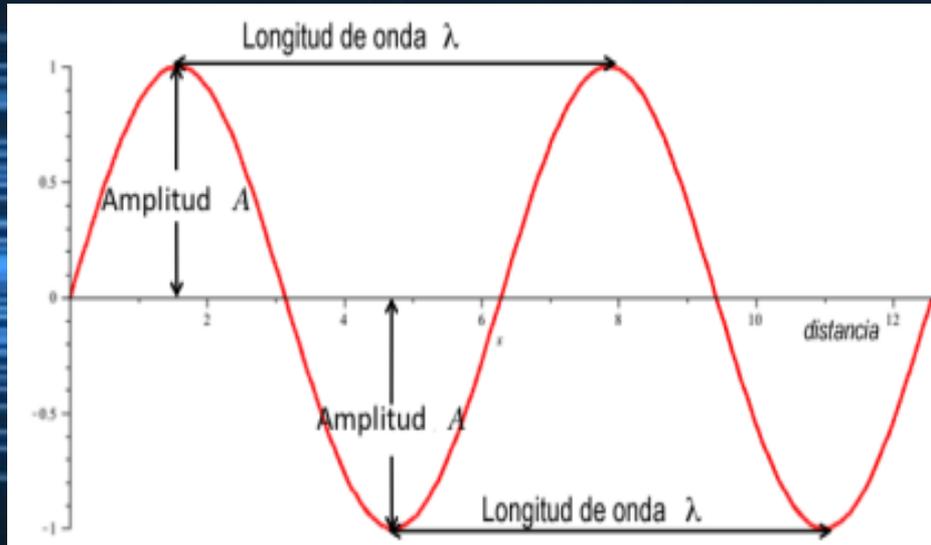
Campo eléctrico oscilante

+

Campo magnético oscilante



# Introducción – Ondas y sus parámetros

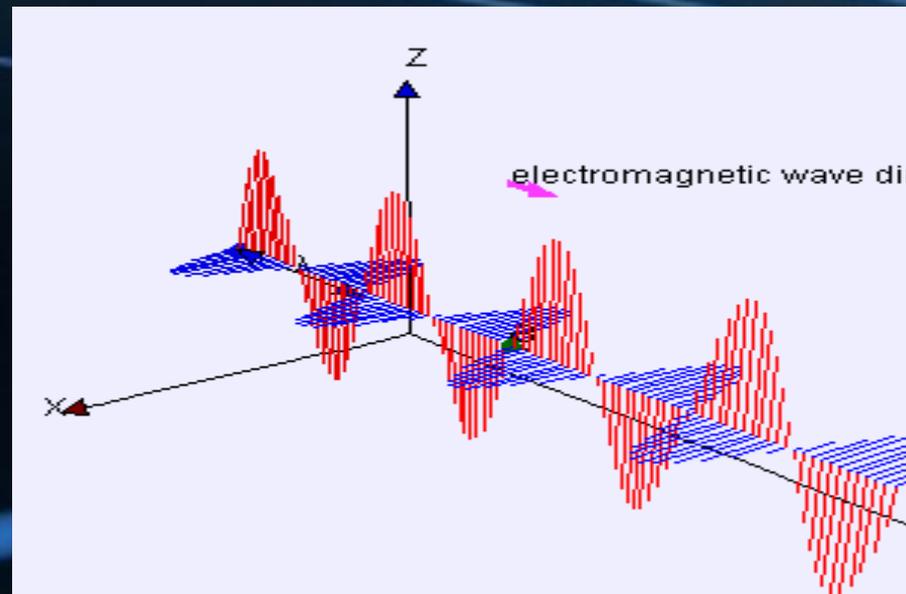


Periodo ( $T$ ) = tiempo entre repetición de la onda .

Unidad = [s]

Frecuencia ( $f$ ) =  $1/T$ .

Unidad = [Hz]



# Introducción – Ondas y sus parámetros

Teoría  
electromagnética



Describe la propagación  
de la luz en términos de  
ondas

Maxwell's Equations

Differential form

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Maxwell's Equations

Integral form

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{a} = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0}$$

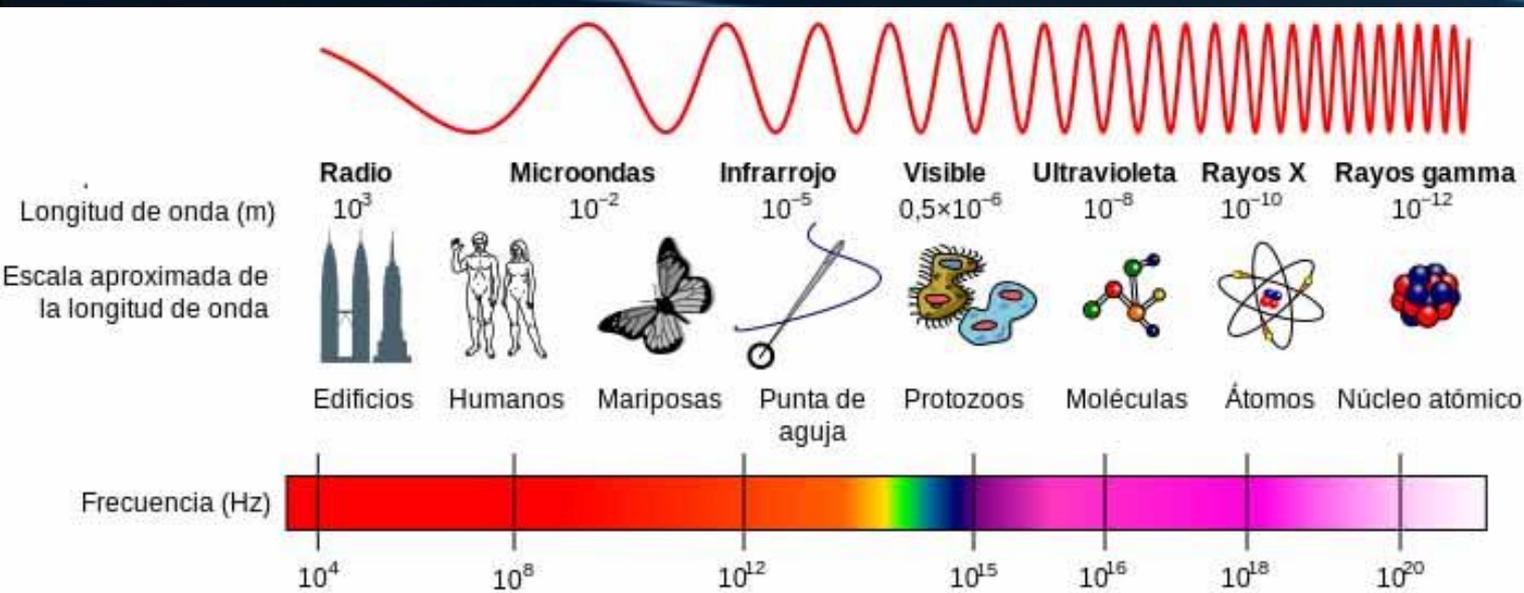
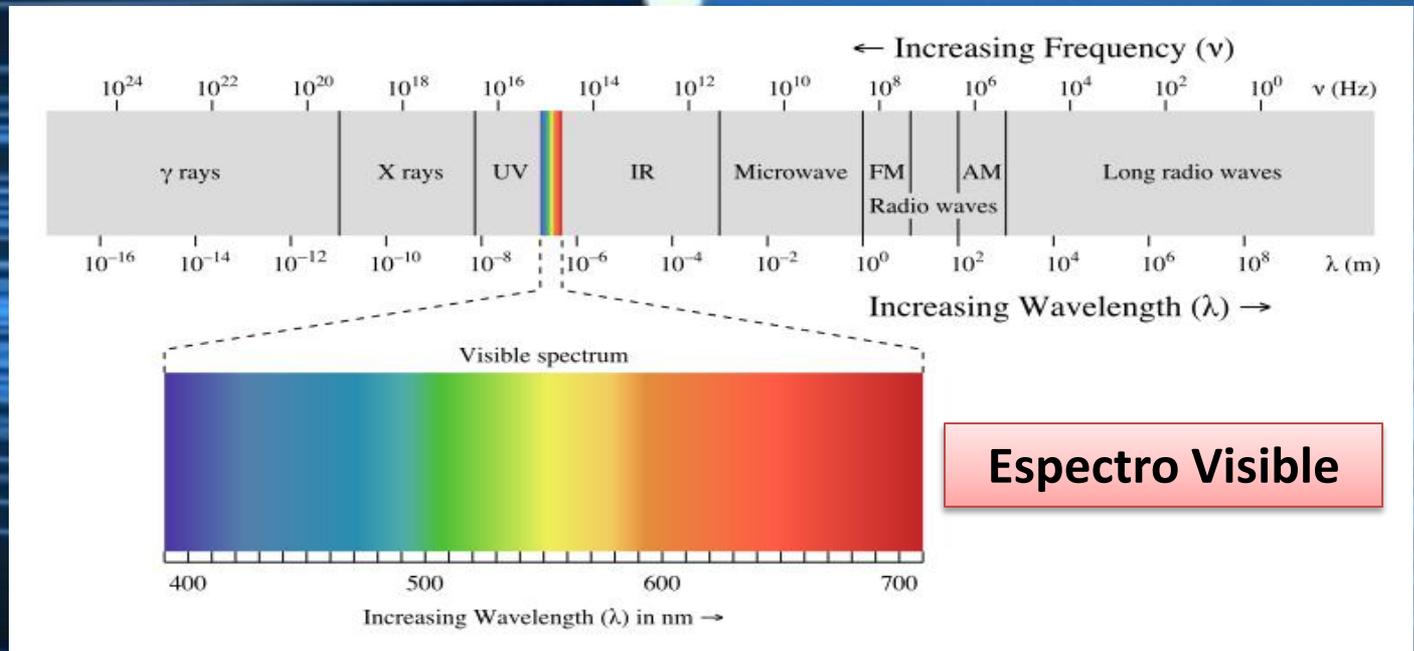
$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\int \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{a}$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{a} = 0$$

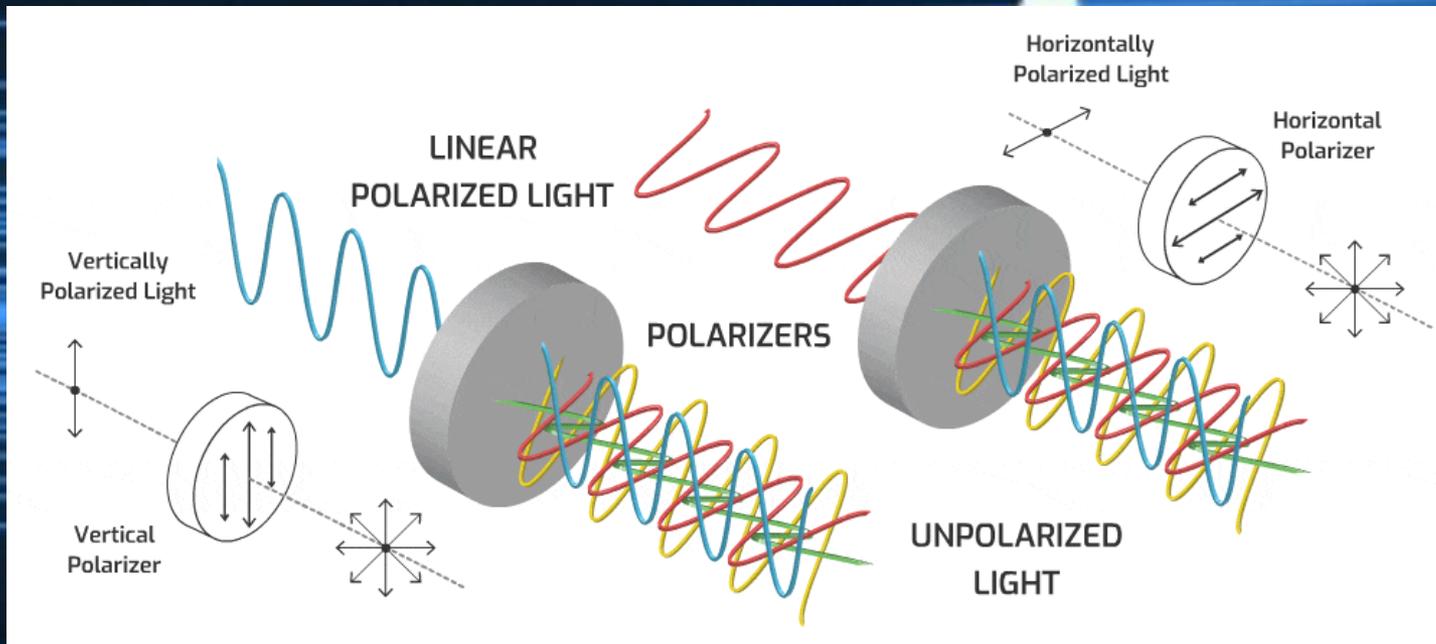
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{enc} + \mu_0 \epsilon_0 \int \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \cdot d\vec{a}$$

# Introducción – Naturaleza de la luz

## Espectro Electromagnético

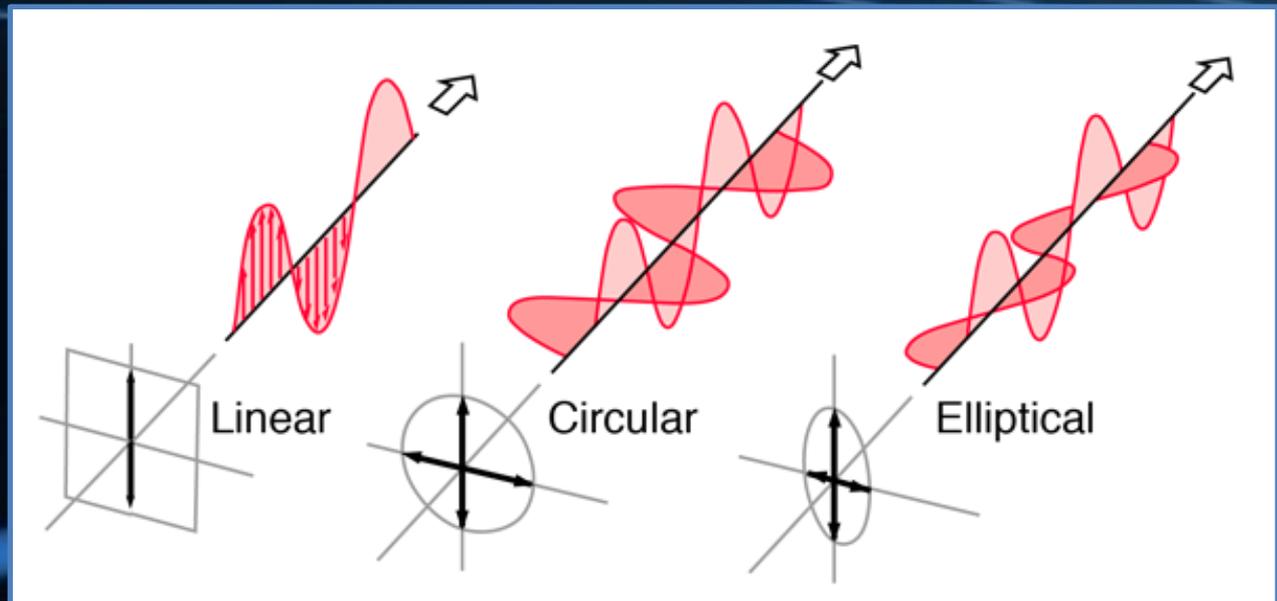


# Introducción – Naturaleza de la luz

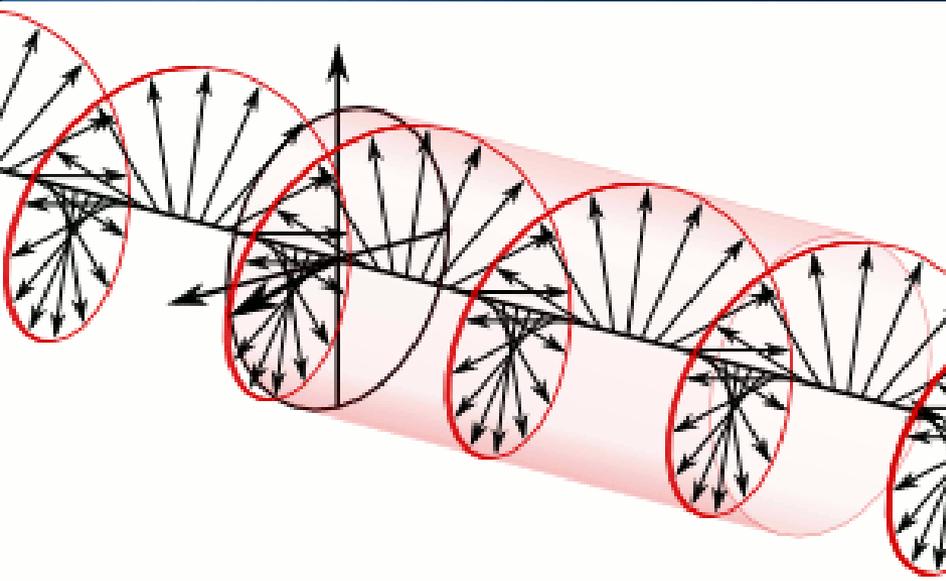


**Polarización de los haces de luz**

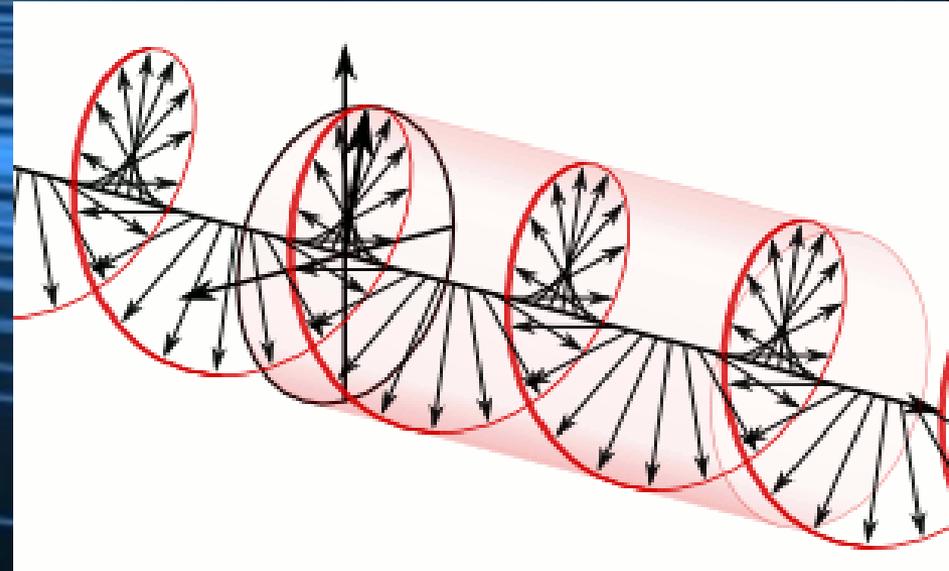
**Tipos de polarizaciones**



# Introducción – Naturaleza de la luz



**Polarización circular derecha  
(u horaria)**

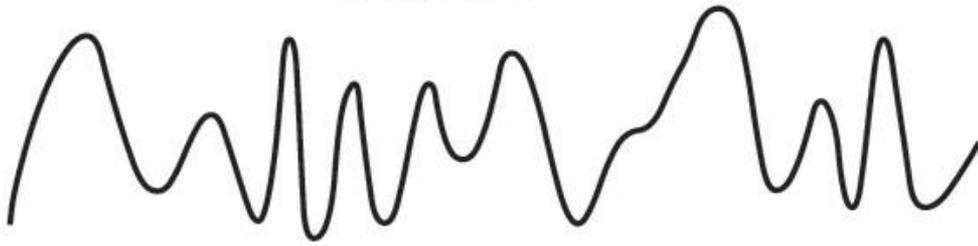


**Polarización circular izquierda  
(o anti-horaria)**

# Procesamiento de Señales

# Señales Analógicas Vs Digitales

analog signal

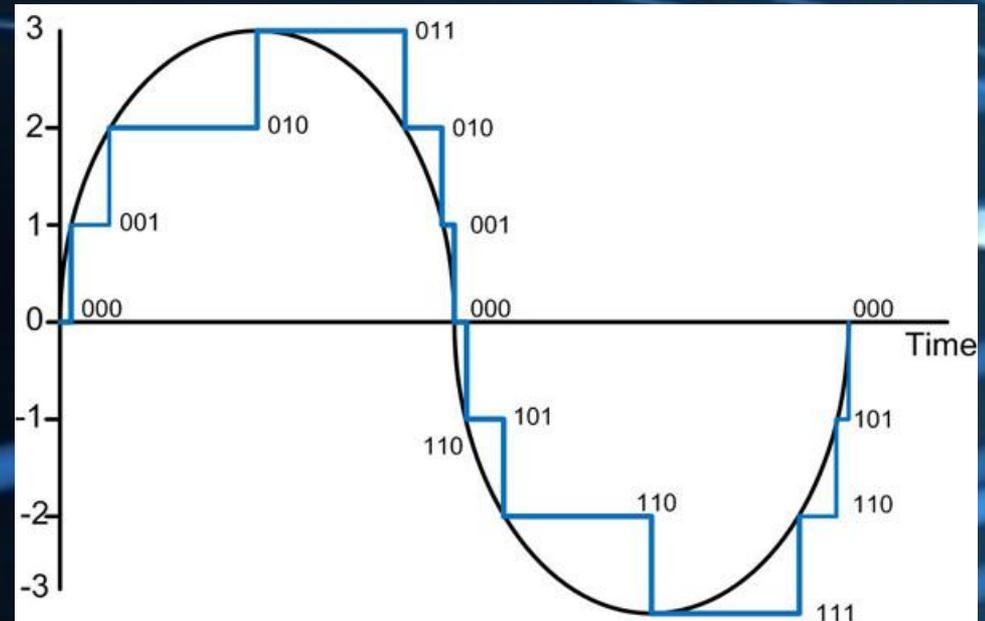


digital signal

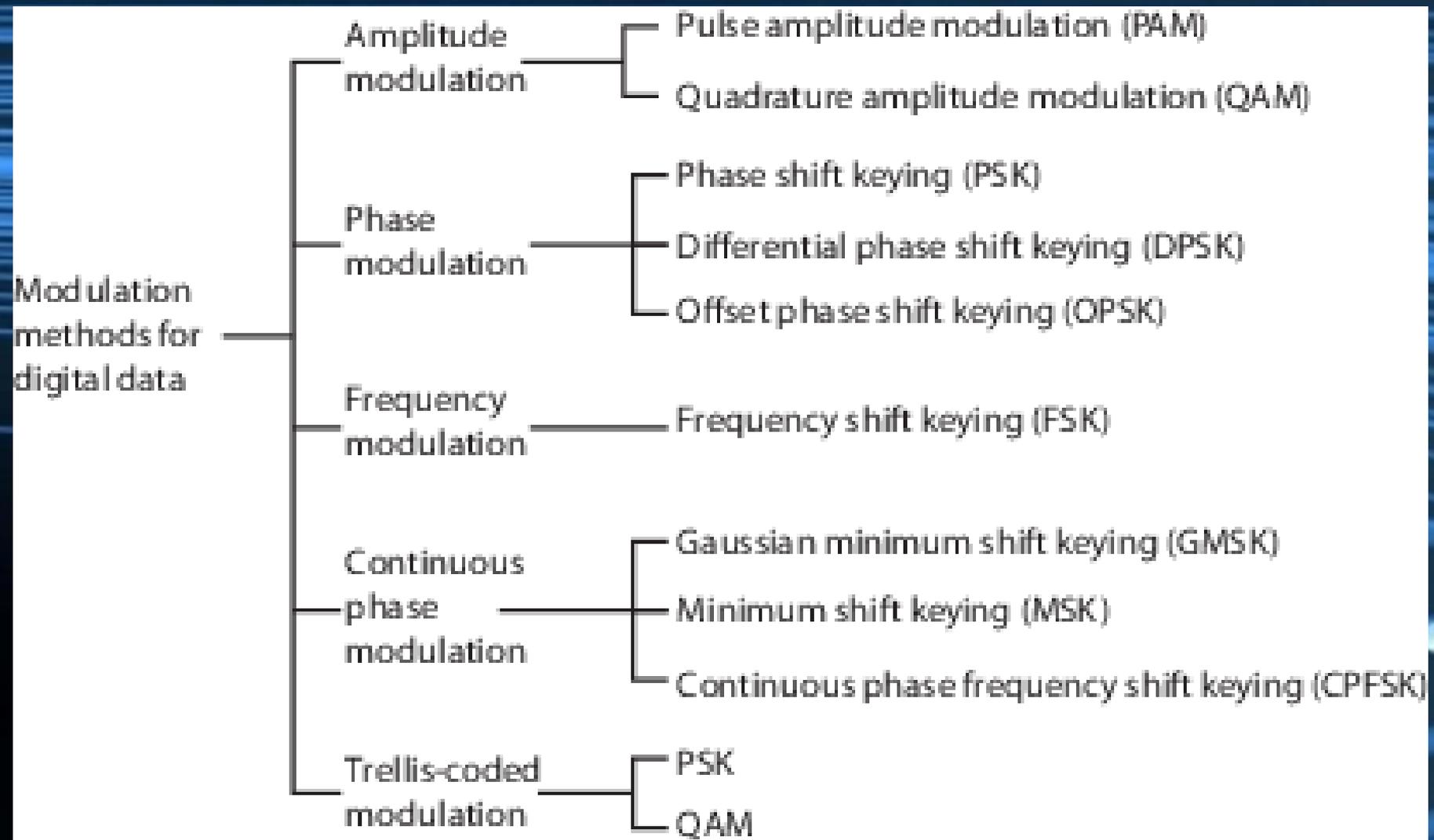


**Señal Analógica:**  
Puede tomar cualquier valor dentro de los límites de una señal.

**Señal Digital:** Puede tomar valores discretos dentro de los límites de una señal.

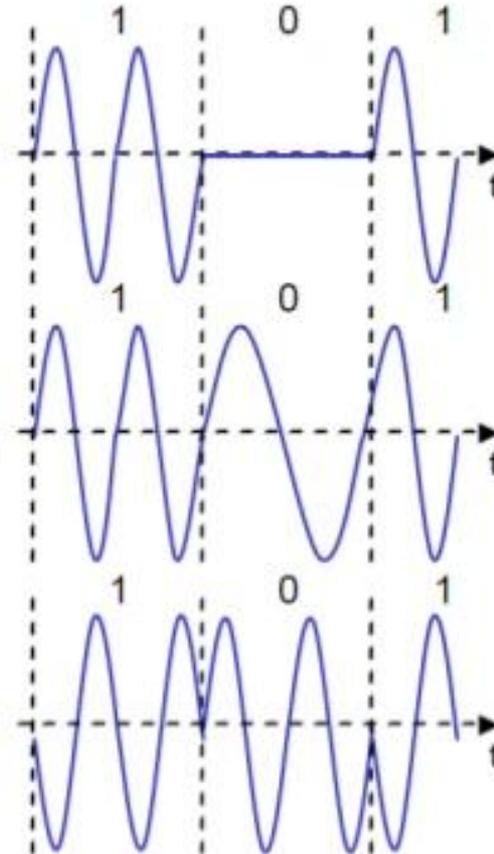


# Técnicas de Modulación



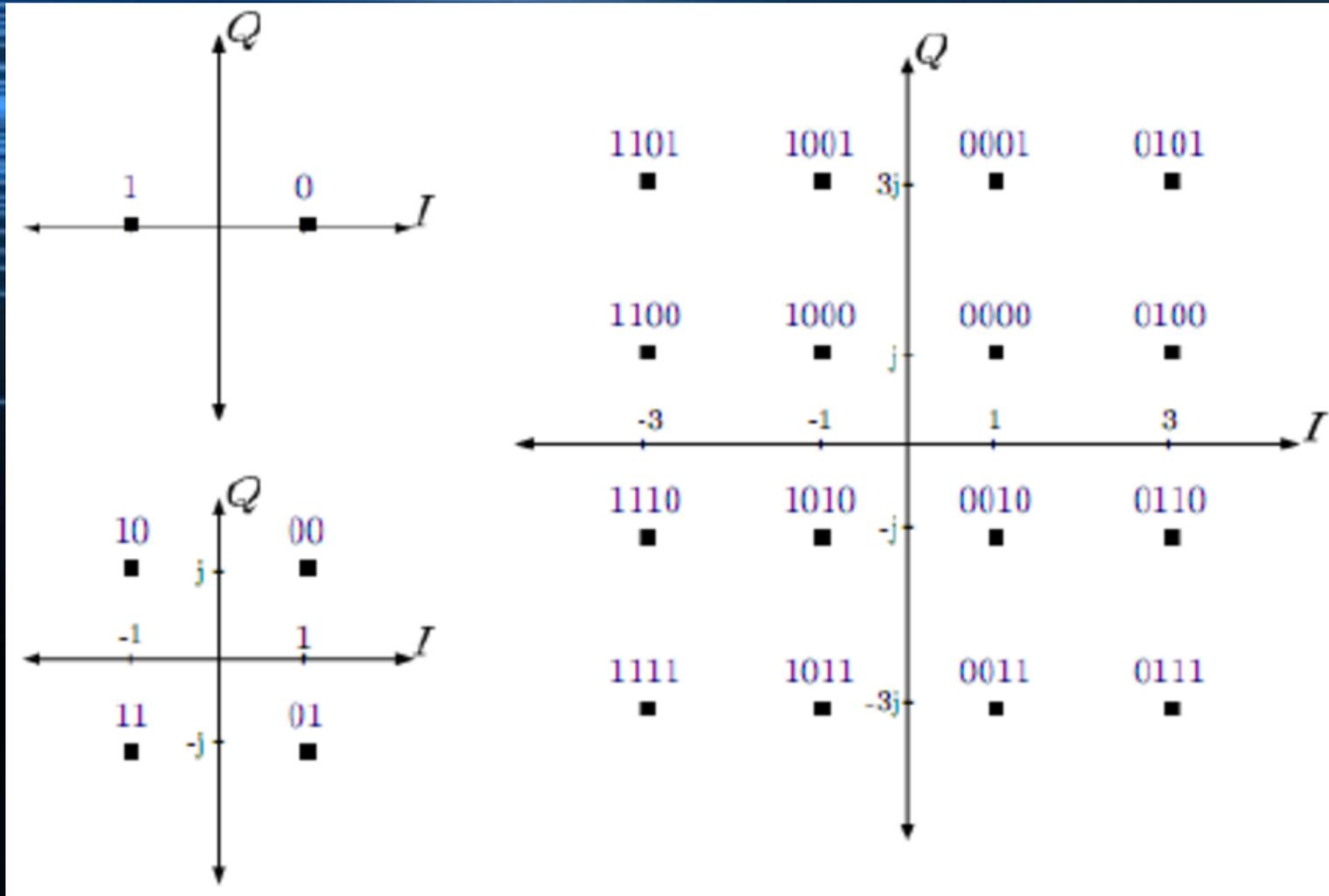
## Digital modulation techniques

- **Amplitude Shift Keying (ASK):**
  - change amplitude with each symbol
  - frequency constant
  - low bandwidth requirements
  - very susceptible to interference
- **Frequency Shift Keying (FSK):**
  - change frequency with each symbol
  - needs larger bandwidth
- **Phase Shift Keying (PSK):**
  - Change phase with each symbol
  - More complex
  - robust against interference

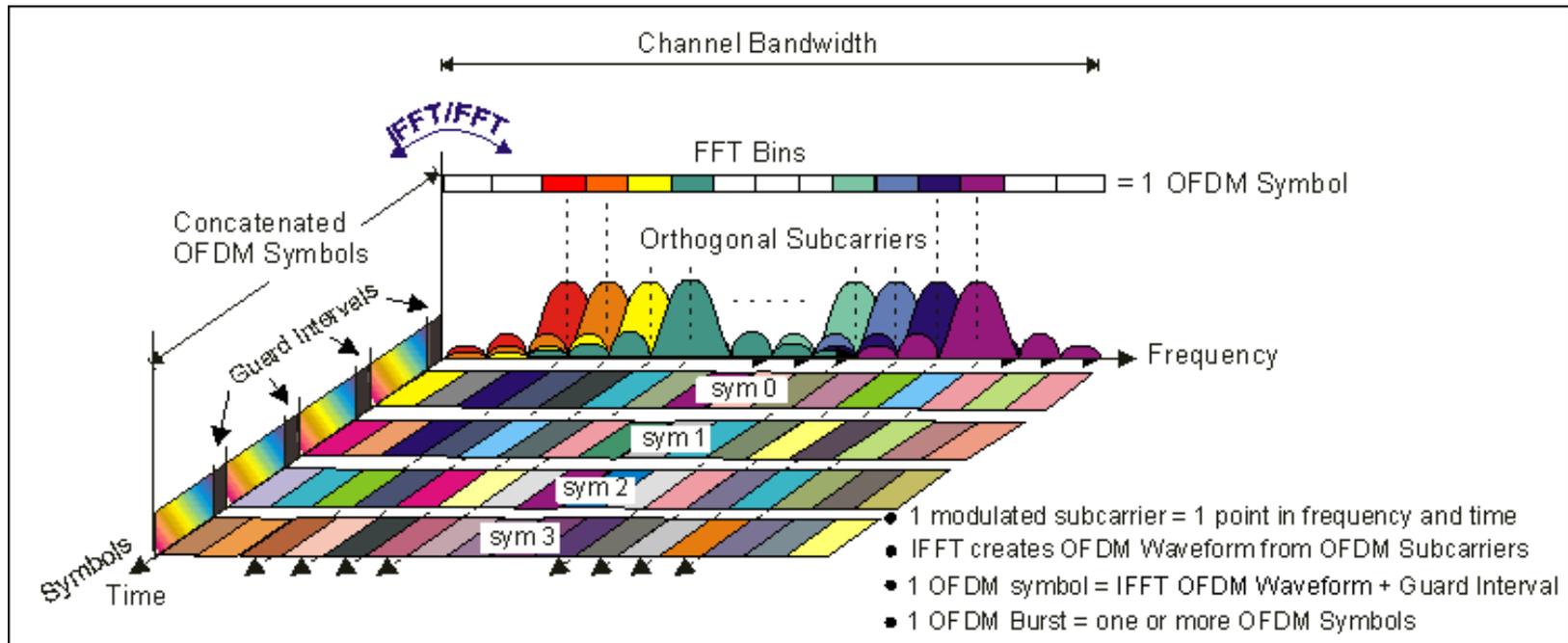


# Técnicas de Modulación

## Modulaciones avanzadas → n-QAM



## Modulaciones avanzadas → OFDM



Frequency-Time Representative of an OFDM signal

# Multiplexación y Demultiplexación

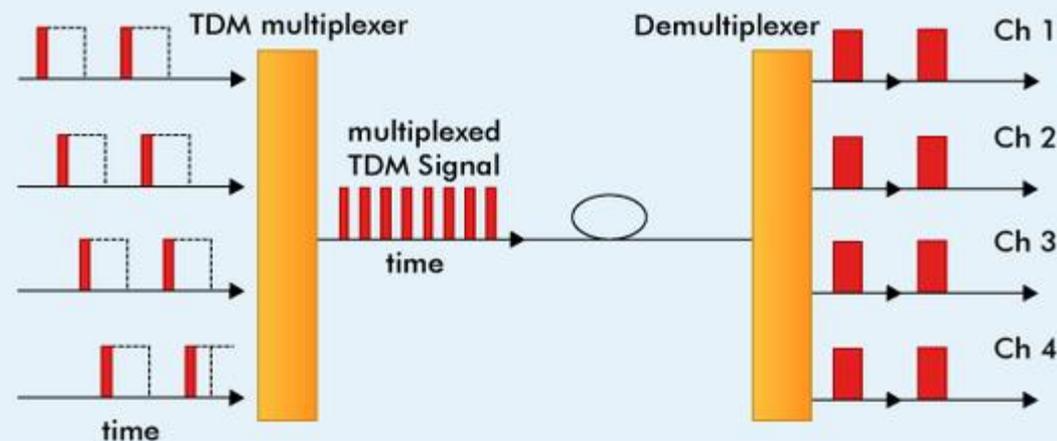
la **multiplexación** es la técnica de combinar dos o más señales, y transmitir las por un solo medio de transmisión. La principal ventaja es que permite varias comunicaciones de forma simultánea, usando un dispositivo llamado multiplexor. El proceso inverso se conoce como demultiplexación.

# Multiplexación y Demultiplexación

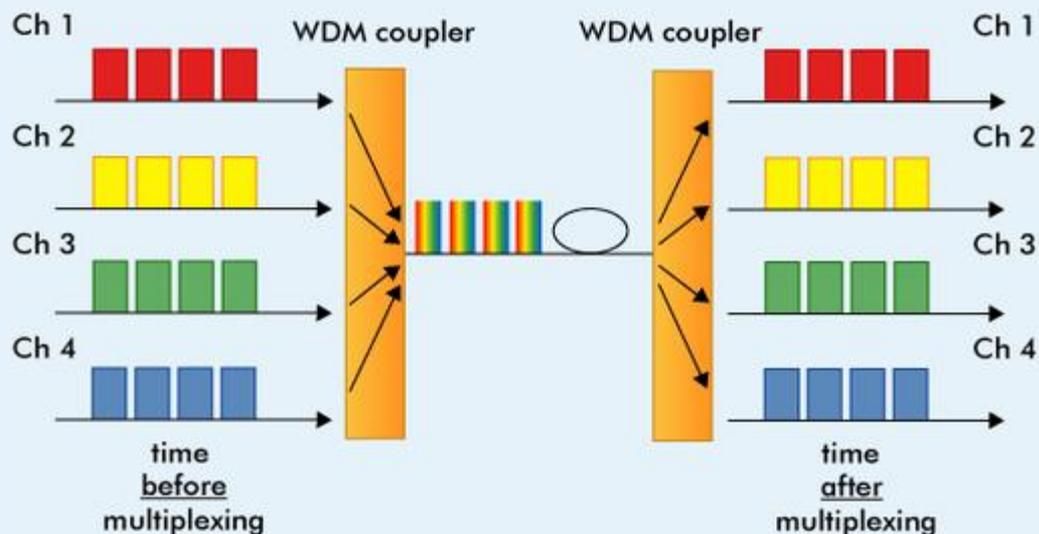
Multiplexación por división de tiempo (TDM)

Multiplexación por división de frecuencia (FDM)

## TDM (Time Division Multiplexing)



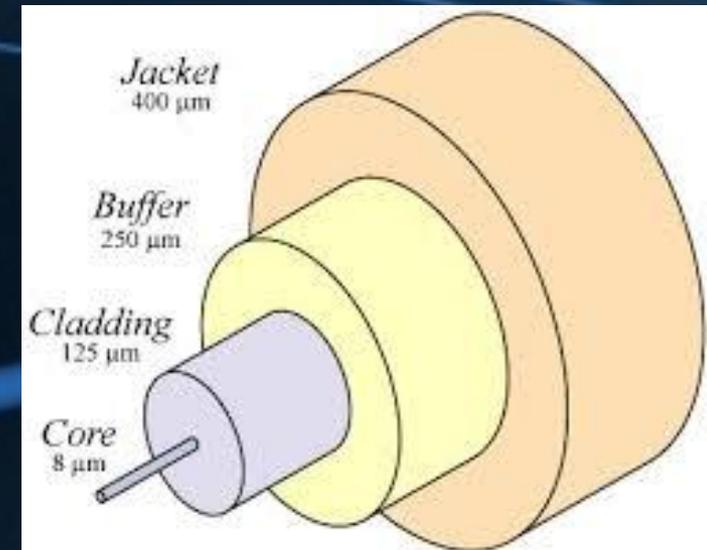
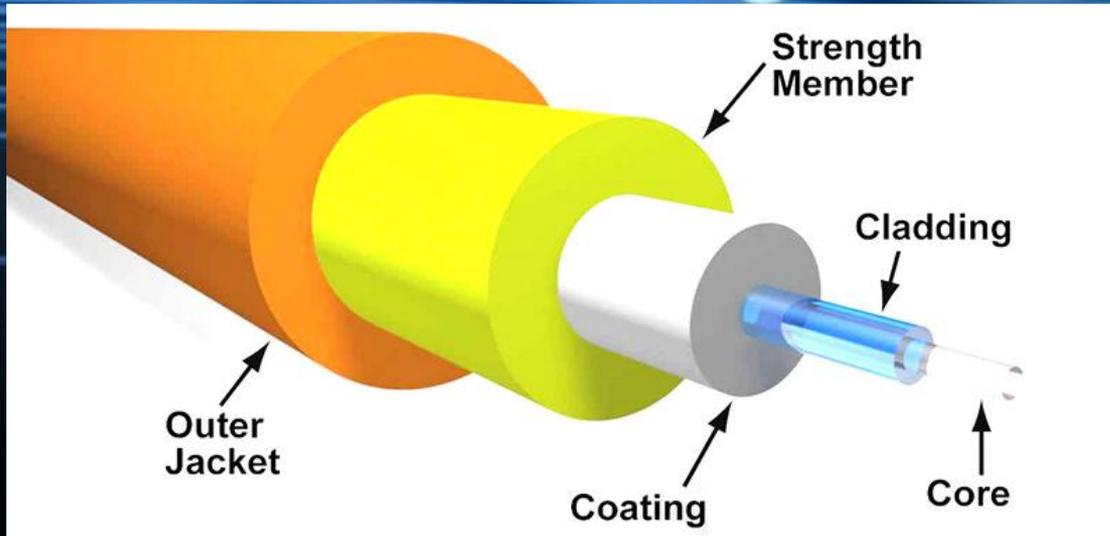
## WDM (Wavelength Division Multiplexing)



# Estructura y fabricación de FO

# Definición de Fibra Óptica

*“Fibra de diámetro muy delgado, de material plástico o vidrio (silicio), el cual se utiliza para la transmisión de información en forma de haces de luz”*



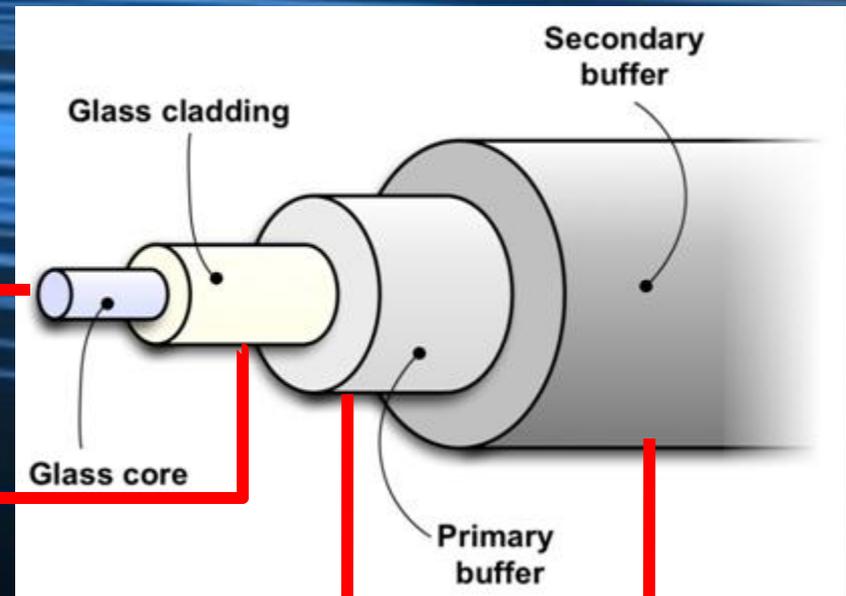
# Estructura de la Fibra Óptica

**Core (Núcleo) (entre 8 y los 70  $\mu\text{m}$ ):**

Centro de la Fibra, por donde se conducen los haces de luz.

**Cladding (recubrimiento) (entre 110 y los 140  $\mu\text{m}$ ):**

Materia alrededor del núcleo que permite el confinamiento de la luz dentro del mismo.



**Buffers:** recubrimientos plásticos que le confieren a la fibra resistencia y maleabilidad, protegiendo al cladding de los agentes externos

# Fabricación de la Fibra Óptica

---

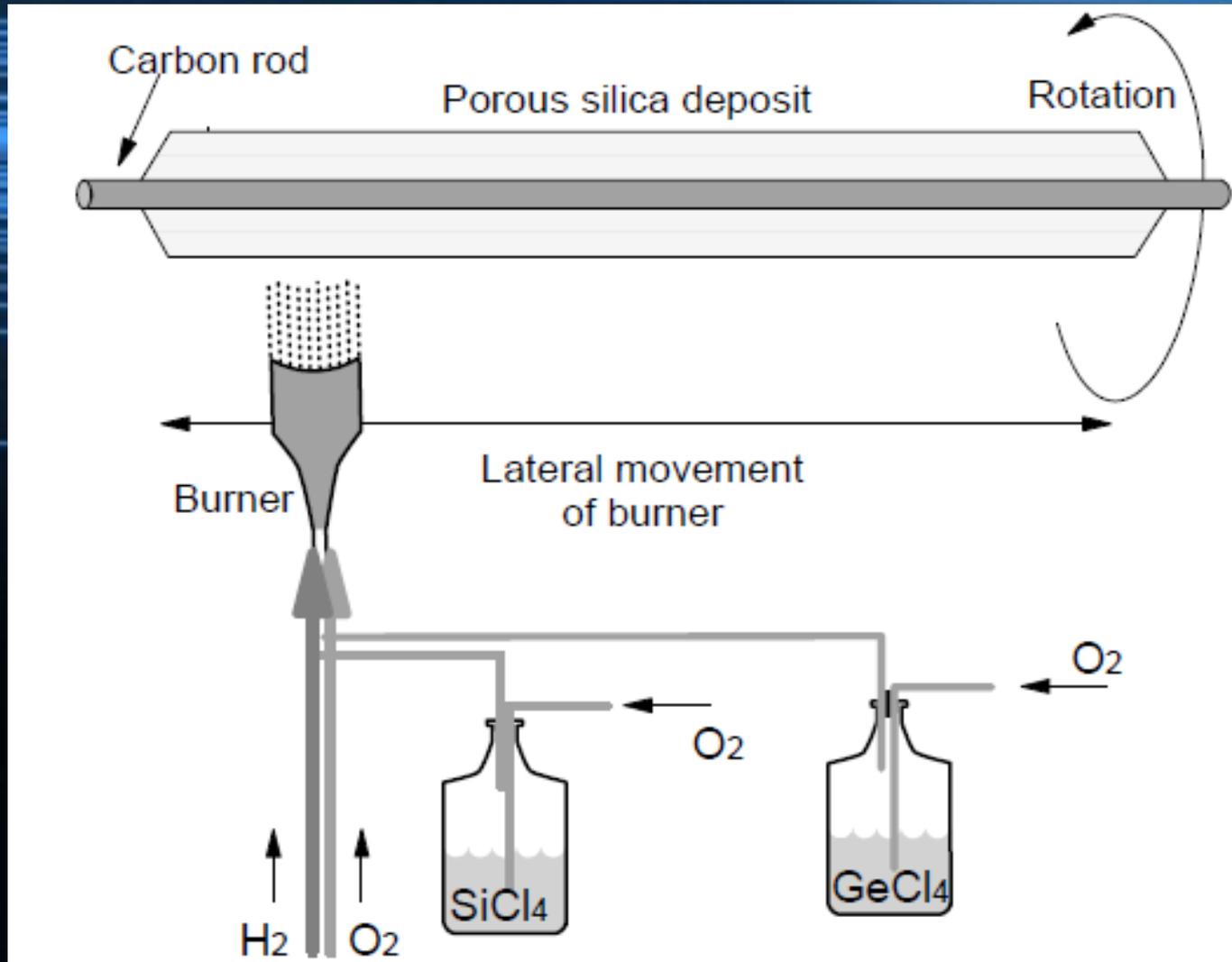
1. Conformación de la Preforma

2. Estiramiento de la Fibra

3. Agregado de recubrimientos

# Conformación de la Preforma

## OVD: Outside Vapor Deposition



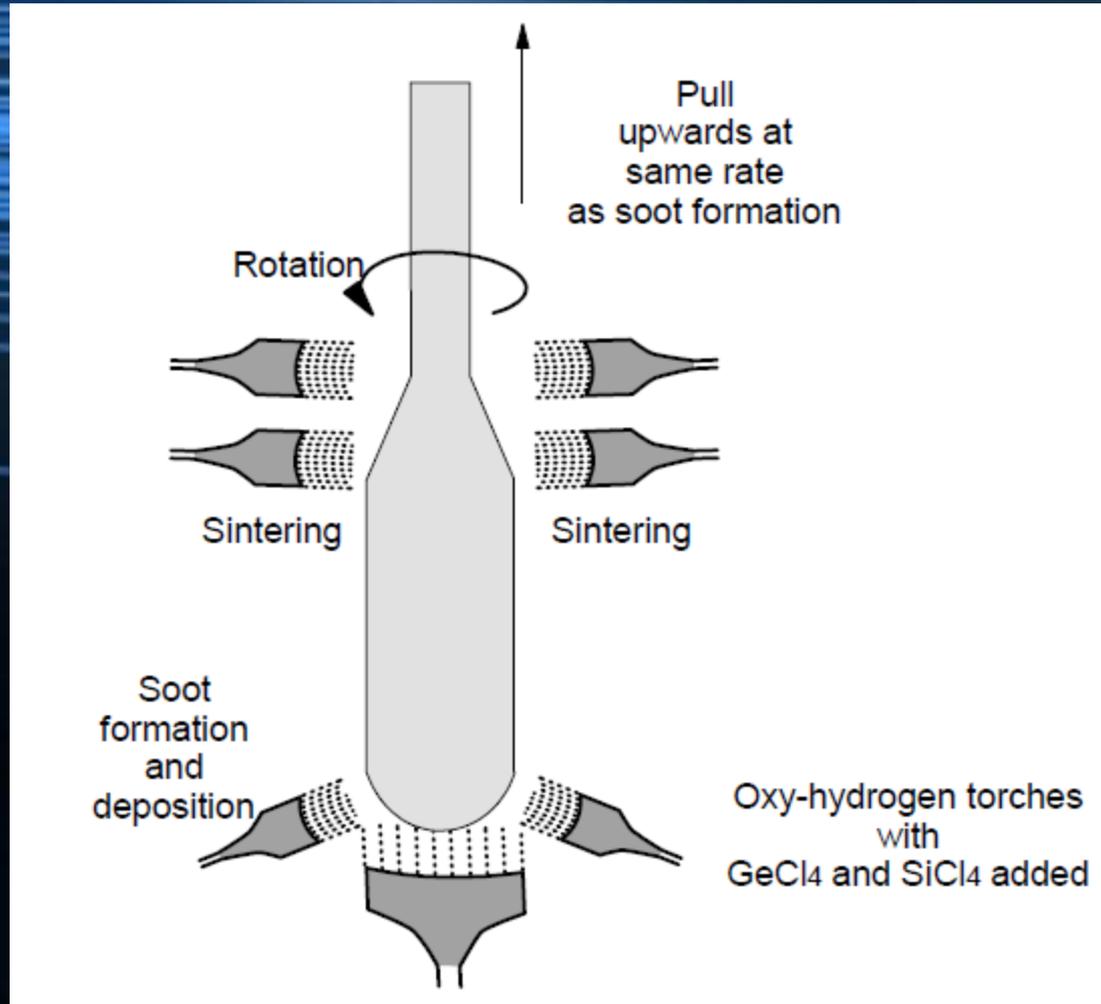
# Conformación de la Preforma

## OVD → proceso obsoleto → Desventajas

- ❖ Es difícil eliminar toda el agua (grupos OH) del vidrio formado. Así la fibra resultante tiende a tener un gran pico de absorción alrededor de los 1385 nm región de longitud de onda. Se logró un éxito considerable al eliminar la mayor parte de OH pero nunca fue tan bueno como algunos procesos en competencia.
- ❖ La fibra producida tiende a tener una depresión en el índice de refracción a lo largo de su eje. Esto también es cierto para algunos otros procesos (como MCVD) pero el efecto es más grande en este caso.
- ❖ Es un proceso por lotes y las preformas producidas de esta manera son de tamaño limitado. Esta significa que el costo final del proceso es probable que sea alto.

# Conformación de la Preforma

## VAD: Vapor Axial Deposition

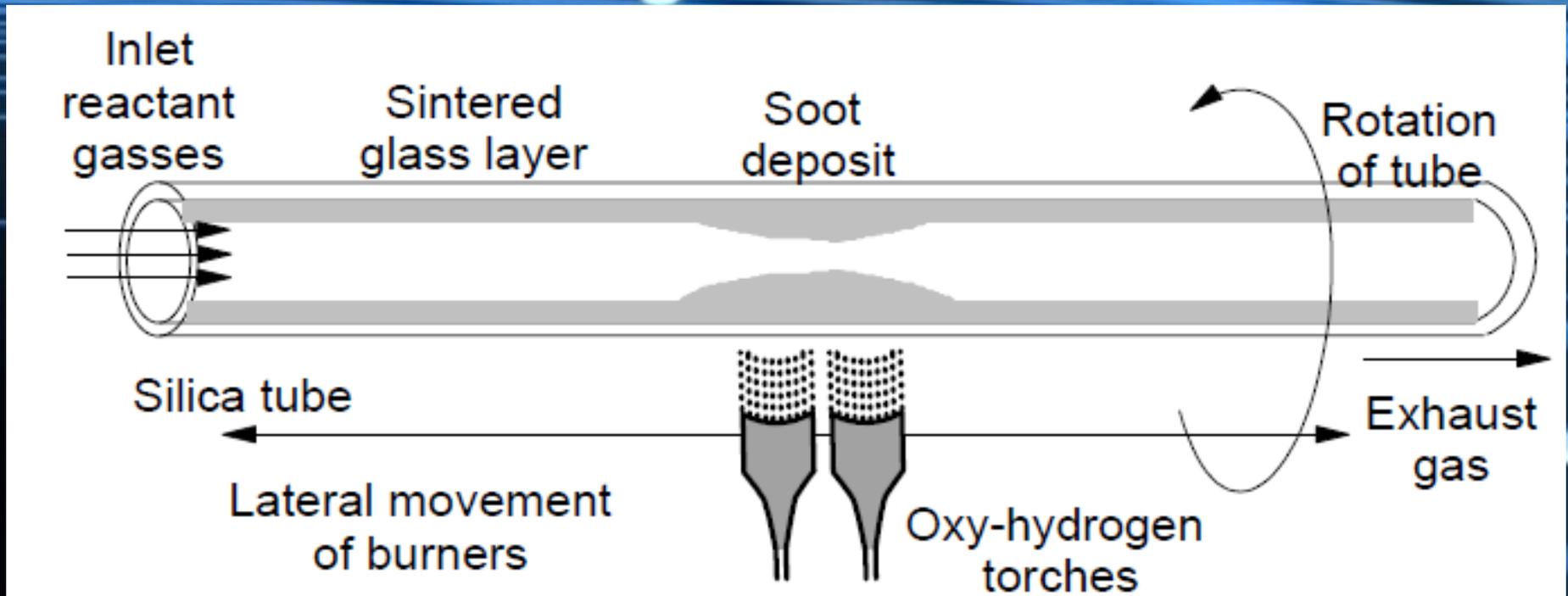


# Conformación de la Preforma

IVD: Inside Vapor Deposition

MCVD: Modified chemical vapor deposition

PCVD : Plasma-Activated Chemical Vapour Deposition

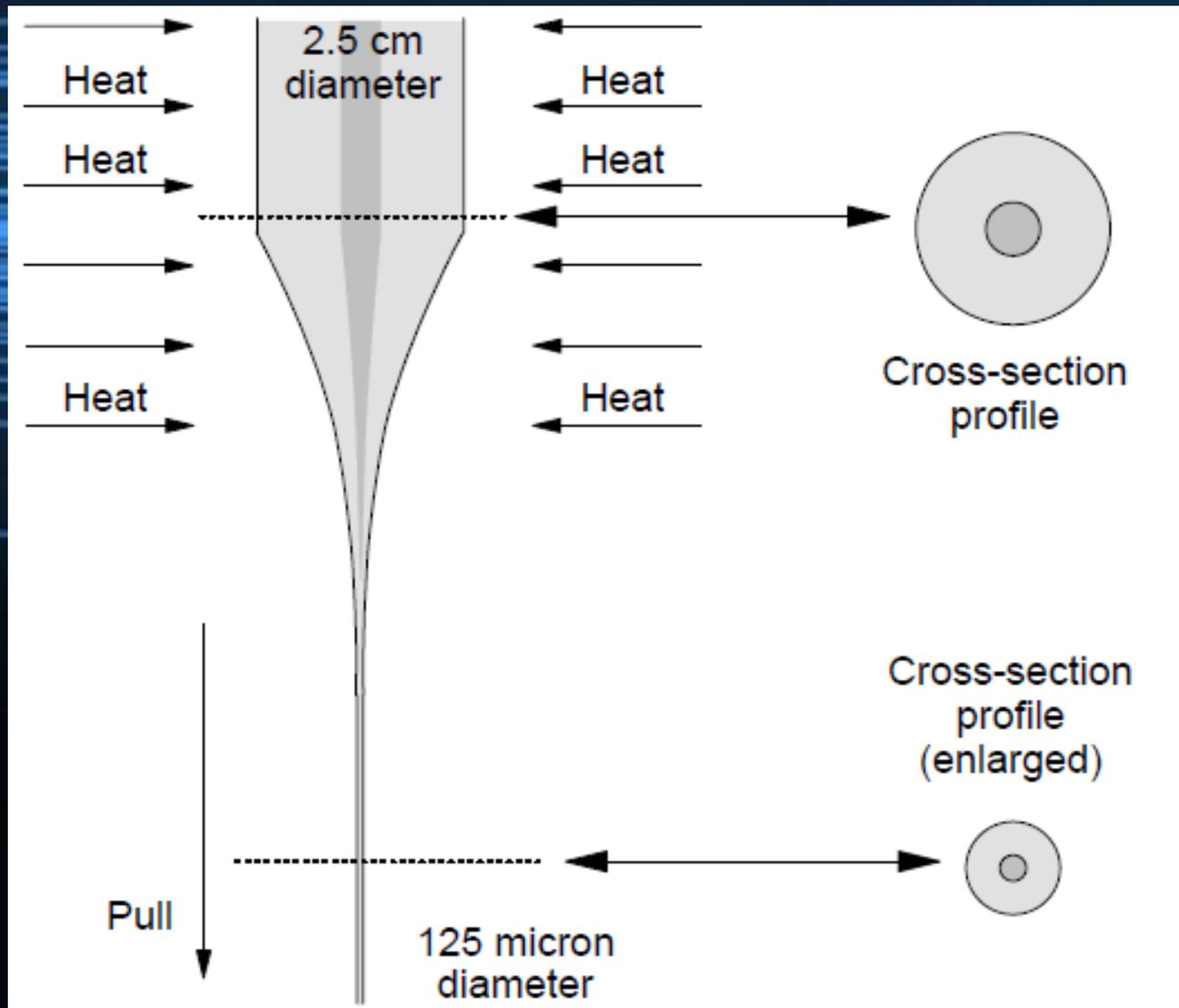


# Conformación de la Preforma

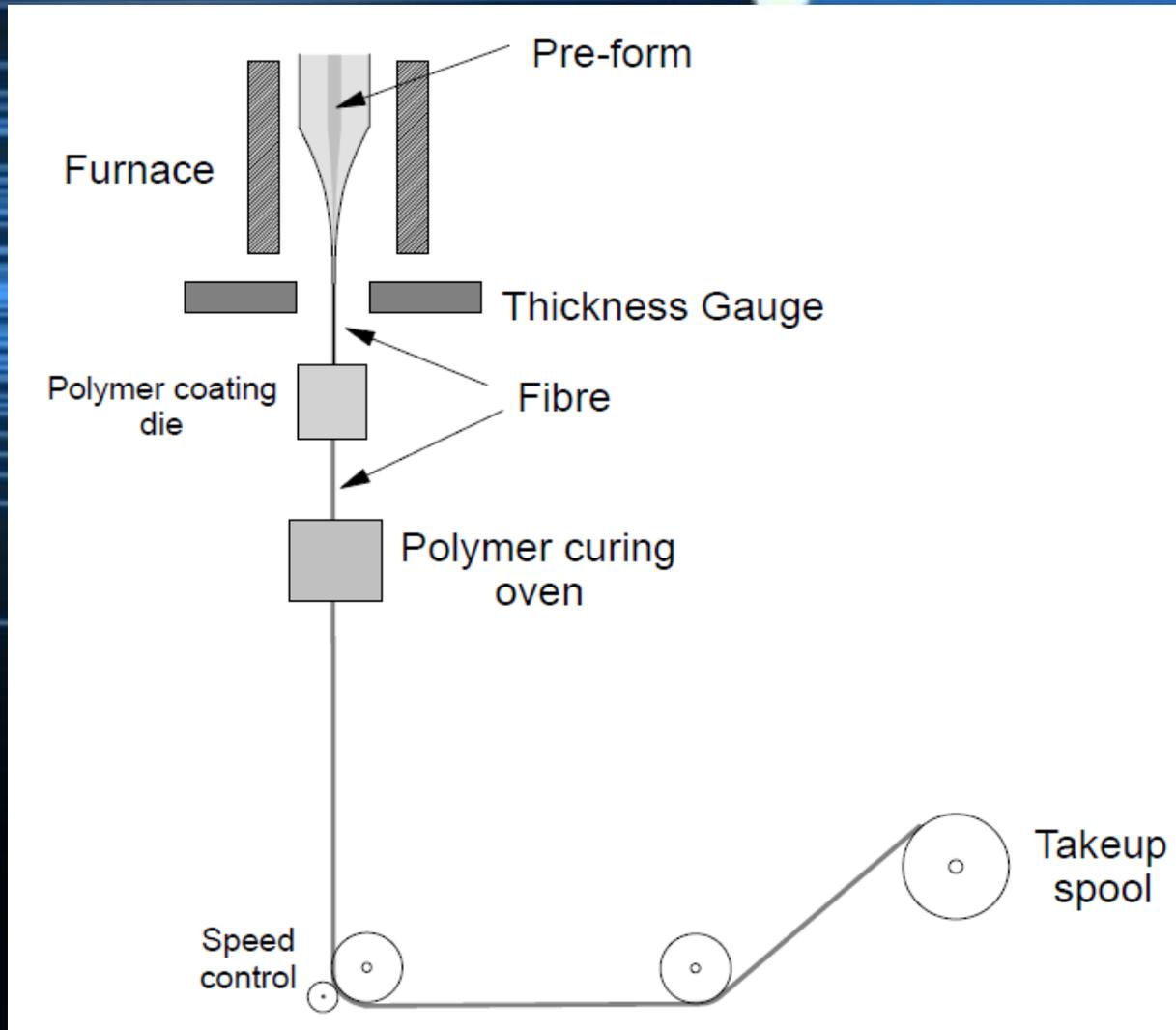
## Ventajas del MCDV

- ❖ La reacción gaseosa no produce agua por lo que el problema de OH la contaminación se reduce significativamente.
- ❖ Puede controlar el perfil de RI con mucha precisión.
- ❖ Comparado con otros procesos, es relativamente rápido (aunque todavía es un proceso en etapas).

# Estiramiento de la fibra

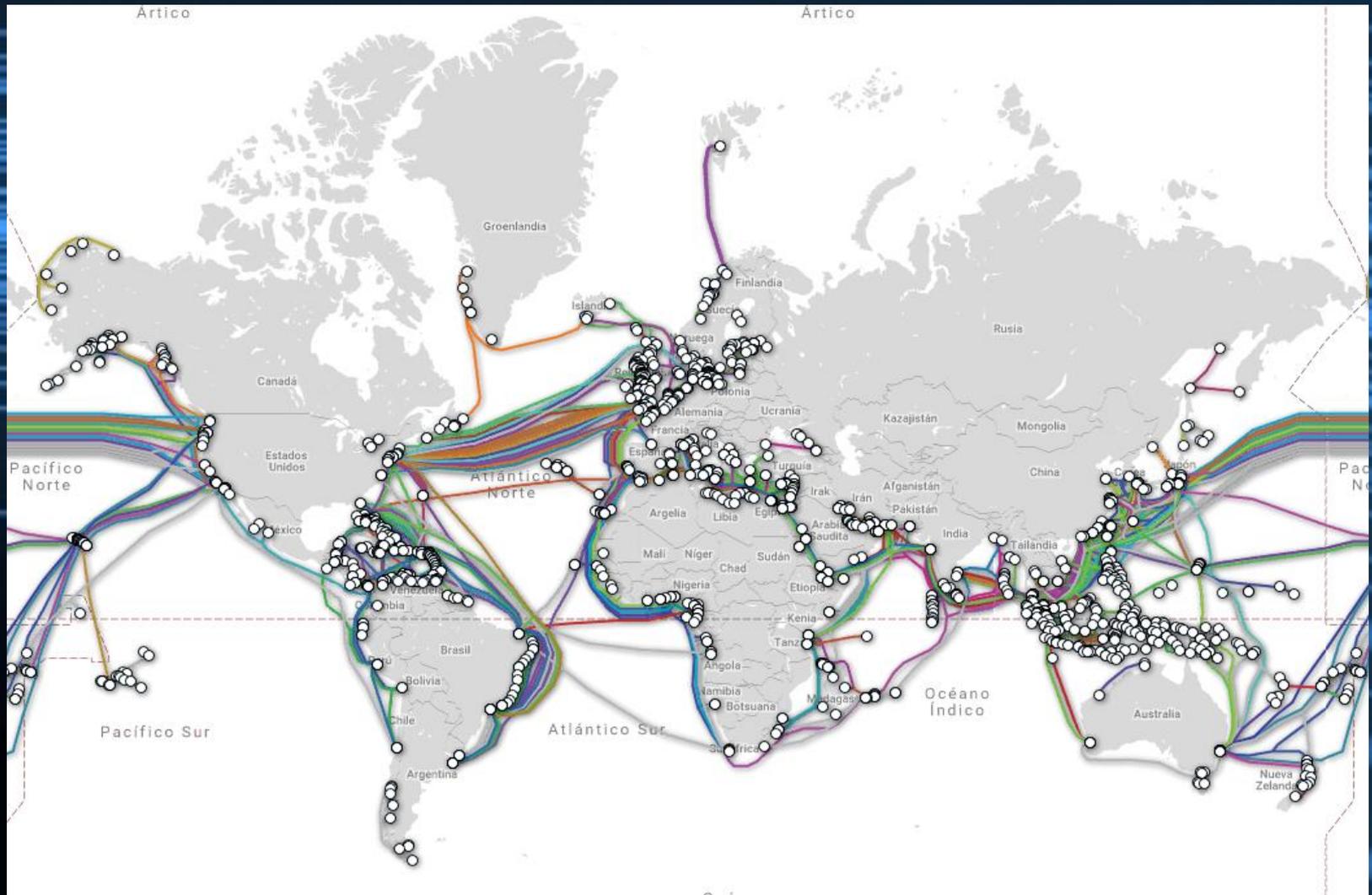


# Estiramiento de la fibra



- <https://www.youtube.com/watch?v=crZjy9nGj-k&t=0s&list=WL&index=2>
- [https://www.youtube.com/watch?v=ZWPLa\\_4G0I4](https://www.youtube.com/watch?v=ZWPLa_4G0I4)

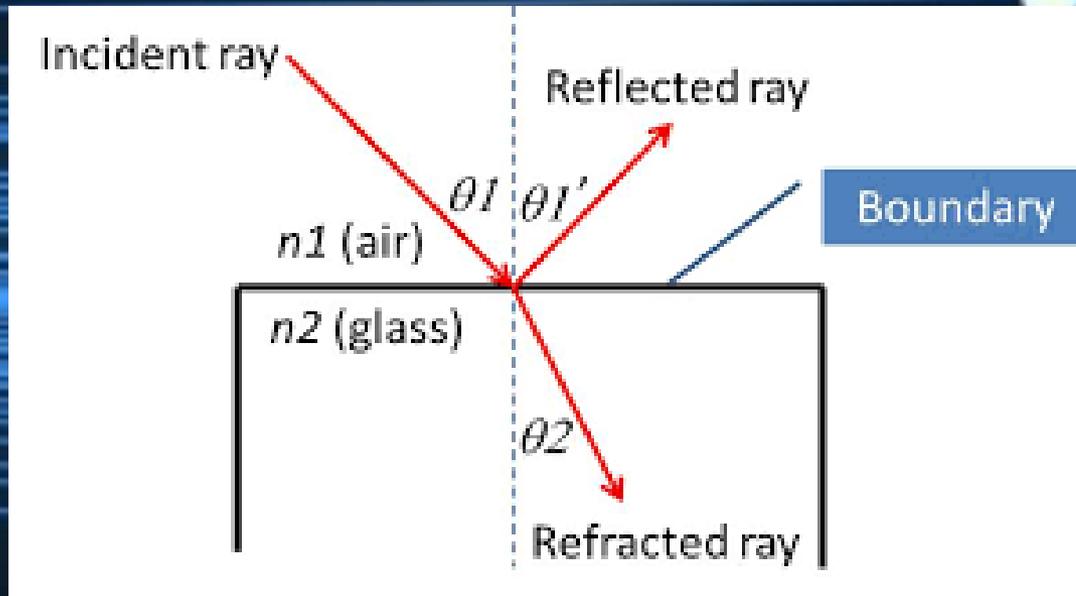
# Cables submarinos



<https://www.submarinecablemap.com/>

# Propagación de señales en la FO

# Principios de funcionamiento de la FO



$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1}$$

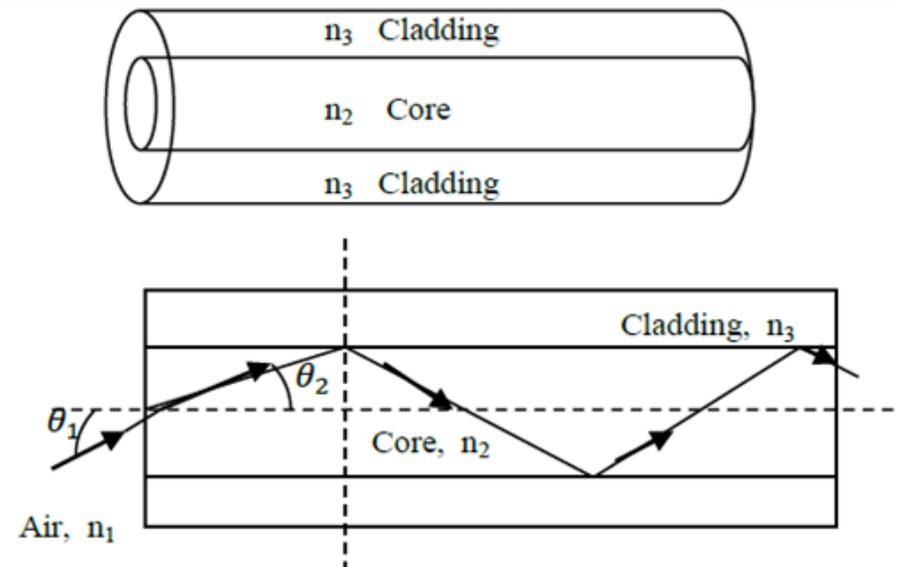
**Ley de Snell (o de refracción)**

$$n = \frac{C_0}{v}$$

$n$ : índice de refracción del medio en cuestión

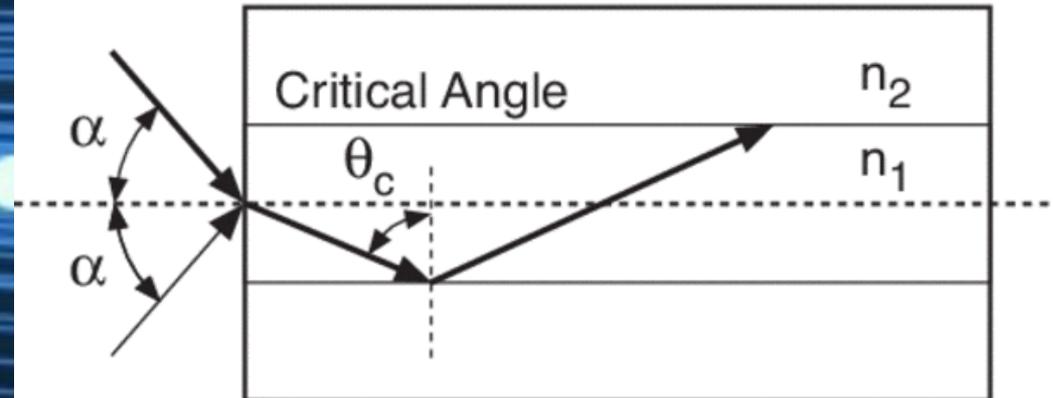
$C_0$ : velocidad de la luz en el vacío ( $3 \times 10^8$  m/s)

$v$ : velocidad de la luz en el medio en cuestión



# Principios de funcionamiento de la FO

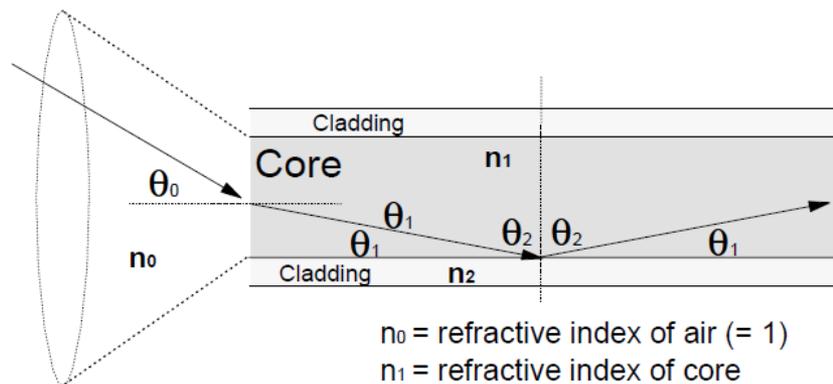
## Numerical Aperture



**Apertura  
numérica**

$$NA = \sin \alpha = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Full Acceptance Angle =  $2\alpha$

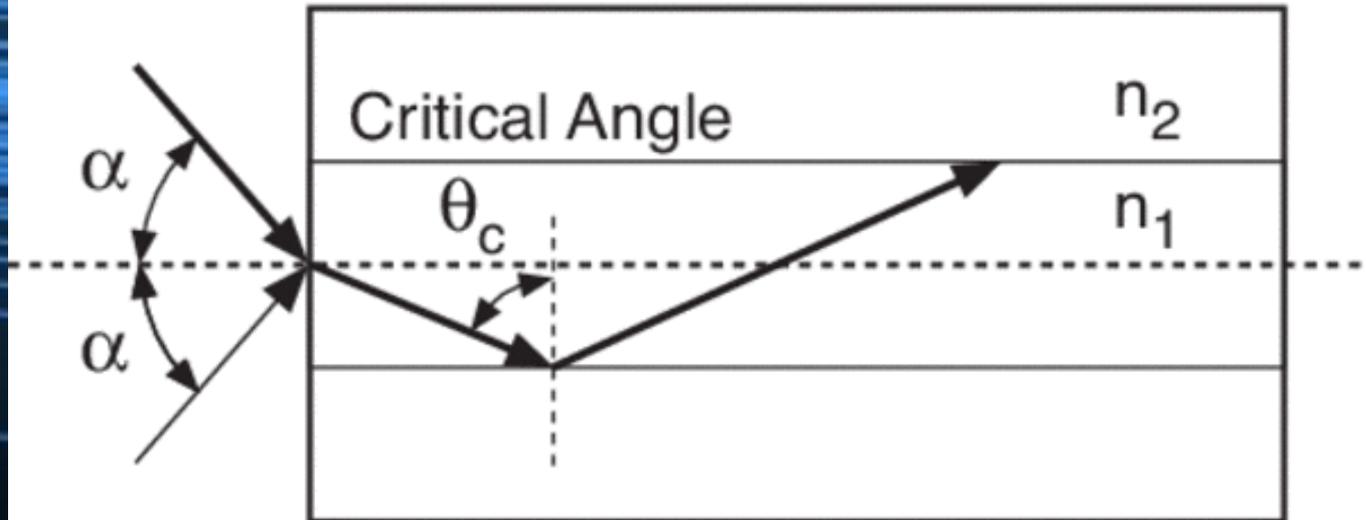


$n_0$  = refractive index of air (= 1)  
 $n_1$  = refractive index of core  
 $n_2$  = refractive index of cladding

**Cono de  
aceptación**

# Principios de funcionamiento de la FO

## Numerical Aperture

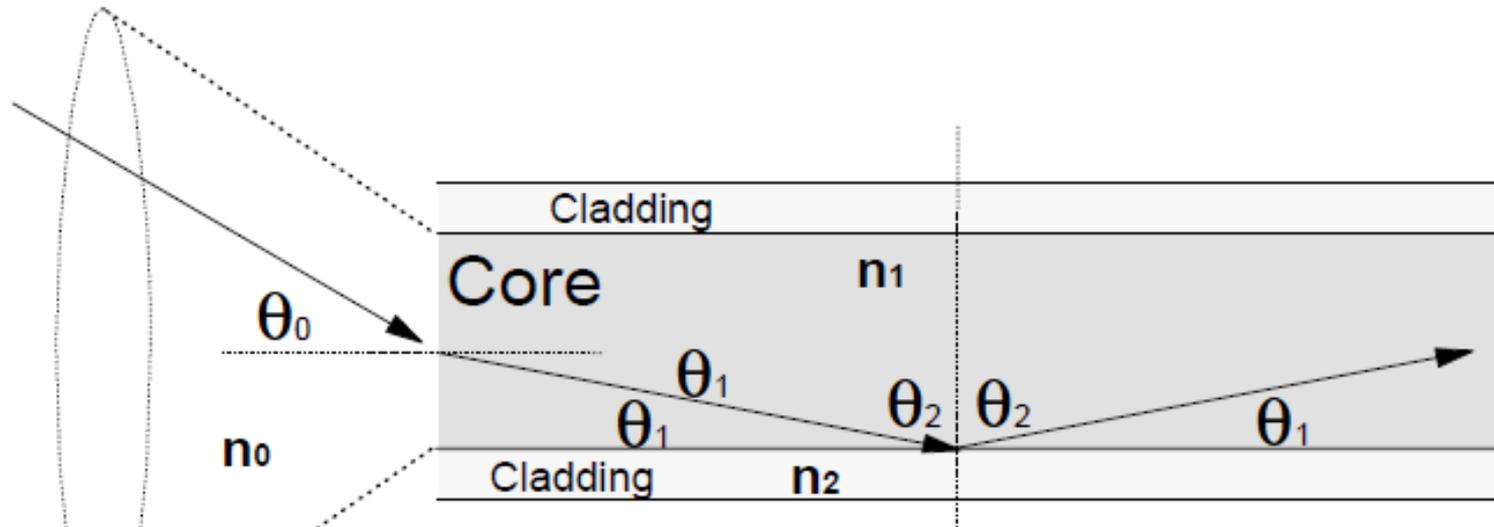


*Apertura  
numérica*

$$NA = \sin \alpha = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Full Acceptance Angle =  $2\alpha$

# Principios de funcionamiento de la FO



$n_0$  = refractive index of air (= 1)  
 $n_1$  = refractive index of core  
 $n_2$  = refractive index of cladding

***Cono de  
aceptación***

# Unidades de medición

*El decibel [dB]*

$$N[\text{dB}] = 10 \log \frac{P_S}{P_E}$$

*El decibel miliwatt [dBm]*

$$P[\text{dB}] = 10 \log \frac{P[\text{mw}]}{1\text{mw}}$$

*El decibel relativo [dBr]*

*Relativo a un nivel de potencia pre-definido*

*Relación Señal/Ruido*

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}} \right)$$

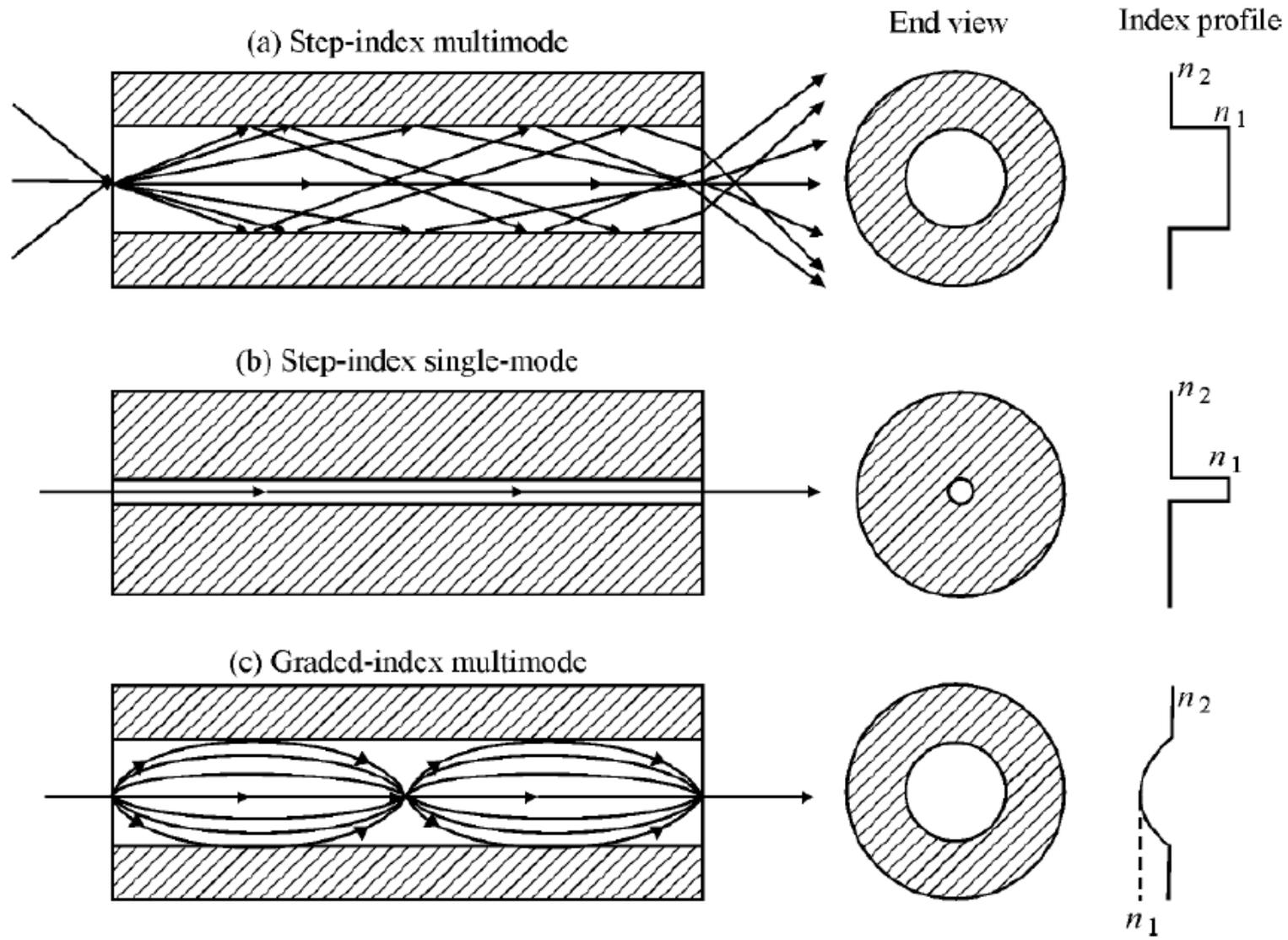
## Clasificación según los materiales constructivos

- A. Núcleo y revestimiento de plástico
- B. Núcleo de vidrio y revestimiento de plástico  
(PCS=plastic clad silica)
- A. Núcleo y revestimiento de vidrio (SCS=silica clad silica)

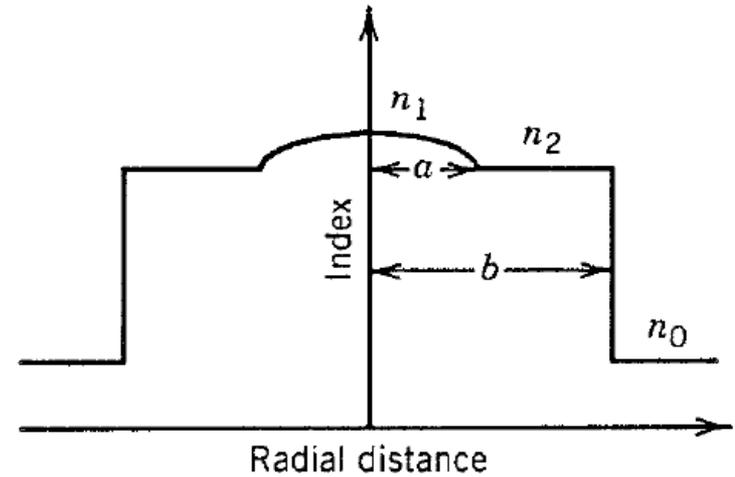
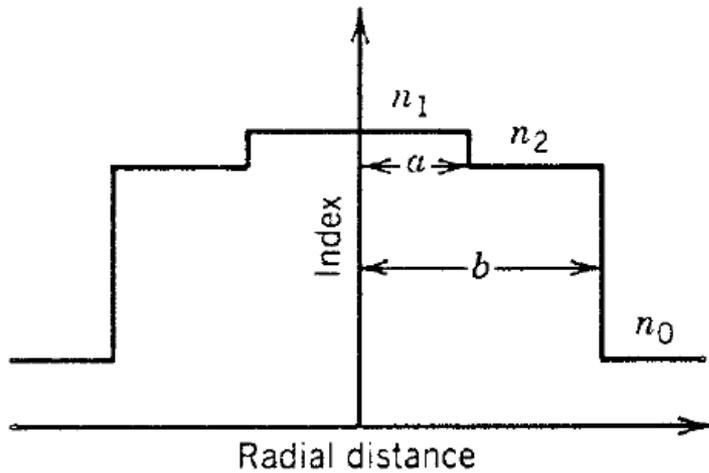
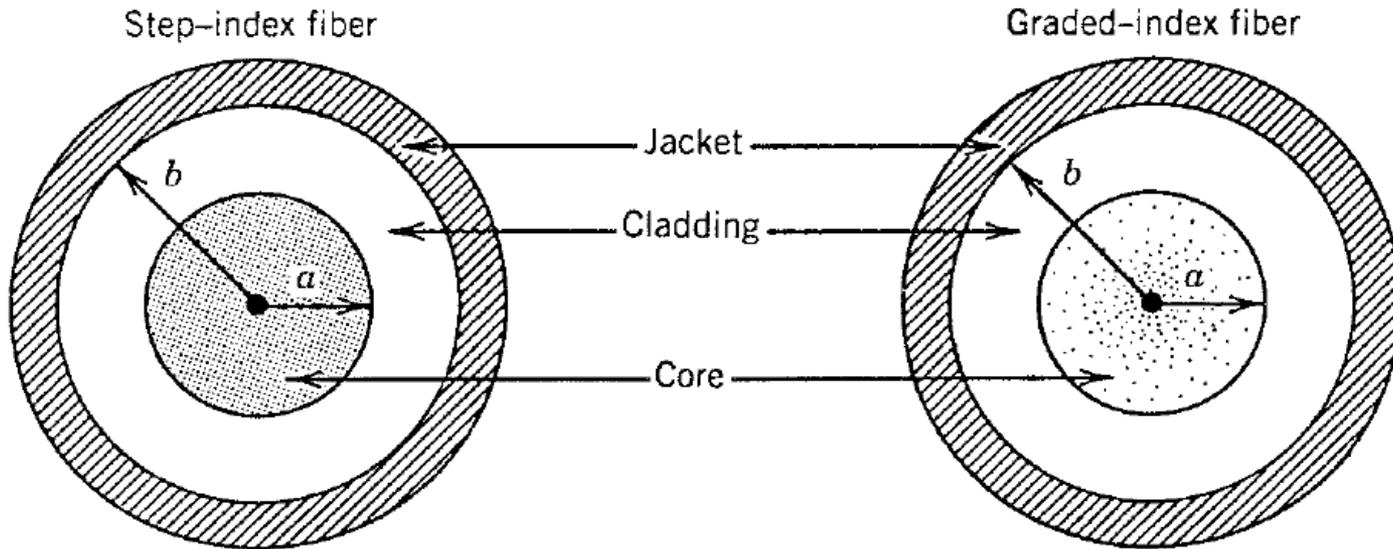
## Clasificación según los modos de propagación

- A. Multimodo de índice escalonado (Multimode step index) (a)
- B. Monomodo (índice escalonado) [Single Mode step index] SM (b)
- C. Multimodo de índice gradual (Multimode graded index) (c)

# Tipos de Fibra óptica

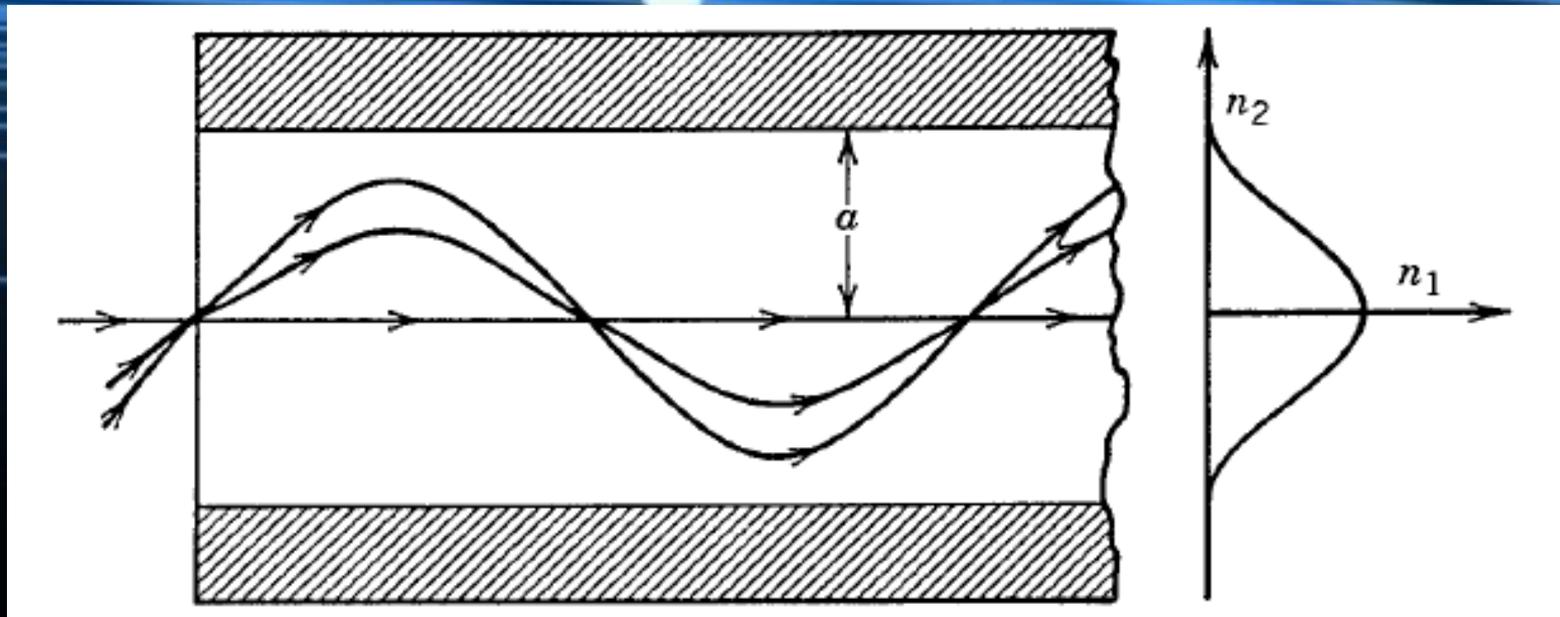


# Tipos de Fibra óptica



# Tipos de Fibra óptica

Fibra con perfil graduado → Menor incidencia de la dispersión modal

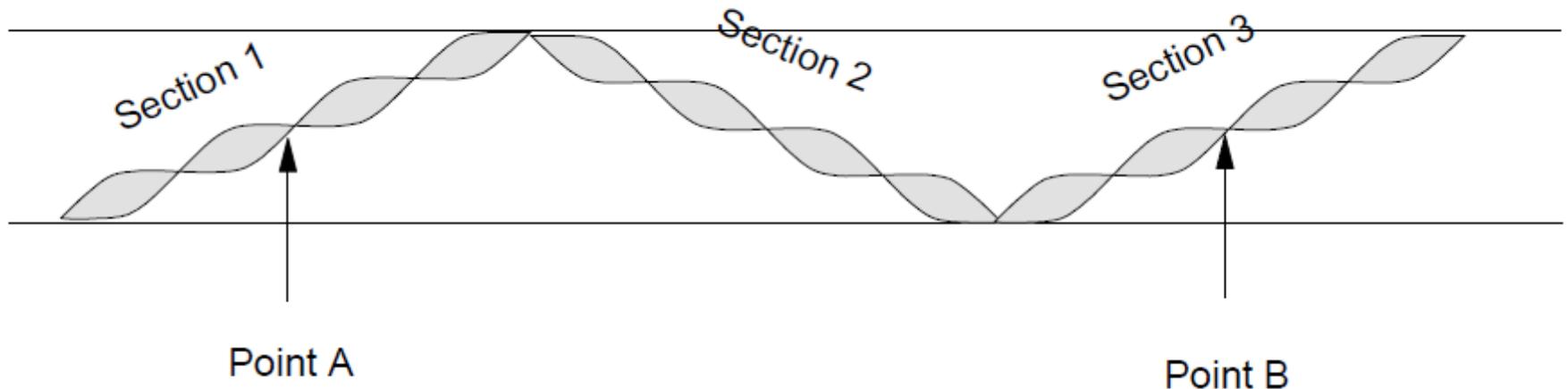


*En este ejemplo se observan 3 modos diferentes, los cuales recorren la fibra a diferentes velocidades.*

# Modos de propagación

*Un “modo de propagación” es un posible camino que puede tomar un haz de luz en su viaje dentro de la fibra.*

*Para visualizarlo, se debe tener en cuenta que el frente de onda siempre debe estar en fase consigo mismo.*

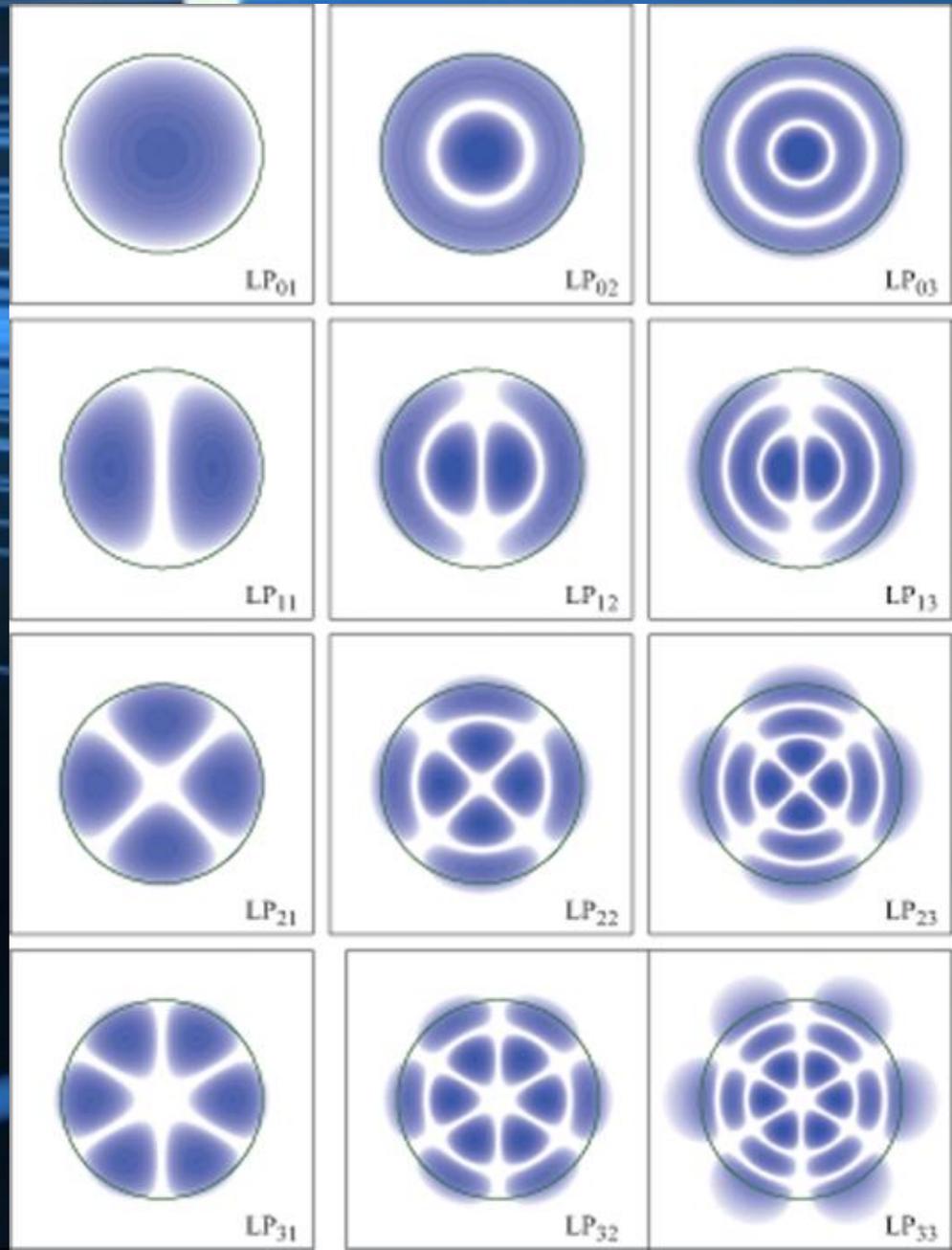


# Modos de propagación

*Diferentes modos de la luz  
en una fibra multimodo*



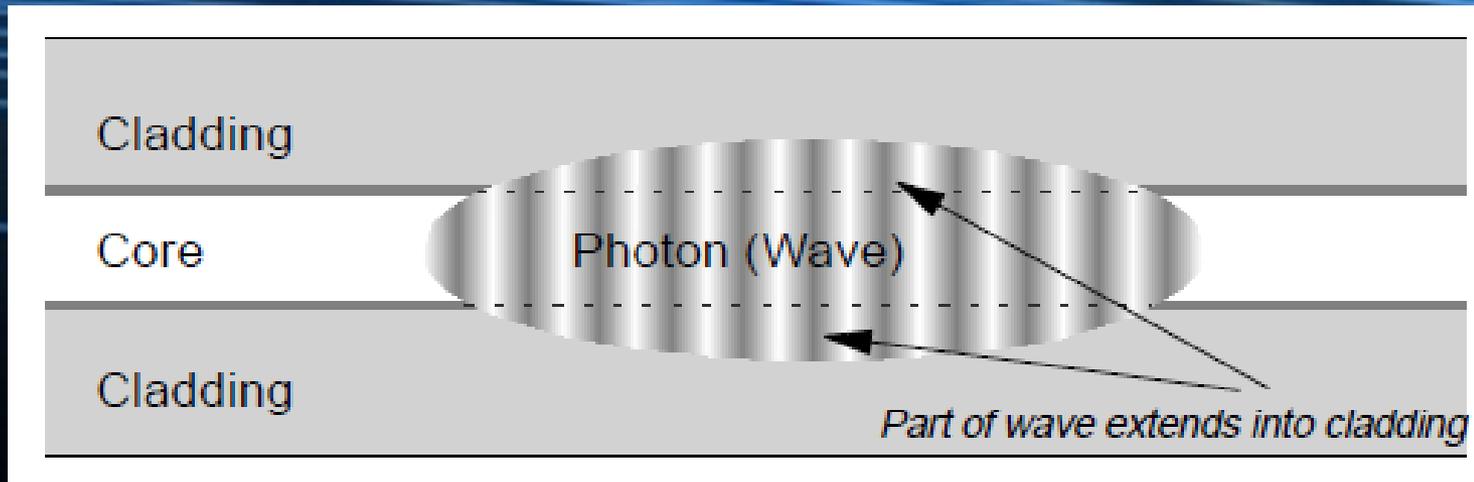
*Modos helicoidales*



# Modos de propagación

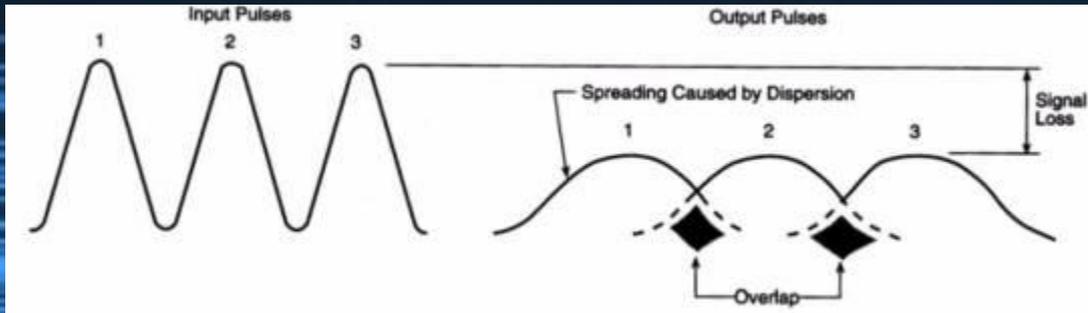
Fibra Monomodo → Se debe pensar la FO como una guía de onda que confina a la luz en un único modo de vibración.

*La luz se propaga dentro del núcleo y una parte también dentro el recubrimiento.*

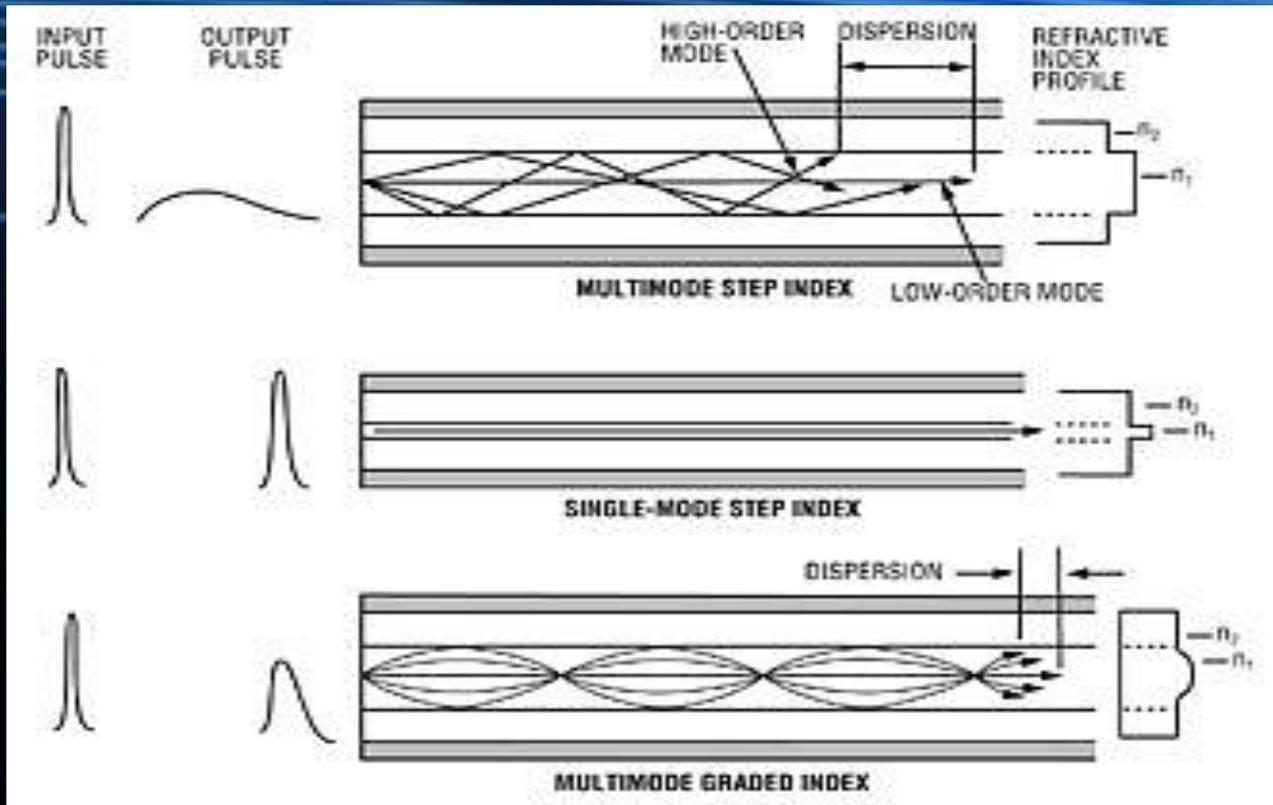


La longitud de onda de corte es la longitud de onda más corta en la que la fibra se comportara como monomodo. Las longitudes de onda más cortas que el límite viajarán en modos múltiples mientras que las longitudes de onda más largas que el límite viajarán en un único modo.

# Modos de propagación

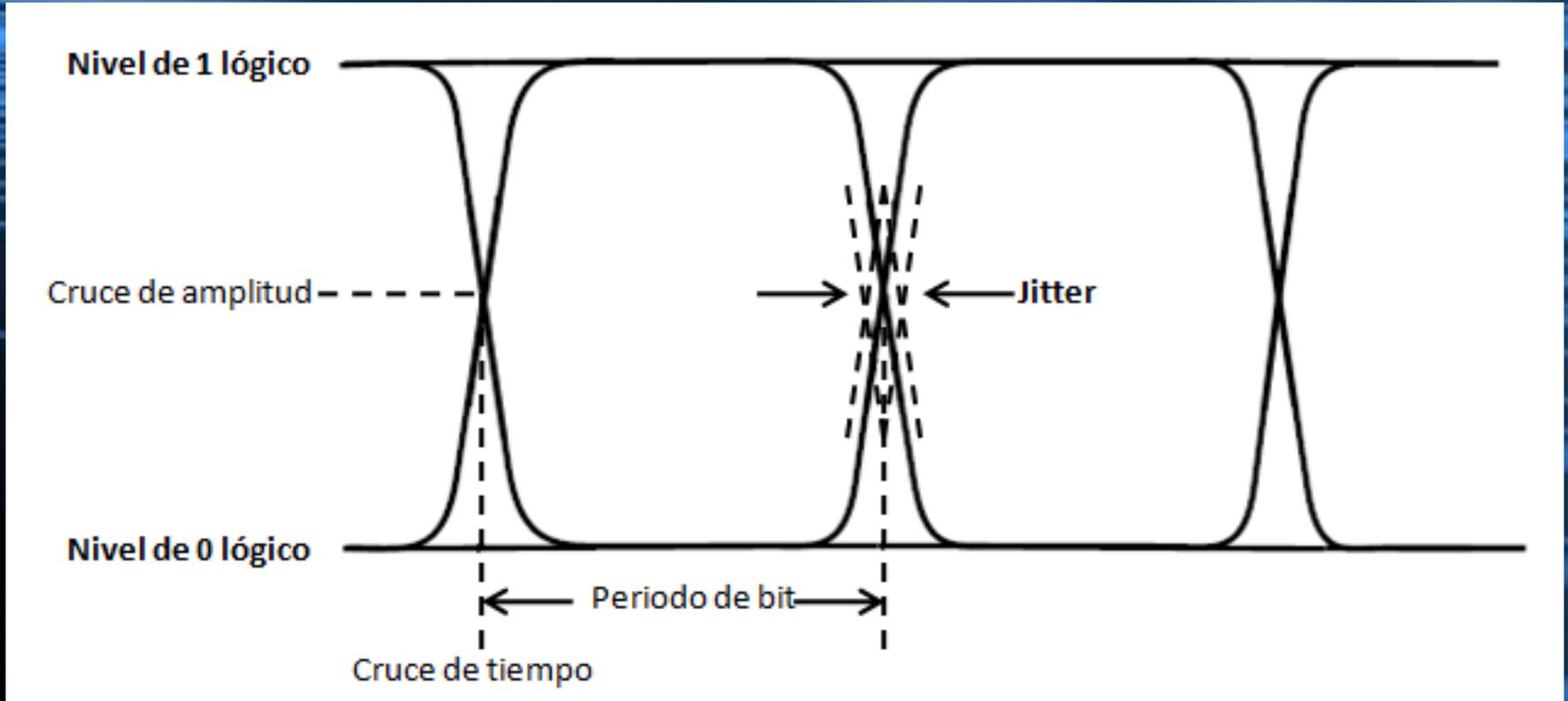


*Señales afectadas por la dispersión modal*



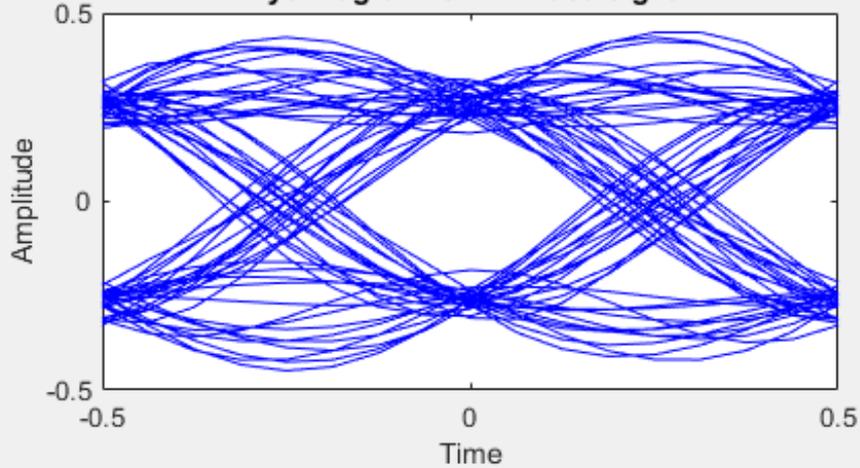
# Modos de propagación

## Diagrama de OJO

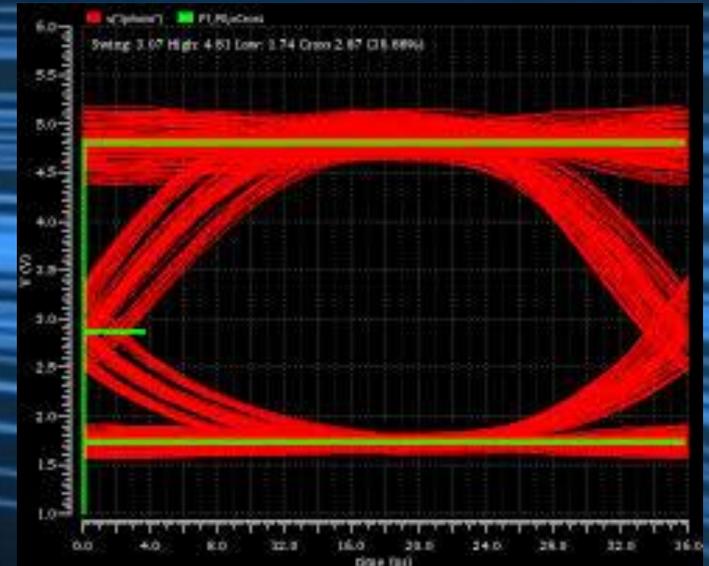
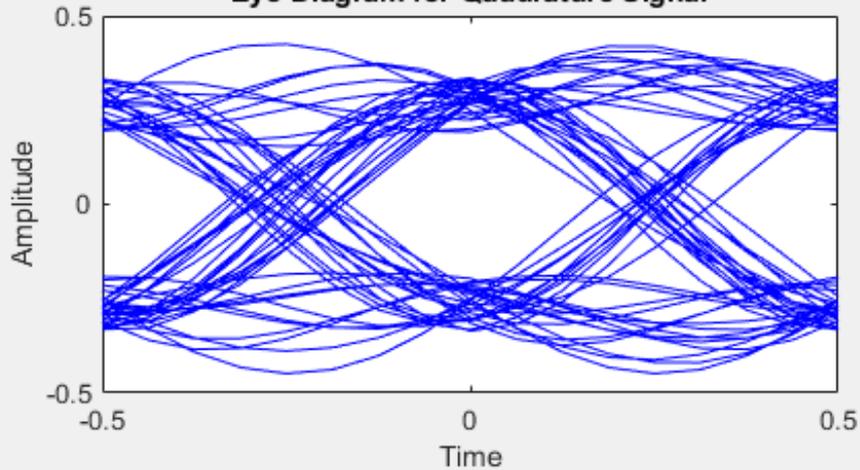


# Modos de propagación

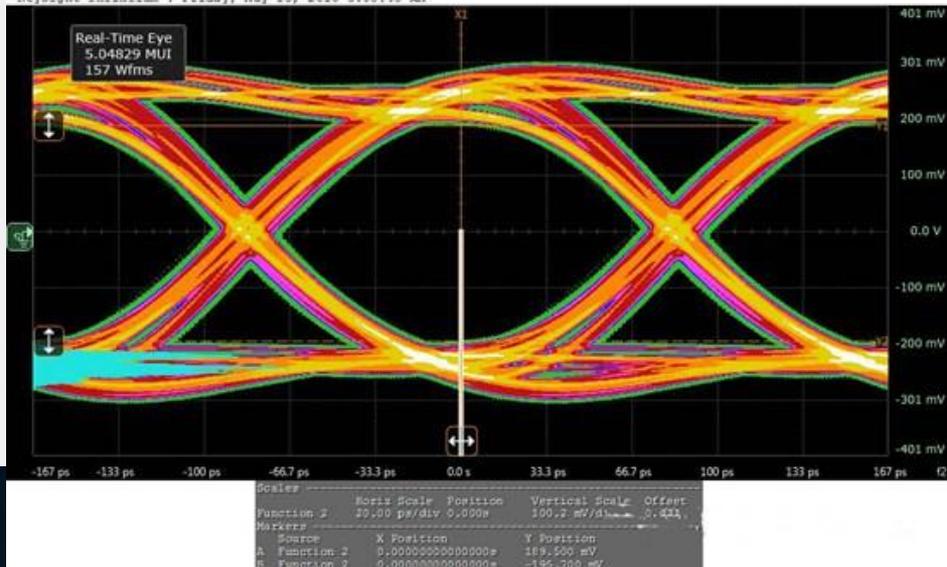
Eye Diagram for In-Phase Signal



Eye Diagram for Quadrature Signal



Keysight Infiniium 1 Friday, May 13, 2016 3:08:45 AM



The background features a dark blue gradient with several bright blue, slightly blurred lines that create a sense of depth and movement. Scattered throughout are several small, bright white circular dots, some of which appear to be part of the blue lines, suggesting a network or data flow theme.

# **Cables y conectores de FO**

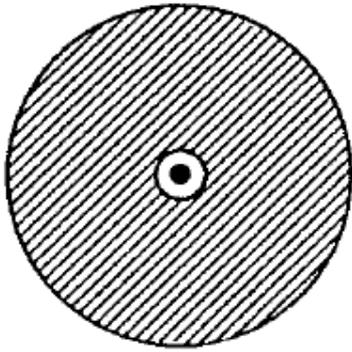
# Cables de fibra óptica

---

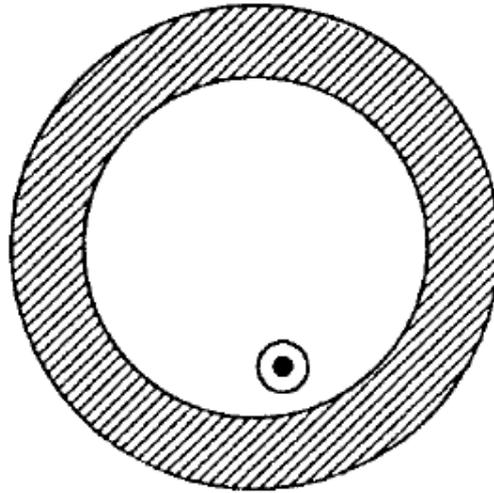
<b>Cables Indoor</b>	
Simplex	Contiene un único pelo para una comunicación unidireccional.
Duplex	Conformado por 2 pelos, permite comunicación bidireccional.
Multifibra	Cables que varios pares de fibras, cada uno utilizado para una comunicación duplex
Breakout	Conjunto de varios cables simplex contenidos en una malla exterior, que generalmente posee un cordado para roptura que permite fácil acceso a los pelos individuales.
Heavy-Light-Plenum duty	Heavy duty: Cables con una funda más gruesa que permite al cable soportar condiciones ambientales más severas que los light duty. Plenum: Cables con retardante de fuego y baja emisión de humo.

# Cables light-duty

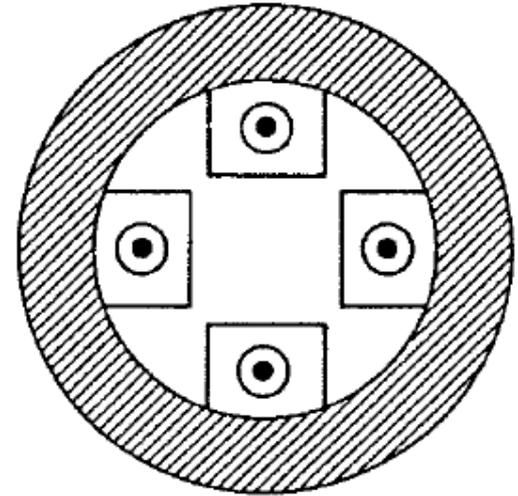
---



Tight jacket



Loose tube



Slotted tube

# Cables de fibra óptica

---

## Cables Outdoor

Overhead (o aereos)

Cables sostenidos sobre las líneas eléctricas o telefónicas.

Subterranos directos

Cables enterrados en un trinchera o canal directo.

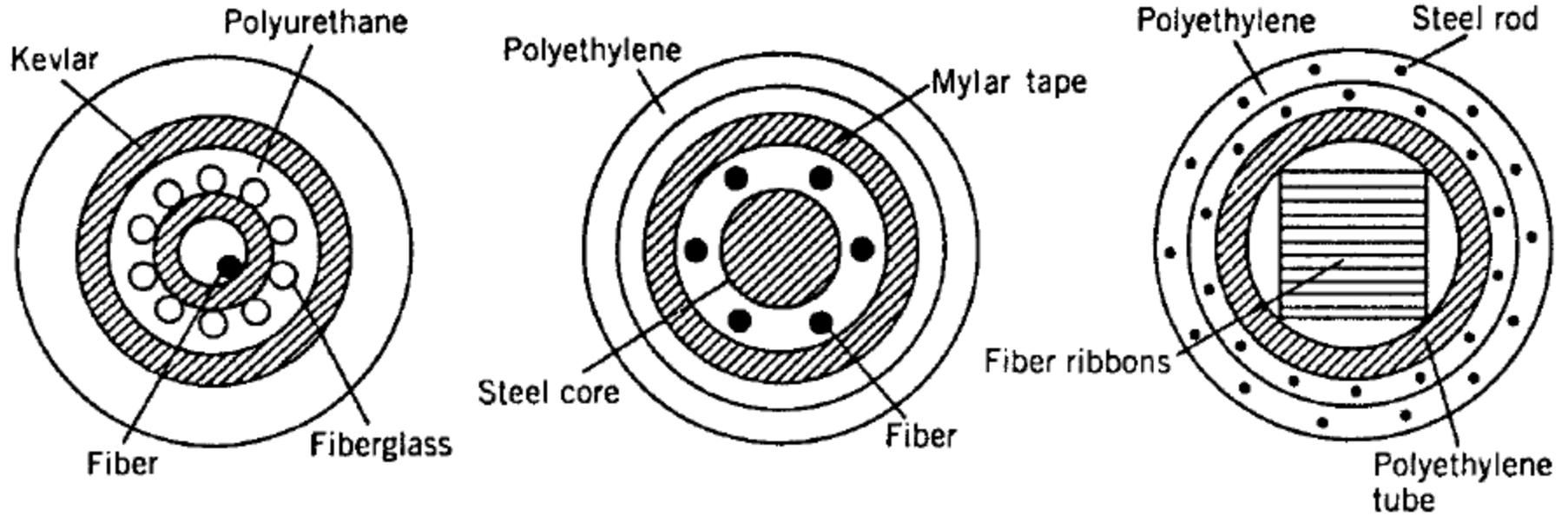
Subterranos indirectos

Cables diseñados para alojarse en ductos.

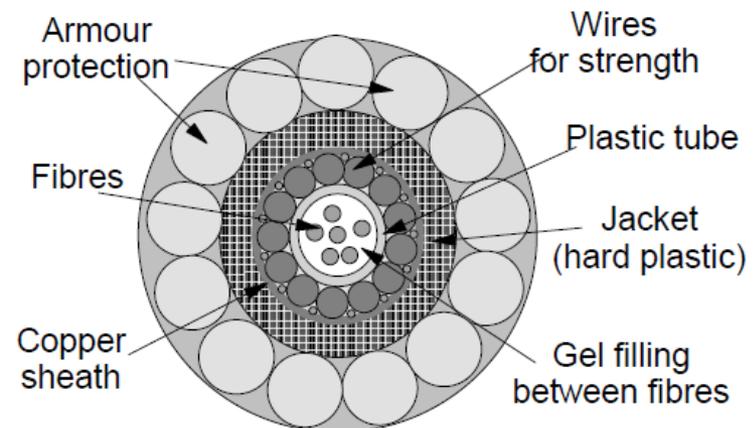
Submarinos

Cables adaptados para soportar las condiciones extremas del fondo submarina.

# Cables heavy-duty

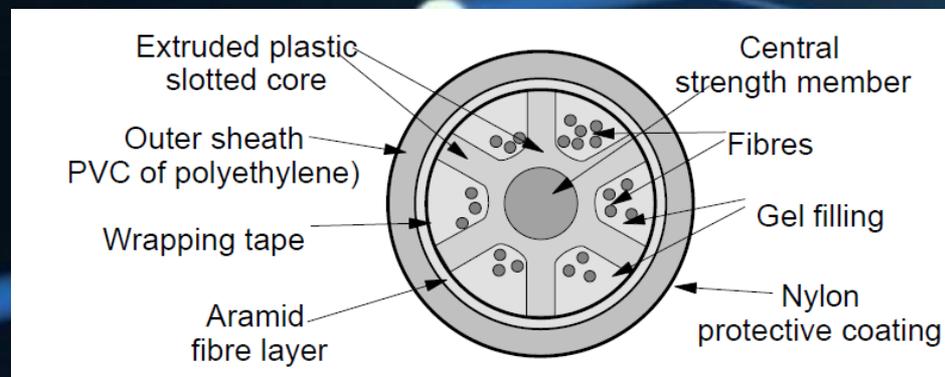
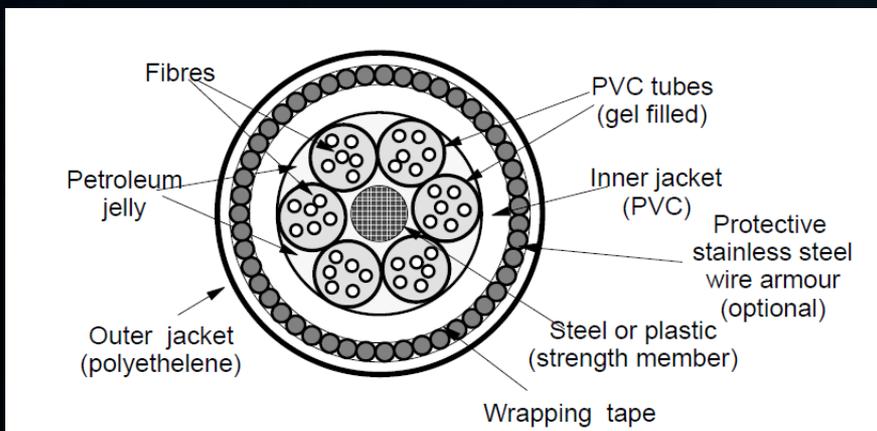
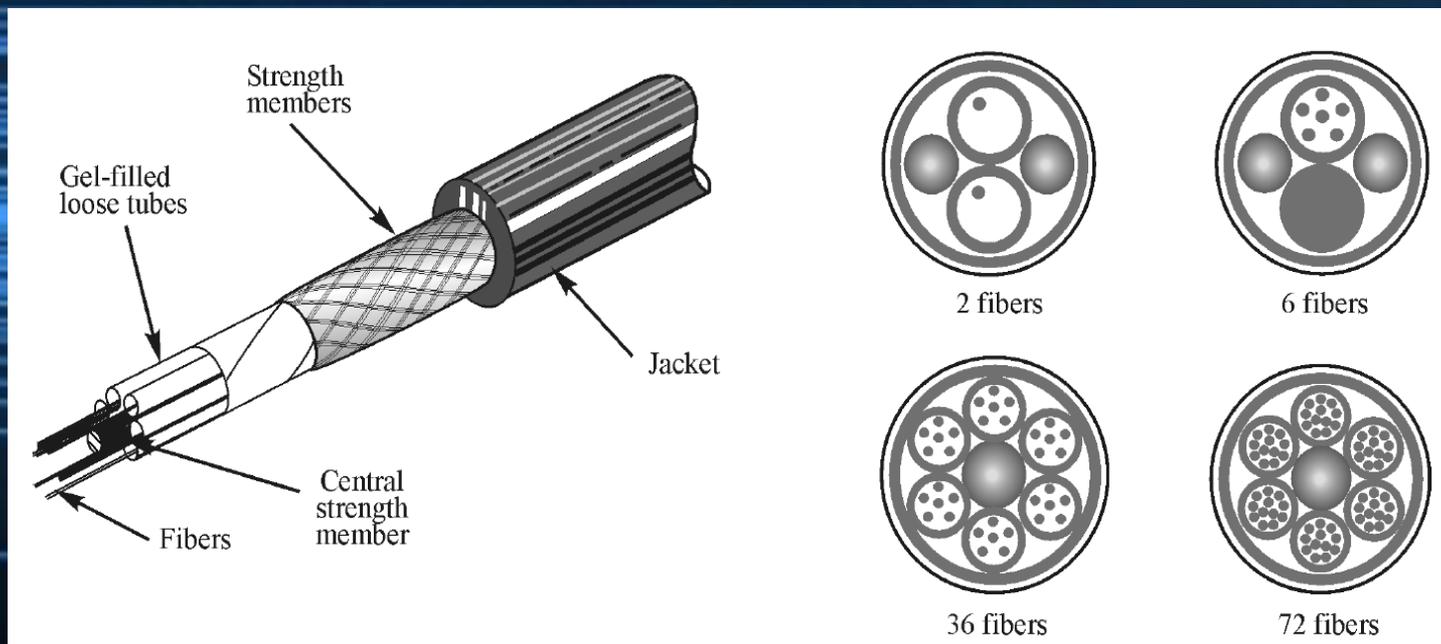


## *Cables submarinos*



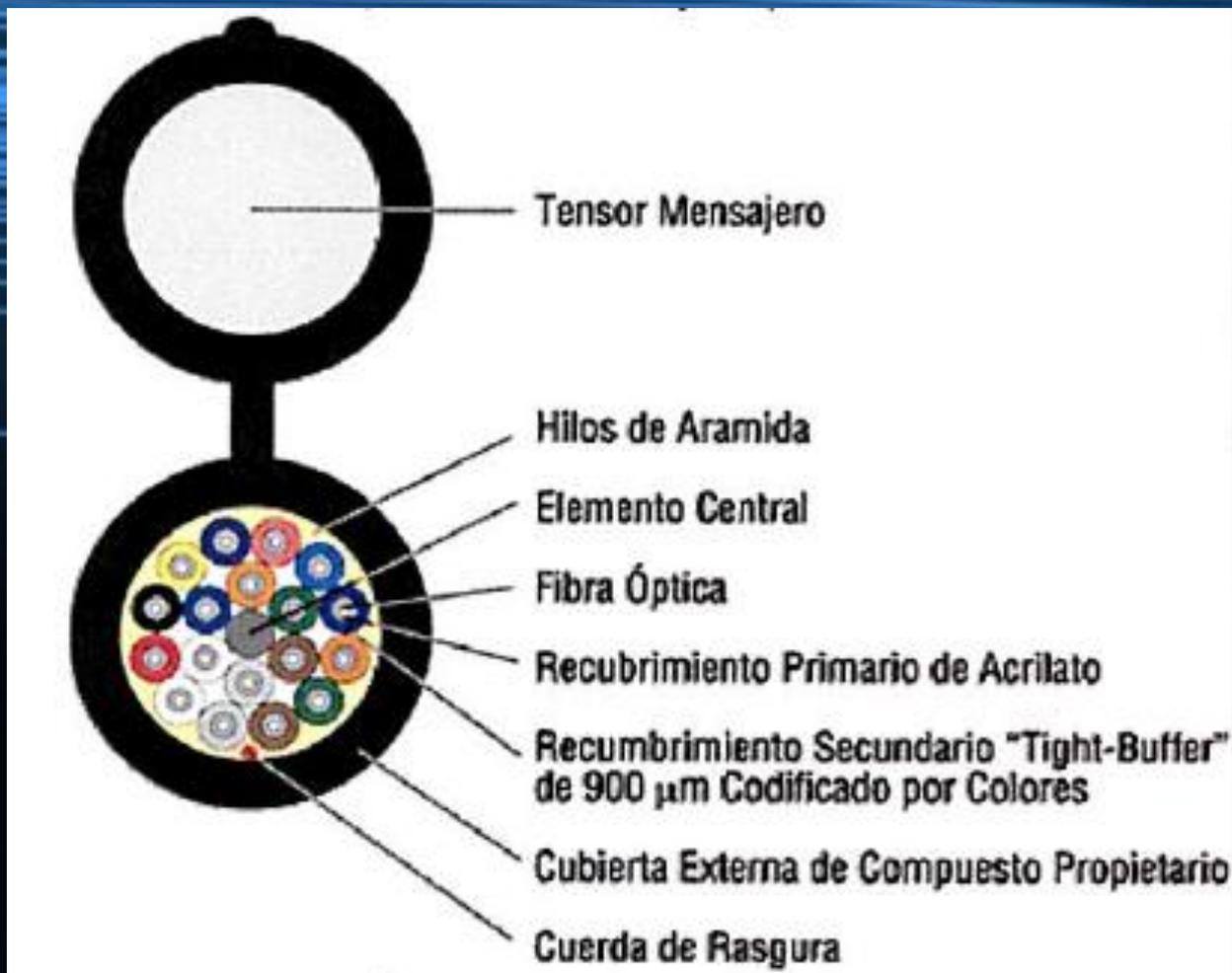
# Cables de fibra óptica

## Cables tipo buffer suelto



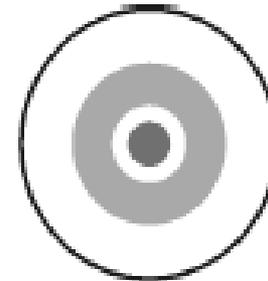
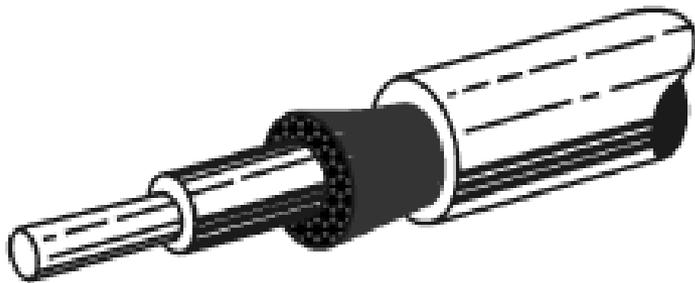
# Cables de fibra óptica

## Cables aereos

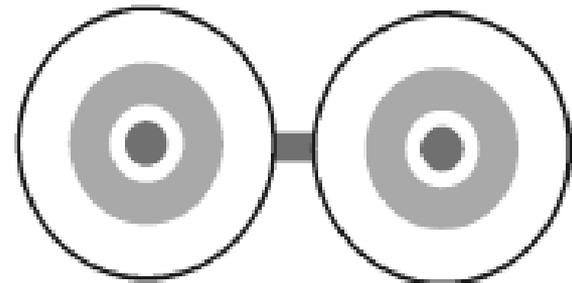
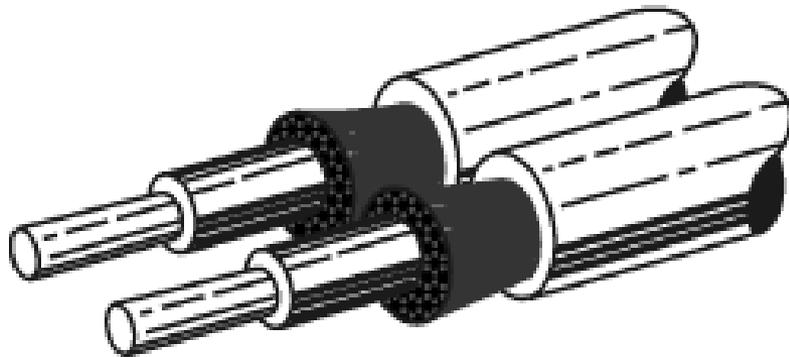


# Cables de fibra óptica

## *Cables tipo buffer ajustado*



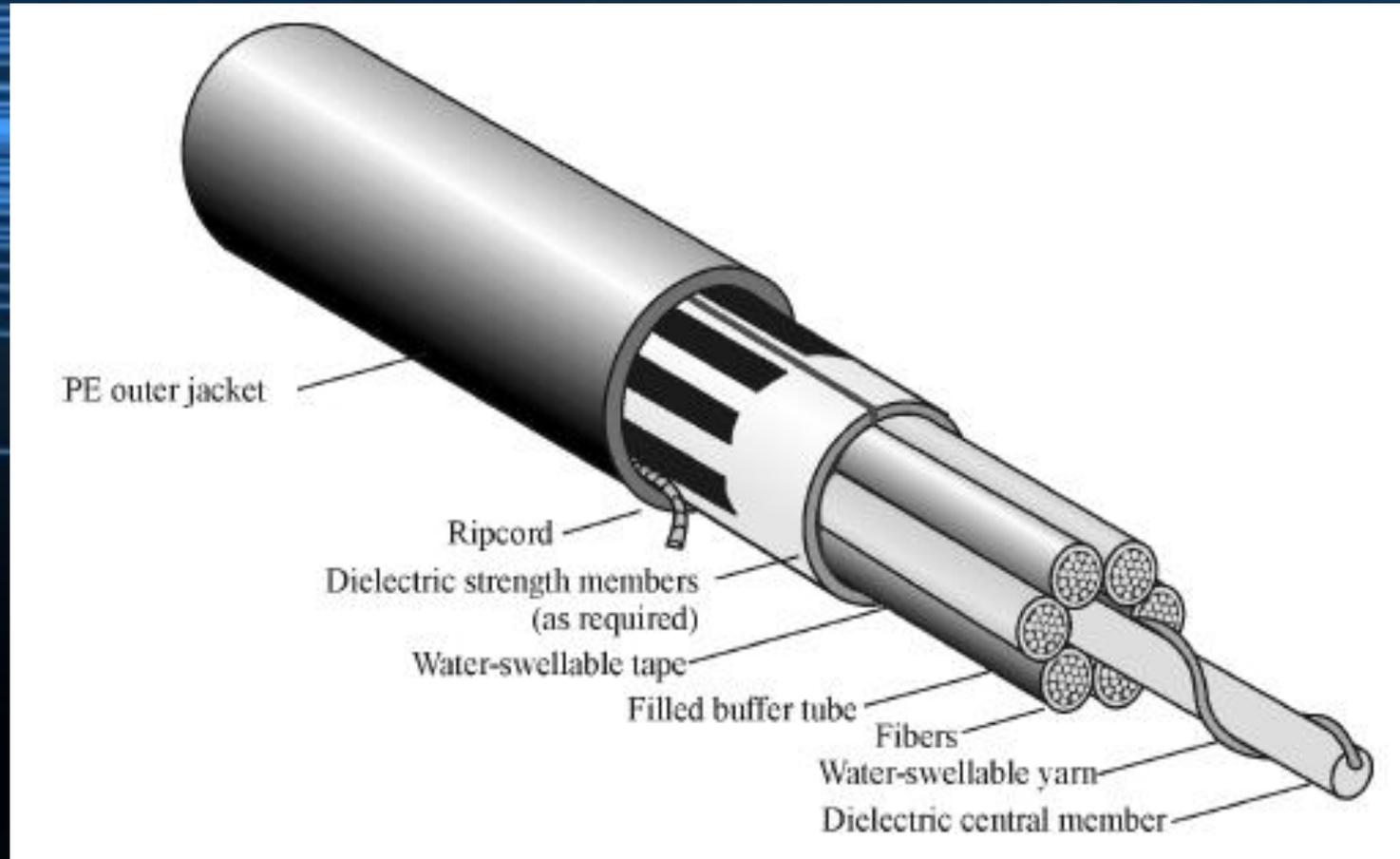
Simplex



Zipcord

# Cables de fibra óptica

## *Cables tipo Ribbon (o Cinta)*



# Cables de fibra óptica

## Fiber Number/ Bundle ID Chart

288 Fiber ct - 2 string/24 fiber tube ID

	blue	orange	green	brown	slate	white	red	black	yellow	violet	rose	aqua
blue	1	25	49	73	97	121	145	169	193	217	241	265
orange	2	26	50	74	98	122	146	170	194	218	242	266
green	3	27	51	75	99	123	147	171	195	219	243	267
brown	4	28	52	76	100	124	148	172	196	220	244	268
slate	5	29	53	77	101	125	149	173	197	221	245	269
white	6	30	54	78	102	126	150	174	198	222	246	270
red	7	31	55	79	103	127	151	175	199	223	247	271
black	8	32	56	80	104	128	152	176	200	224	248	272
yellow	9	33	57	81	105	129	153	177	201	225	249	273
violet	10	34	58	82	106	130	154	178	202	226	250	274
rose	11	35	59	83	107	131	155	179	203	227	251	275
aqua	12	36	60	84	108	132	156	180	204	228	252	276
d-blue	13	37	61	85	109	133	157	181	205	229	253	277
d-orange	14	38	62	86	110	134	158	182	206	230	254	278
d-green	15	39	63	87	111	135	159	183	207	231	255	279
d-brown	16	40	64	88	112	136	160	184	208	232	256	280
d-slate	17	41	65	89	113	137	161	185	209	233	257	281
d-white	18	42	66	90	114	138	162	186	210	234	258	282
d-red	19	43	67	91	115	139	163	187	211	235	259	283
d-black	20	44	68	92	116	140	164	188	212	236	260	284
d-yellow	21	45	69	93	117	141	165	189	213	237	261	285
d-violet	22	46	70	94	118	142	166	190	214	238	262	286
d-rose	23	47	71	95	119	143	167	191	215	239	263	287
d-aqua	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264	288

# Cables de fibra óptica

## Norma TIA-598-D

Table 1 - Individual fiber, unit, and group identification

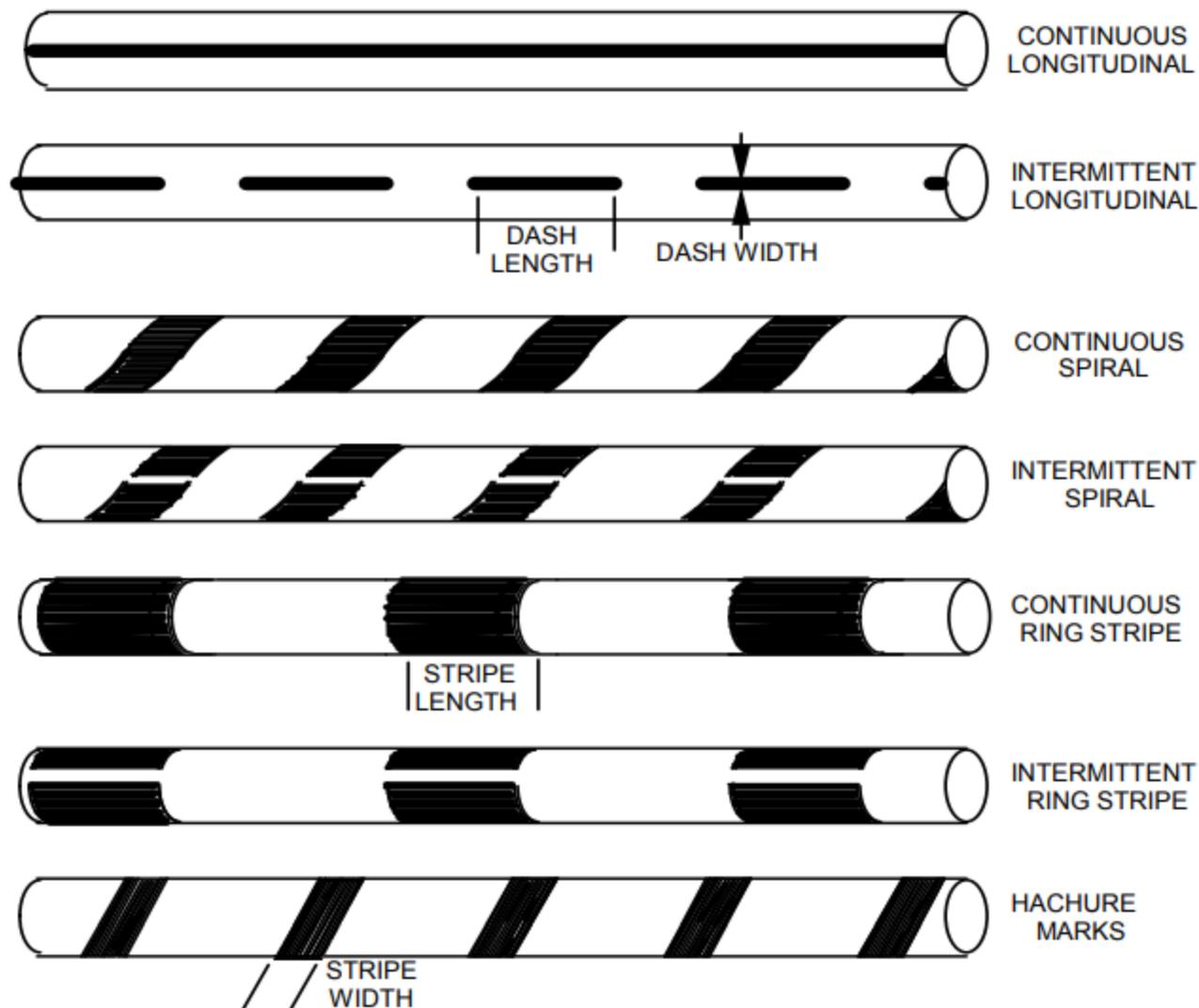
Position #	Base color/tracer per TIA/EIA	Abbreviation/print legend
1	Blue	1 or BL or 1-BL
2	Orange	2 or OR or 2-OR
3	Green	3 or GR or 3-GR
4	Brown	4 or BR or 4-BR
5	Slate	5 or SL or 5-SL
6	White	6 or WH or 6-WH
7	Red	7 or RD or 7-RD
8	Black	8 or BK or 8-BK
9	Yellow	9 or YL or 9-YL
10	Violet	10 or VI or 10-VI
11	Rose	11 or RS or 11-RS
12	Aqua	12 or AQ or 12-AQ
13	Blue with Black Tracer	13 or D/BL or 13-D/BL <sup>2)</sup>
14	Orange with Black Tracer	14 or D/OR or 14-D/OR
15	Green with Black Tracer	15 or D/GR or 15-D/GR
16	Brown with Black Tracer	16 or D/BR or 16-D/BR
17	Slate with Black Tracer	17 or D/SL or 17-D/SL
18	White with Black Tracer	18 or D/WH or 18-D/WH
19	Red with Black Tracer	19 or D/RD or 19-D/RD
20	Black with White Tracer <sup>1)</sup>	20 or D/BK or 20-D/BK
21	Yellow with Black Tracer	21 or D/YL or 21-D/YL
22	Violet with Black Tracer	22 or D/VI or 22-D/VI
23	Rose with Black Tracer	23 or D/RS or 23-D/RS
24	Aqua with Black Tracer	24 or D/AQ or 24-D/AQ
25	Blue with Double Black Tracer <sup>3)</sup>	25 or DD/BL or 25-DD/BL <sup>2)</sup>
26	Orange with Double Black Tracer	26 or DD/OR or 26-DD/OR
27	Green with Double Black Tracer	27 or DD/GR or 27-DD/GR
28	Brown with Double Black Tracer	28 or DD/BR or 28-DD/BR
29	Slate with Double Black Tracer	29 or DD/SL or 29-DD/SL
30	White with Double Black Tracer	30 or DD/WH or 30-DD/WH
31	Red with Double Black Tracer	31 or DD/RD or 31-DD/RD
32	Black with Double White Tracer <sup>1)</sup>	32 or DD/BK or 32-DD/BK
33	Yellow with Double Black Tracer	33 or DD/YL or 33-DD/YL
34	Violet with Double Black Tracer	34 or DD/VI or 34-DD/VI
35	Rose with Double Black Tracer	35 or DD/RS or 35-DD/RS
36	Aqua with Double Black Tracer	36 or DD/AQ or 36-DD/AQ
37 – 48	See Note 4.	See Note 4.

Table Notes follow.

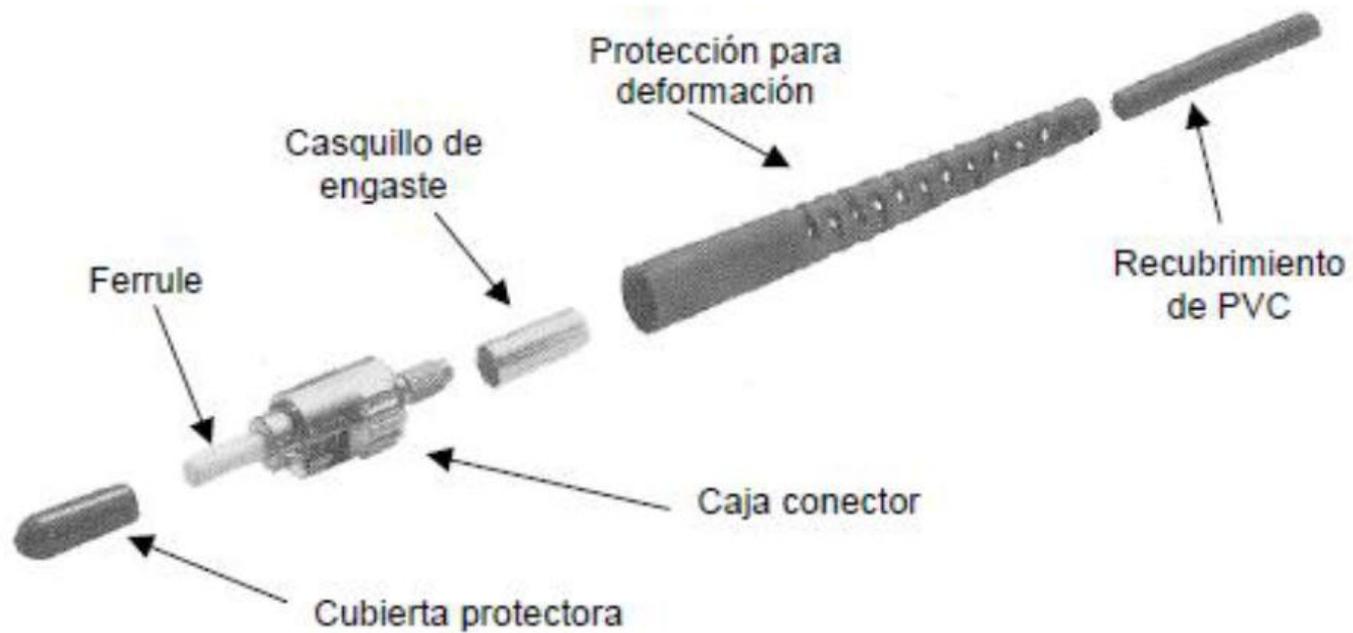
# Cables de fibra óptica

Identificación de cables por líneas trazos (Norma TIA-598-D)

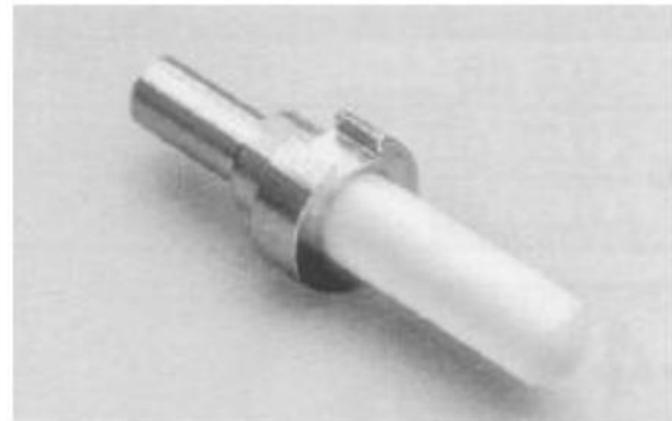
Figure 1 - Illustrations of tracer methods



# Conectores de fibra óptica



Ferrule metálica

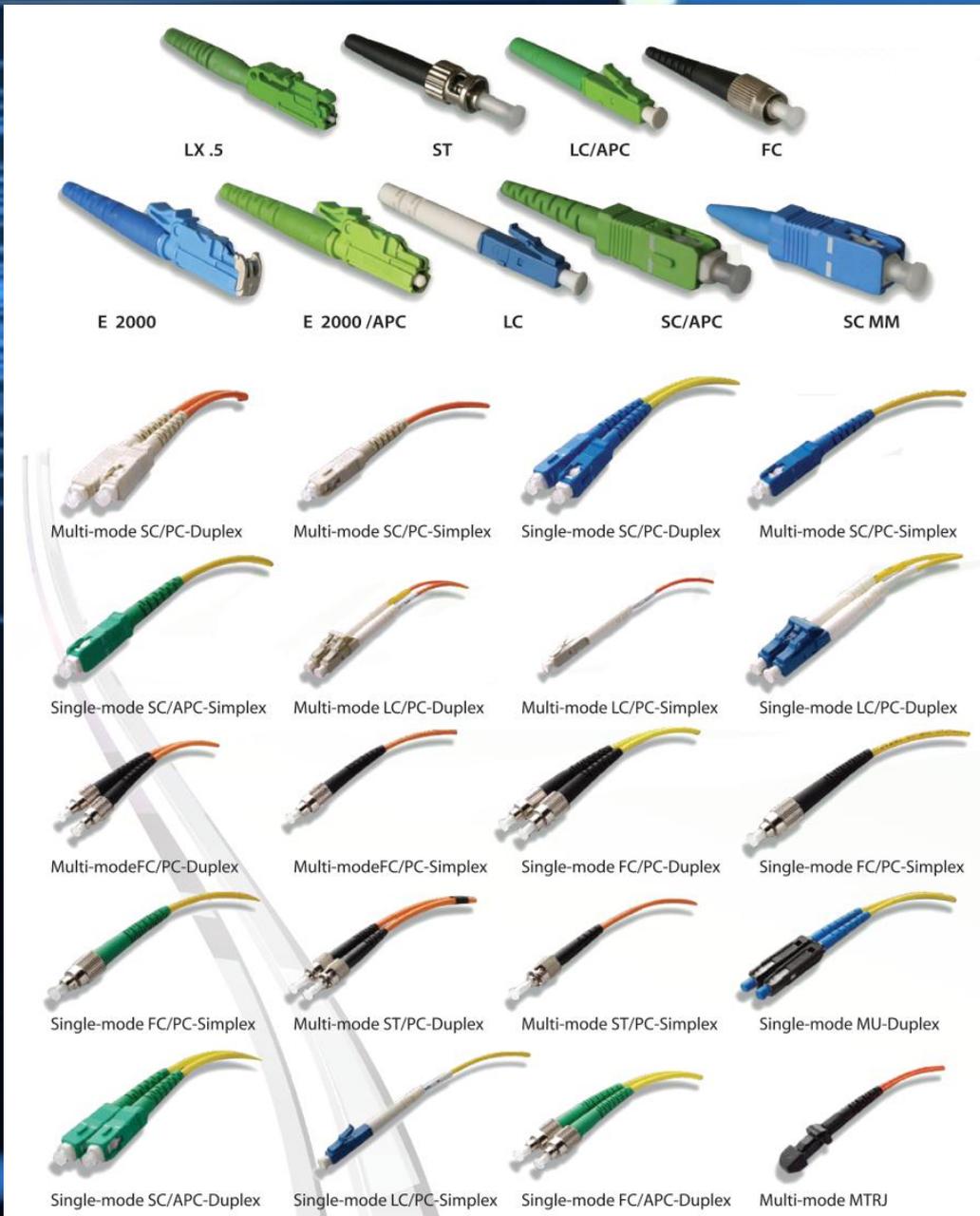


Ferrule cerámica

# Conectores de fibra óptica - Clasificación

	Connector Type	Coupling Type	Fiber Type	Polish	No. of Fibers	Typical Applications	Comment
	ST	Twist on	Single mode /Multimode	PC, UPC	1	LANs	Keyed
	FC	Screw on	Single mode /Multimode	PC, UPC, APC	1	Datacom, Telecommunications	Keyed
	SC	Snap on	Single mode /Multimode	PC, UPC, APC	1	CATV, Test Equipment	Keyed
	LC	Snap on RJ45 style	Single mode /Multimode	PC, UPC, APC	1	Gigabit Ethernet, Video Multimedia	Small Form Factor (SFF)
	MU	Push/Pull	Single mode /Multimode	PC, UPC, APC	1	Medical, Military	Small Form Factor (SFF)
	MT-RJ	Snap on RJ45 style	Single mode /Multimode	N/A	2	Gigabit Ethernet, Asynchronous Transmission Mode (ATM)	One of Mating Connectors must have Alignment Pins
	MPO (MTP)	Push/Pull	Single mode /Multimode	N/A	4, 8, 12, 16, 24	Active Device Transceiver, Interconnections for O/E Modules	One of Mating Connectors must have Alignment Pins

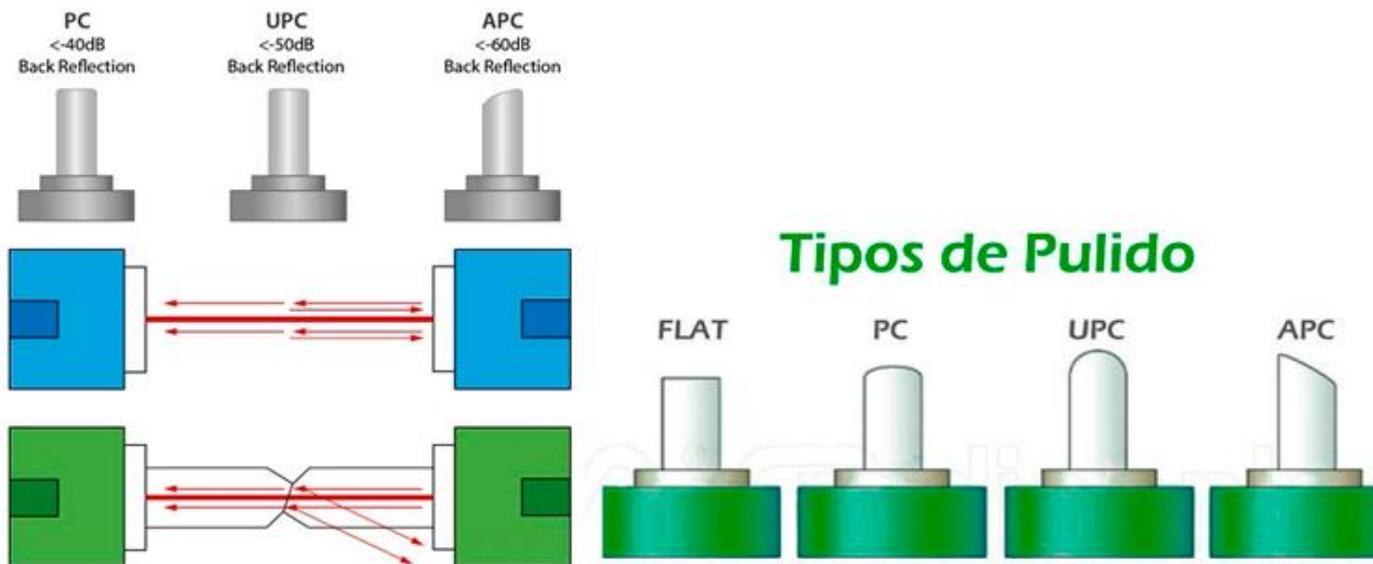
# Conectores de fibra óptica - Ejemplos



## Características del buen diseño del conector

- Baja pérdida de inserción
- Alta pérdida de retorno (bajas cantidades de reflexión en la interfaz)
- Facilidad de instalación
- Bajo costo
- Confiabilidad
- Baja sensibilidad ambiental
- Facilidad de uso

# Conectores de fibra óptica - Pulidos



Connector Insertion/Return Loss Specifications for SMF-28 Fiber

End Number	Connector	Insertion Loss (dB)	Typical Return Loss (dB)
2	ST	$\leq 0.5$	> 40
3	FC	$\leq 0.25$	> 50
4	SC	$\leq 0.25$	> 50
5	LC	$\leq 0.25$	> 40
6	FC/APC	$\leq 0.25$	> 60
7	SC/APC	$\leq 0.25$	> 60

## Optical Performance:

### Single Mode

Polish Type	Insertion Loss dB		Return Loss dB	
	Max	Typical	Min	Typical
<b>APC</b>	0.50	0.25	65.0	70.0
<b>UPC</b>	0.40	0.20	55.0	58.0
<b>Flat</b>	0.50	0.25	35.0	37.0

# Uniones de FO

---

Unión de 2 FO



*Problemas asociados a las dimensiones y fragilidad de la fibra*

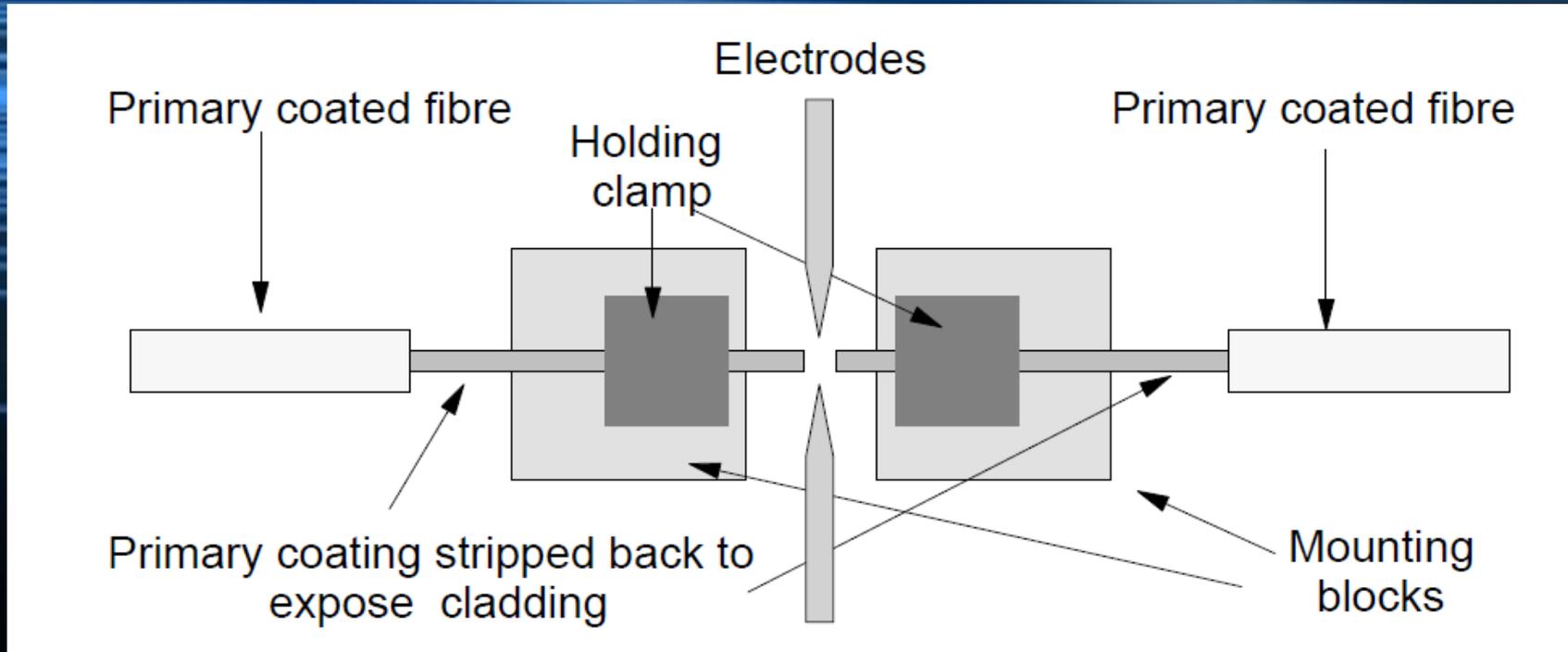
## Métodos de unión de las FO:

1. Unión por fusión.
2. Unión por pegamentos de matcheo de IR.
3. Conexiones mecánicas por medio de conectores.

# Uniones de FO

## Unión por fusión

Perdida de empalme < 0.1 dB



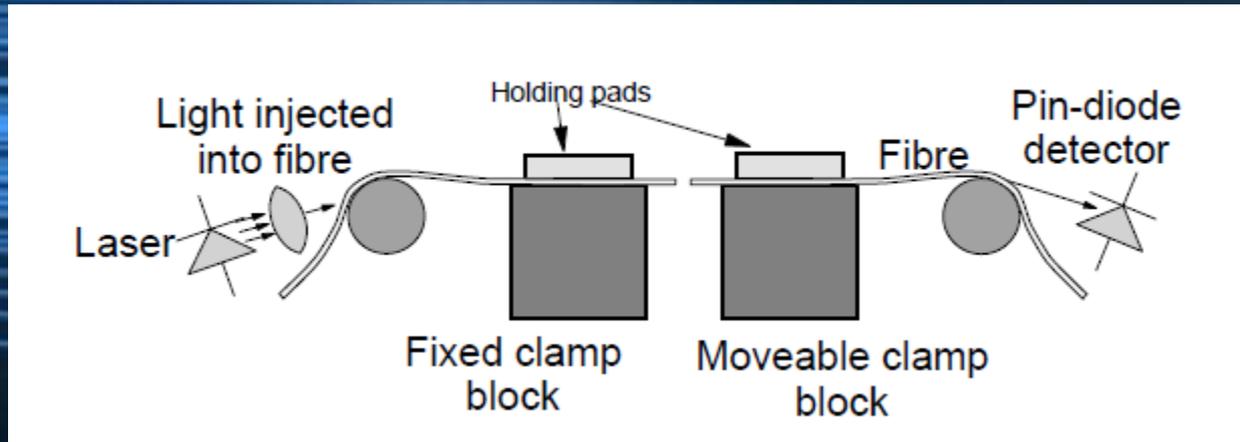
Puntos centrales de la fusión

Alineación del a fibra

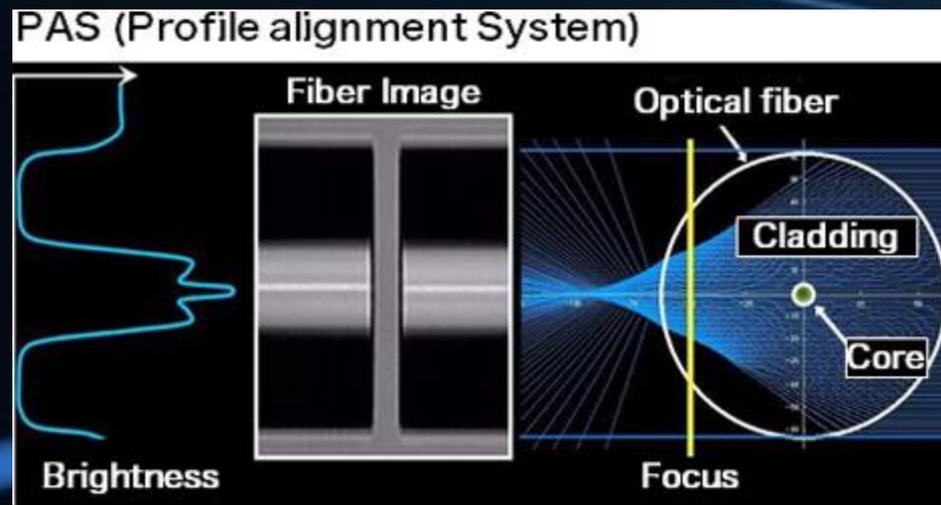
Ajuste de la temperatura

# Uniones de FO

## Alineación por realimentación óptica

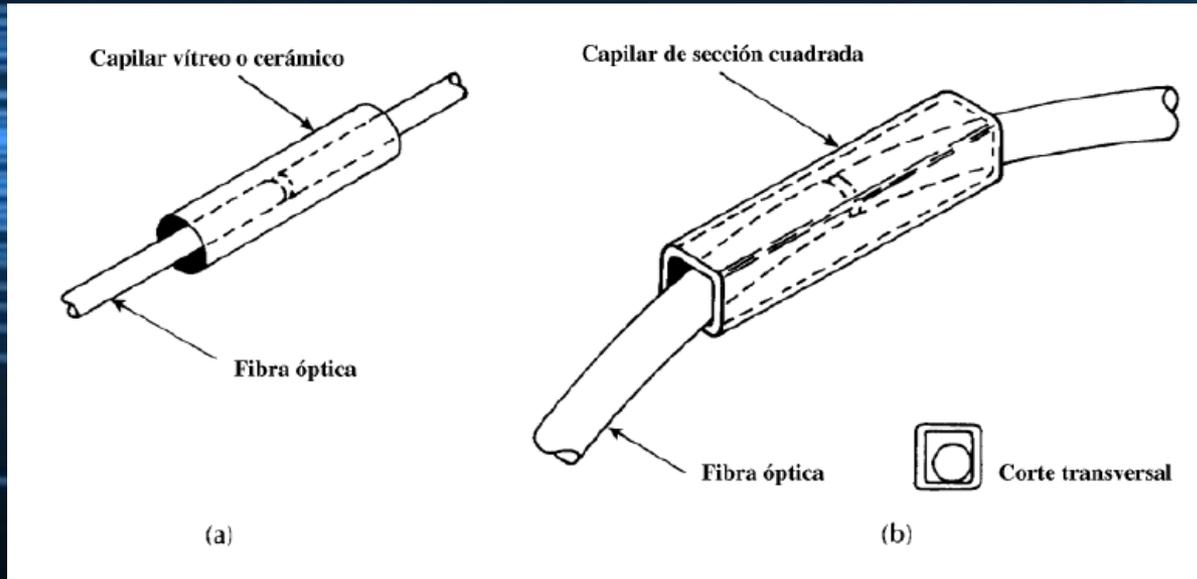


## Alineación por imágenes

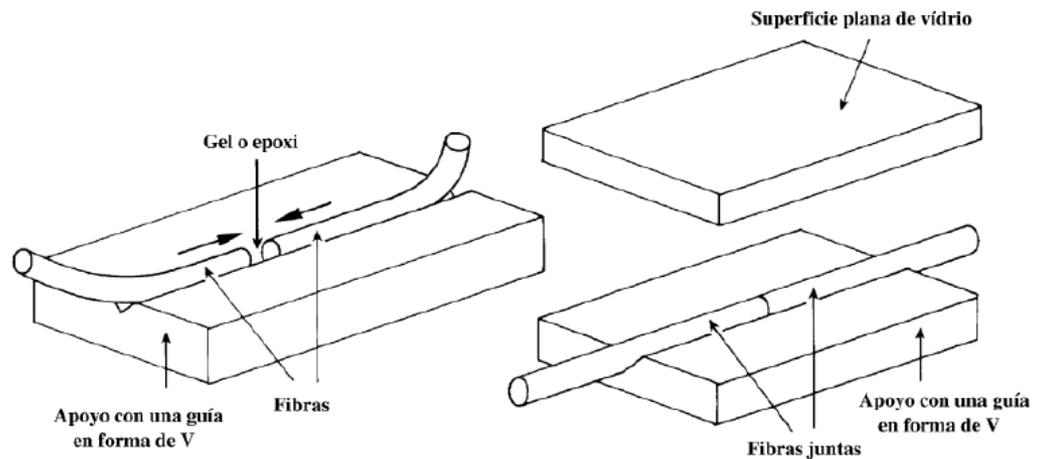


# Uniones de FO

## Unión por pegados con resinas con macheo de IR



## Alineación con rendijas V



# Perdidas y Dispersión

The background is a dark blue gradient with several bright blue, glowing lines that appear to be light trails or fiber optic paths. These lines are scattered across the frame, some horizontal and some diagonal. Small, bright white or light blue circular dots are also scattered throughout, some appearing to be at the end of the light trails.

# Perdidas en las uniones

---

Las pérdidas en las uniones de fibra se clasifican comúnmente en dos tipos:

1. Las pérdidas extrínsecas son aquellas causadas por factores relacionados al unir la fibra, pero no están relacionados con las propiedades de la fibra en sí.
2. Las pérdidas intrínsecas son pérdidas causadas por algunas propiedades inherentes a la construcción de la fibra

# Perdidas en las uniones

## Perdidas Extrinsecas



Longitudinal Misalignment



Lateral Misalignment



Fibre end not cut square



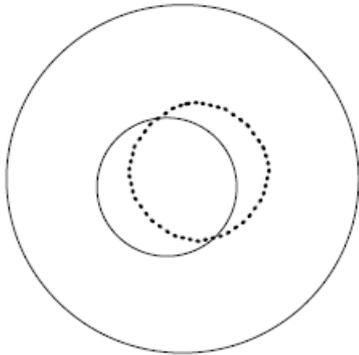
Angular Misalignment



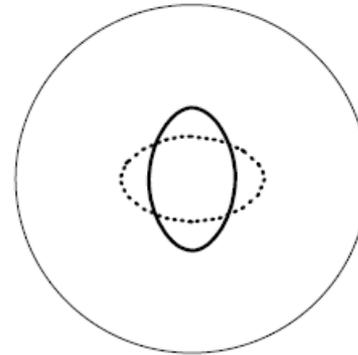
Fibre end irregular or rough

# Perdidas en las uniones

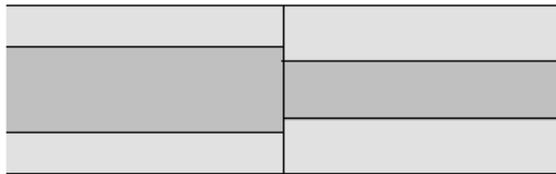
## Perdidas Intrínsecas



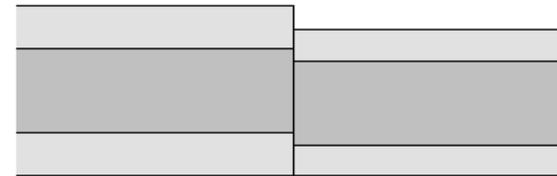
Core Concentricity



Core Shape (Ellipticity)



Core Diameter



Cladding Diameter

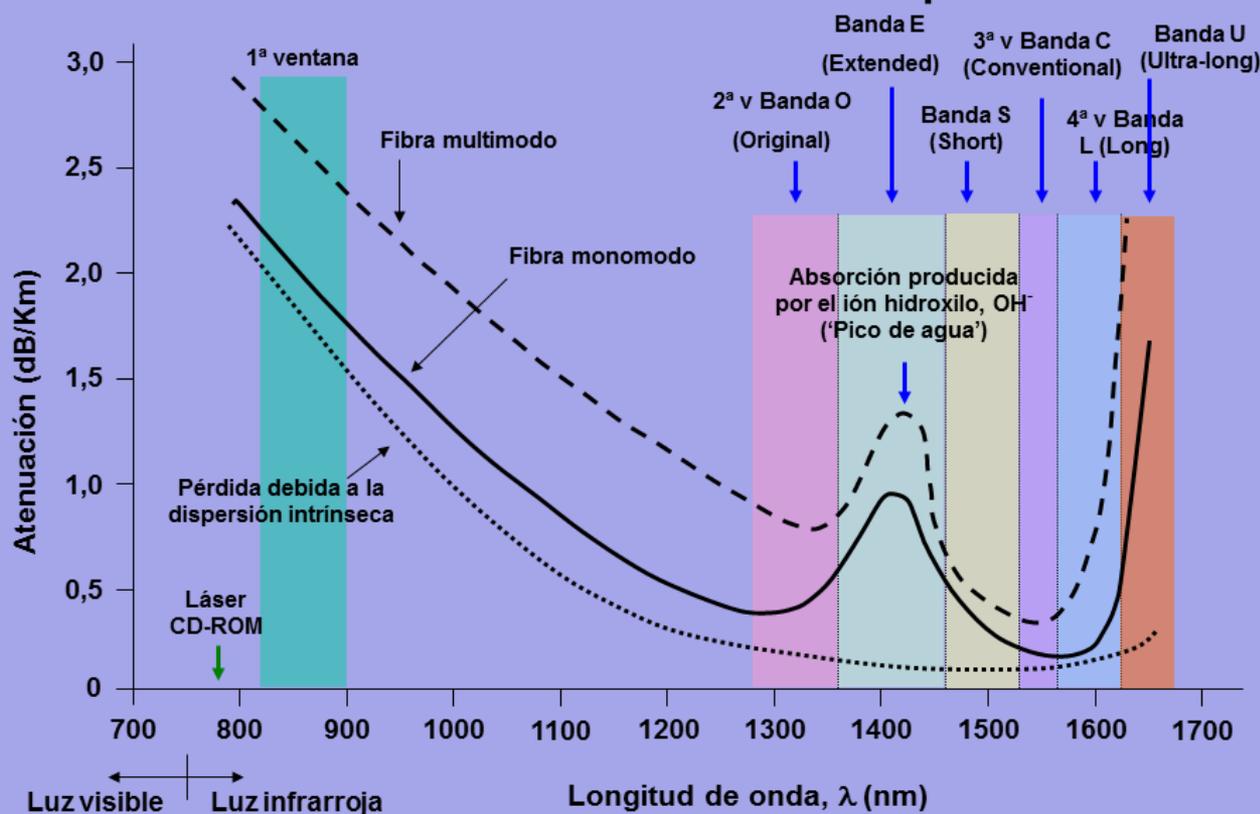
# Perdidas y Dispersión en la FO

Coeficiente de atenuación (por banda de frecuencias)



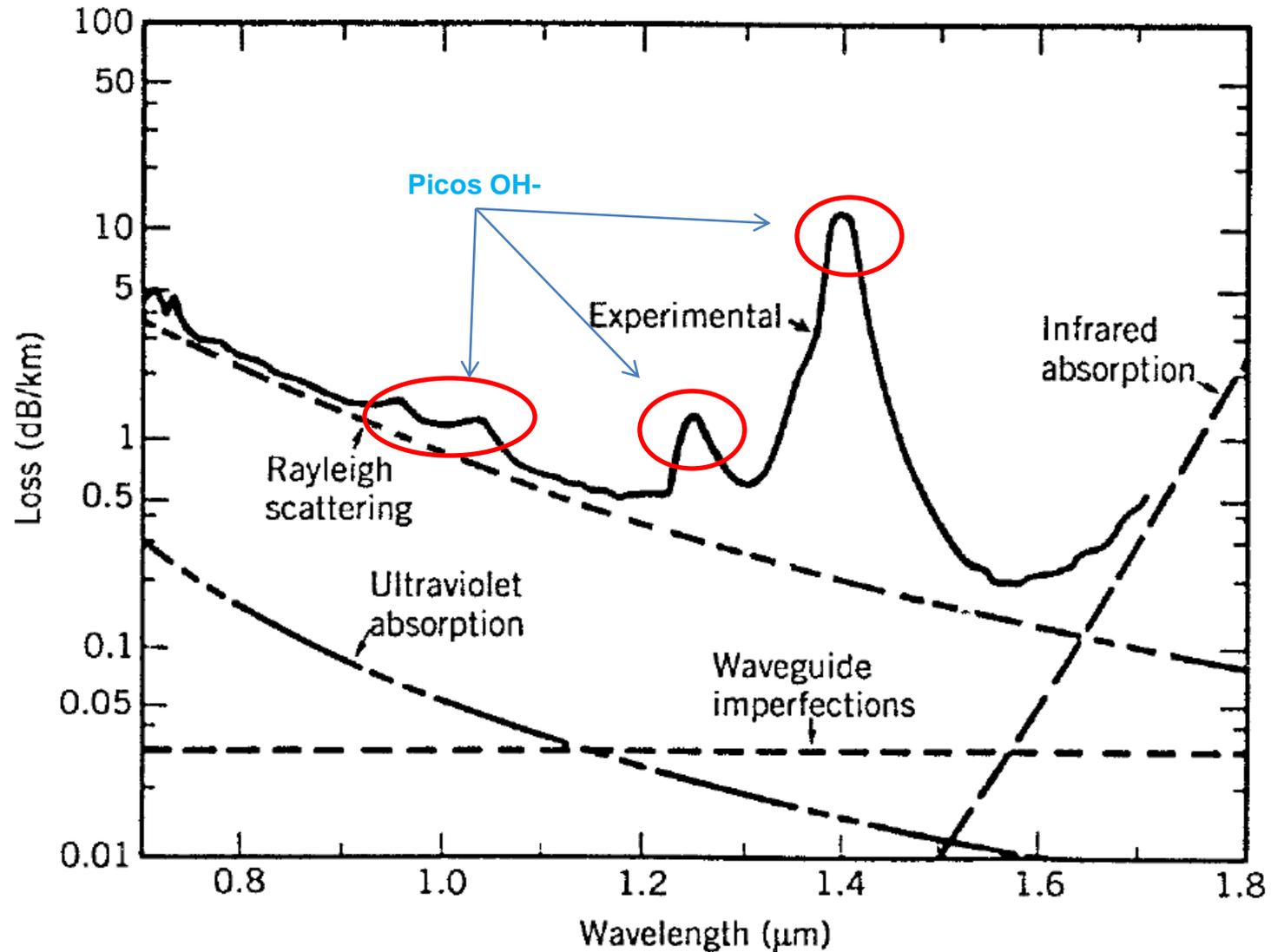
$$\alpha \text{ (dB/km)} = -\frac{10}{L} \log_{10} \left( \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \right)$$

## Atenuación de la fibra óptica

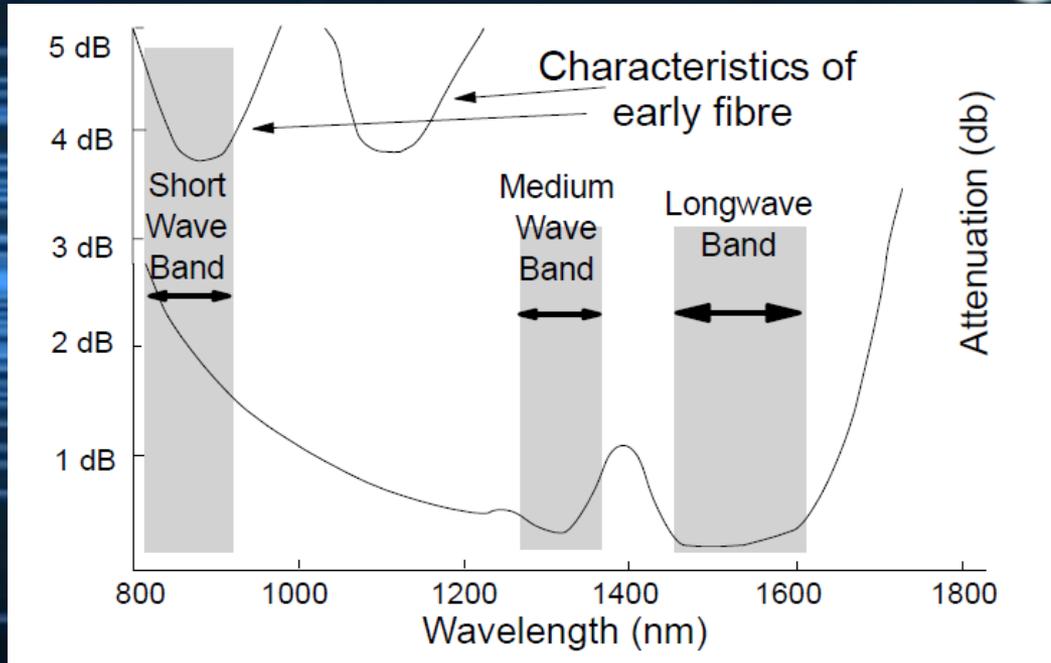


# Perdidas y Dispersión en la FO

## Espectro de absorción de una FO



# Perdidas y Dispersión en la FO



## Ventanas de Transmisión

Primera (o corta) ventana 800 a 900 nm  $\lambda$ , utilizada = 850nm  
- Ventana antigua, emisores/receptores de menor costo

Segunda (o media) ventana 1250 a 1350 nm,  $\lambda$  utilizada = 1310nm  
- Ventana mas moderna, menor atenuación (aprox 0.4 dB/km)

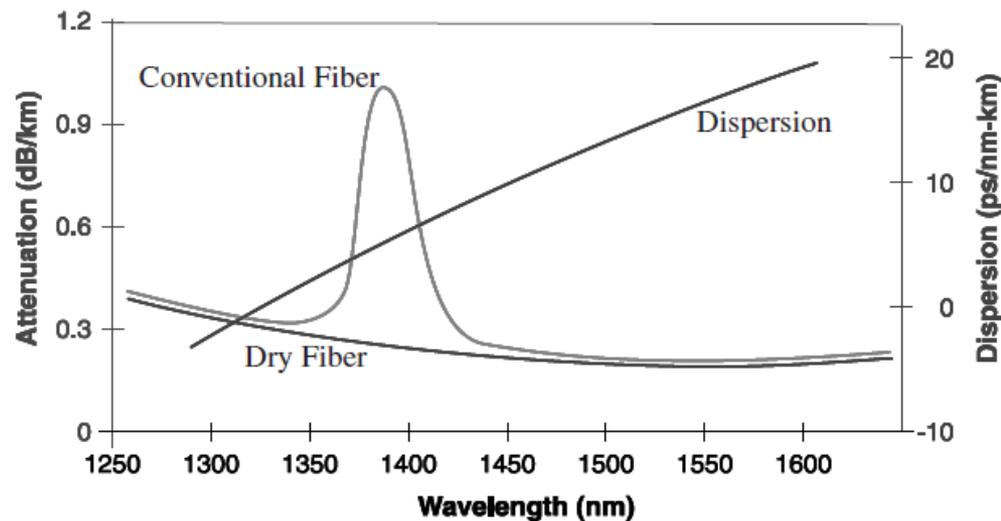
Tercera (u onda larga) ventana 1500 a 1600 nm,  $\lambda$  utilizada = 1550nm  
- Ventana de menor atenuación posible (0.26 dB/km o menos), mayor uso en sistemas actuales

# Perdidas y Dispersión en la FO

## Absorción Material

Las pérdidas por **absorción intrínseca** son consecuencia de las características microscópicas del sílice que compone las fibras.

Las moléculas de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) presentan resonancias electrónicas que ocurren en la región ultravioleta ( $\lambda < 400 \text{ nm}$ ), mientras que las resonancias vibracionales ocurren en la región infrarroja ( $\lambda > 700 \text{ nm}$ ). Debido a la naturaleza amorfa del sílice fundido, estas resonancias se presentan en forma de bandas de absorción cuyas colas se extienden hacia la región visible.



# Perdidas y Dispersión en la FO

La absorción extrínseca está relacionada con las pérdidas causadas por impurezas dentro de la sílice. Impurezas de metales de transición como Fe, Cu, Co, Ni, Mn y Cr absorben fuertemente en el rango de longitud de onda 0.6-1.6 $\mu$ m. Su cantidad debe reducirse a menos de 1 parte por billón para obtener una pérdida nivel por debajo de 1 dB / km, la cual puede obtenerse usando técnicas modernas.

La principal fuente de absorción extrínseca en las fibras actuales es la presencia de moléculas de agua. Una resonancia vibratoria del **ion OH- (oxidrilo)** ocurre cerca de 2730  $\mu$ m.

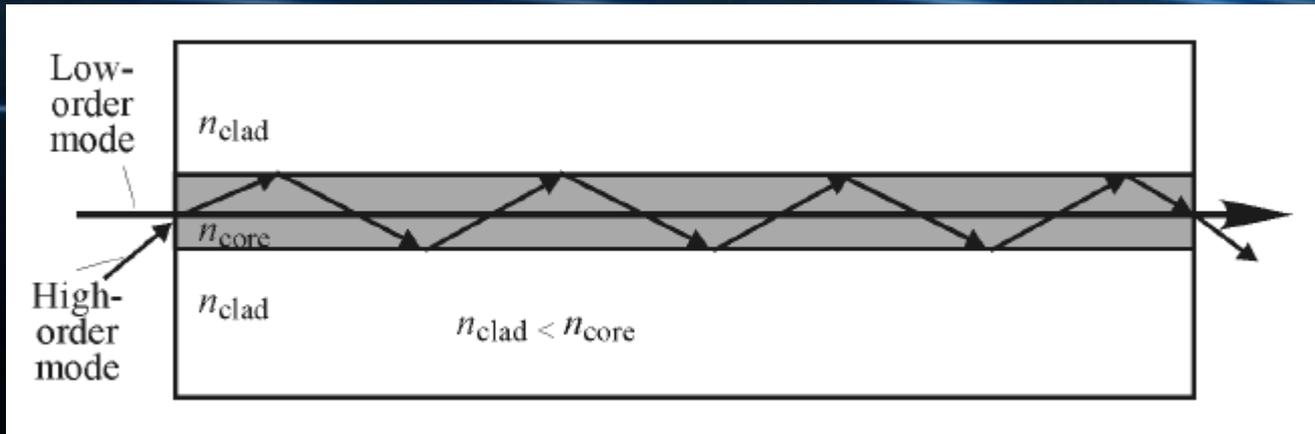
Sus tonos armónicos y combinados con el silice producen absorción en las longitudes de onda 1390, 1240 y 950 nm. Incluso una concentración de 1 parte por millón puede causar una pérdida de aproximadamente 50 dB/km a 1390 nm.

La concentración de iones OH- se reduce a menos de una parte por 100 millones en las fibras modernas para reducir el pico de 1390 nm por debajo de 1 dB/Km.

# Perdidas y Dispersión en la FO

## Dispersión Intermodal

La dispersión intermodal es el ensanchamiento de los pulsos ópticos causada por el retardo de tiempo entre los modos inferiores (modos o rayos que se propagan directamente a través de la fibra cerca del eje óptico) y los modos de orden superior (modos que se propagan en ángulos más pronunciados)



# Perdidas y Dispersión en la FO

## *Dispersión de Reyleight*

La dispersión de Rayleigh es un tipo de pérdida por dispersión que surge de la fluctuaciones locales microscópicas en la densidad del sílice.

Las moléculas se mueven aleatoriamente en estado fundido y se congelan en su lugar durante la fabricación de la fibra. Las fluctuaciones de densidad conducen a fluctuaciones aleatorias de el índice de refracción en una escala más pequeña que la longitud de onda ( $\lambda$ ) de la señal a transportar.

A este tipo de dispersión de la luz en tal medio se conoce como dispersión Rayleigh.

Dispersión Rayleigh

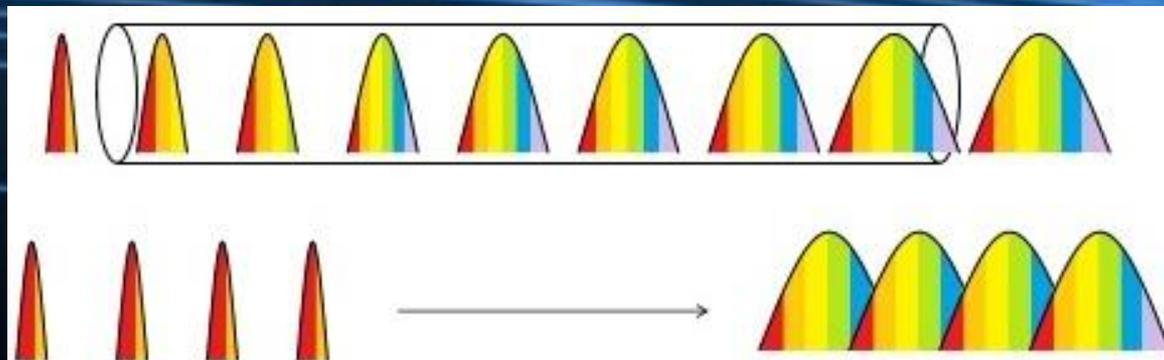
$$\alpha_R = C/\lambda^4$$

$$C = 0.7 \text{ a } 0.9 \text{ (dB/km)}\mu\text{m}^4$$

# Perdidas y Dispersión en la FO

## Dispersión Cromática

La dispersión cromática consiste en el ensanchamiento de los pulsos debido al hecho de que diferentes longitudes de onda de la luz se propagan a velocidades ligeramente diferentes a través de la fibra. La dispersión cromática se expresa típicamente en unidades de nanosegundos o picosegundos por (km-nm).



El índice de la refracción de la fibra depende de la longitud



Diferentes longitudes de onda se propagan a Diferentes velocidades

# Perdidas y Dispersión en la FO

## Dispersión Cromática

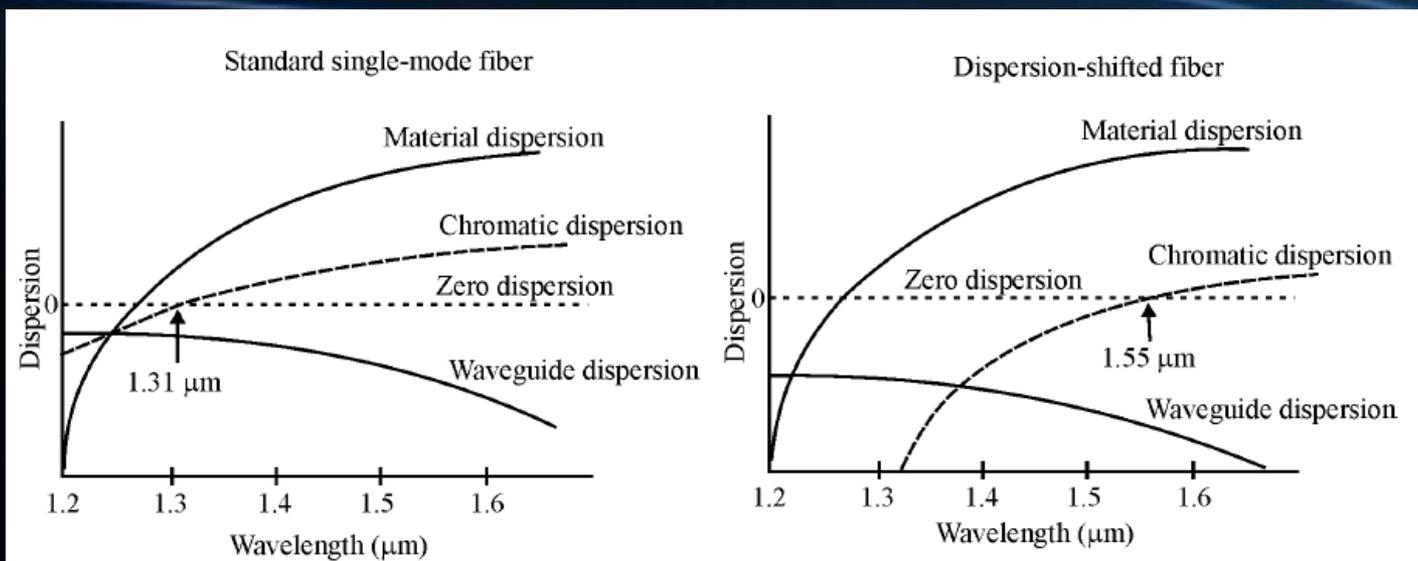
Dispersión  
Material



Dispersión  
de la guía  
de Onda



Dispersión  
Cromática



# Perdidas y Dispersión en la FO

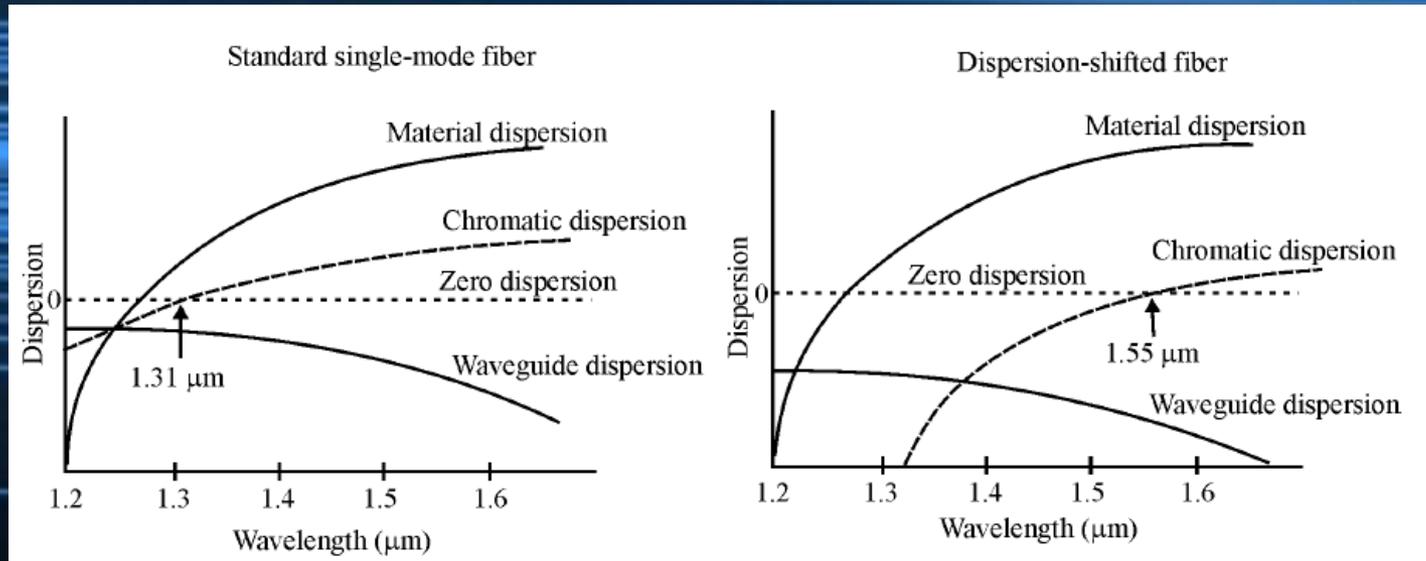
Cancelación de la dispersión Cromática



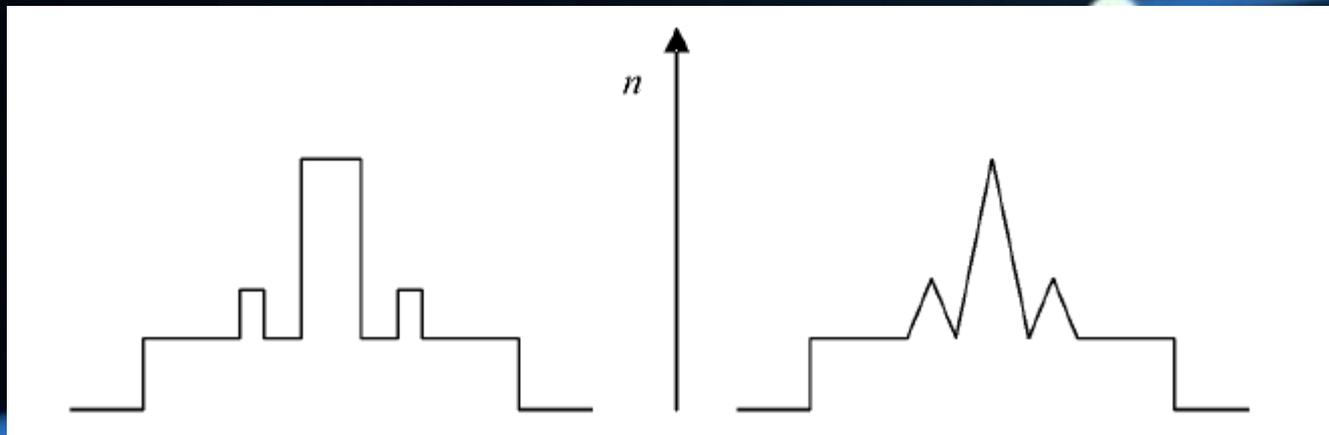
Fibra de dispersión 0 desplazada



Perfiles de IR complejos (ej: perfil "W")

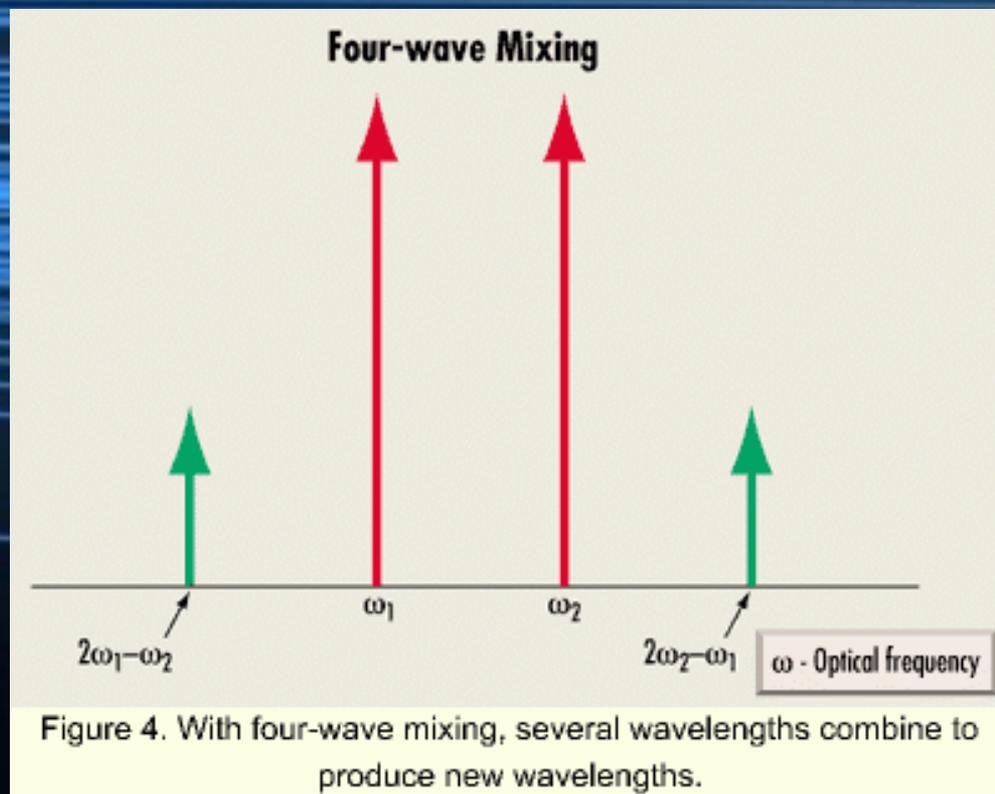


Perfiles "W" (cuadrado y triangular)



# Perdidas y Dispersión en la FO

## Problema Mezcla de 4ta longitud de onda



Fibra de dispersión  
NO-0 desplazada  
(NZDSF)



Se obtiene en 1550 Nm una  
dispersión NO igual a 0 para  
disminuir el problema

# Perdidas y Dispersión en la FO

## *Imperfecciones de guía de onda*

### Imperfecciones en la relación Núcleo-Recubrimiento

Variaciones aleatorias del radio del núcleo puede llevar a pérdidas adicionales que contribuyen a la pérdida neta de fibra. El proceso físico detrás de tales pérdidas se denomina dispersión Mie, y se produce debido a inhomogeneidades de IR en una escala más larga que la longitud de onda propagada.

Generalmente se toma cuidado para asegurar que el radio del núcleo no varíe significativamente a lo largo de la longitud de la fibra durante la fabricación.

Tales variaciones se pueden mantener por debajo del 1%, y la pérdida de dispersión resultante suele ser inferior a 0,03 dB/km.

# Perdidas y Dispersión en la FO

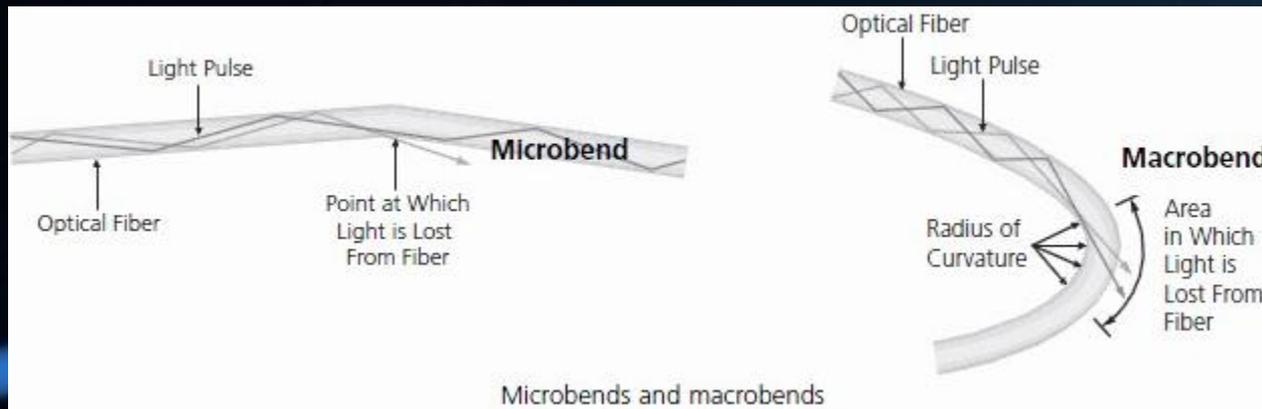
## Microcurvaturas

Las curvas en la fibra constituyen otra fuente de pérdida por dispersión.

La pérdida por curvatura es proporcional a  $\exp(-R / R_c)$ , donde  $R$  es el radio de curvatura y  $R_c = 0.2-0.4 \mu\text{m}$  típicamente, y la pérdida por flexión es despreciable ( $<0.01 \text{ dB / km}$ ) para el radio de curvatura  $R > 5 \text{ mm}$ . Ya que la mayoría Las curvas macroscópicas exceden  $R = 5 \text{ mm}$ , las pérdidas de curvaturas son insignificantes en la práctica.

Una fuente importante de pérdida de fibra, particularmente en forma de cable, está relacionada con distorsiones axiales que ocurren invariablemente durante el cableado cuando la fibra se presiona contra una superficie que no es perfectamente lisa.

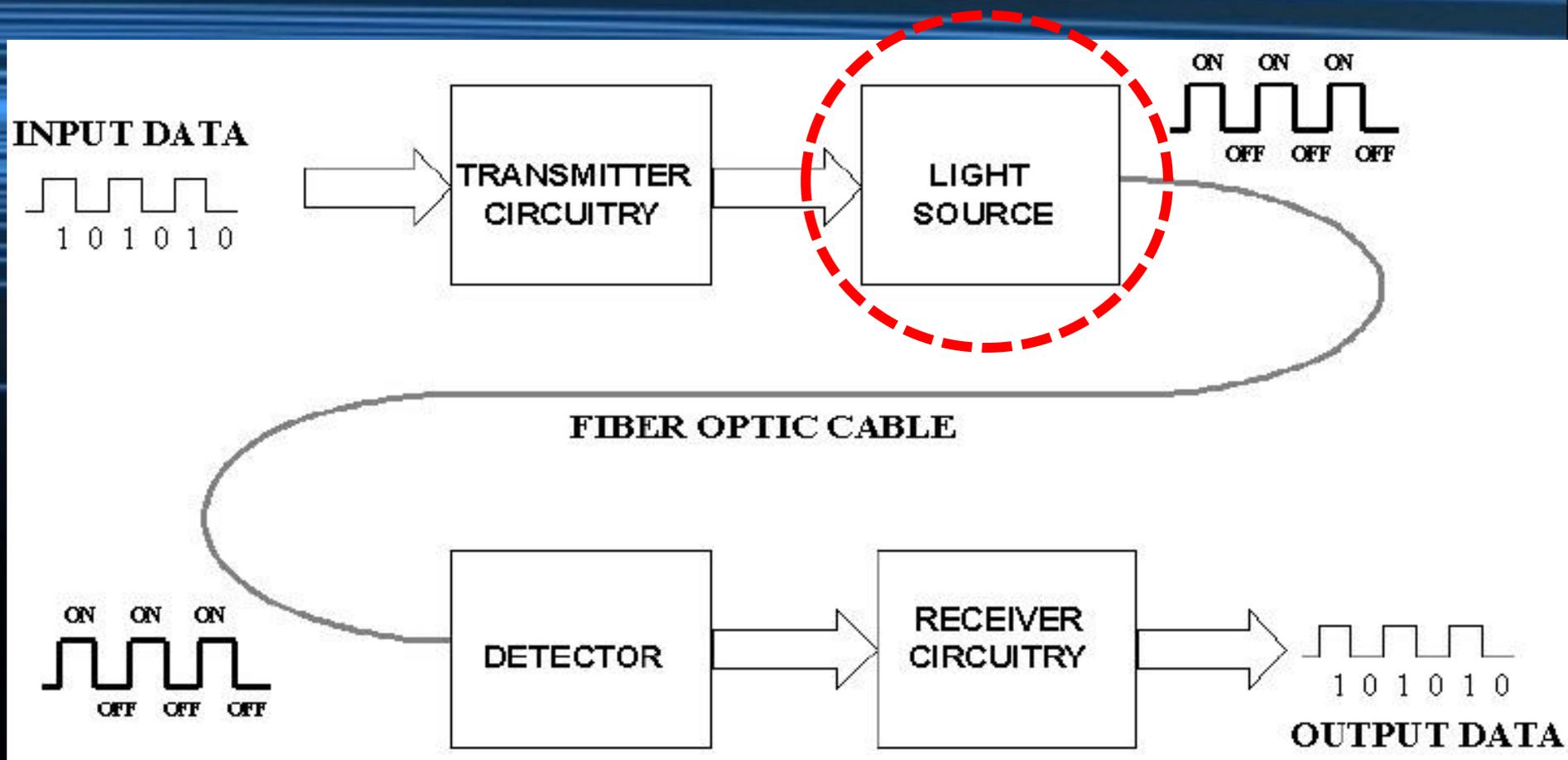
Dichas pérdidas se conocen como pérdidas de **microcurvaturas**. Estas provocan un aumento de la pérdida en las fibras multimodo y monomodo y puede dar como resultado pérdidas enormes ( $\sim 100 \text{ dB/km}$ ) si no se toman precauciones para minimizarlas.



# Emisores ópticos

The background features a dark blue gradient with numerous thin, parallel blue lines that create a sense of depth and movement. Scattered throughout are several bright white circular dots, some of which appear to be part of the blue lines, suggesting a network or data flow.

# Emisores Ópticos



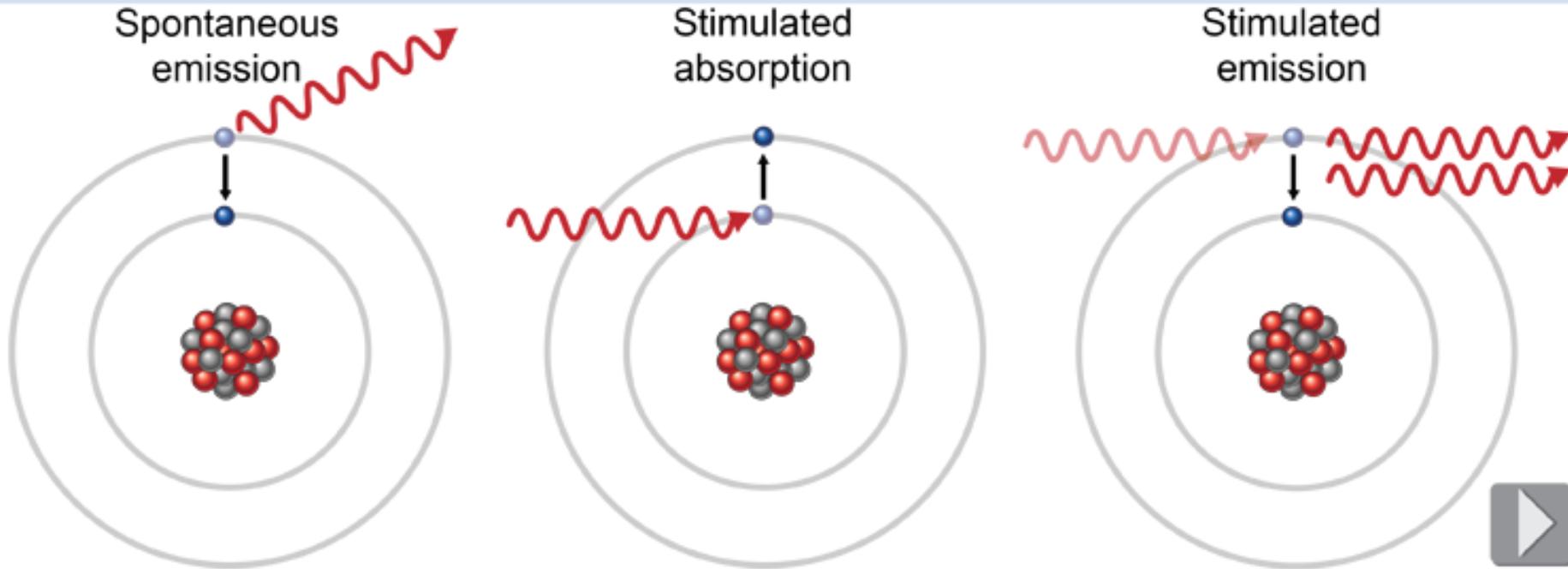
# Emisores Ópticos



# Emisores Ópticos

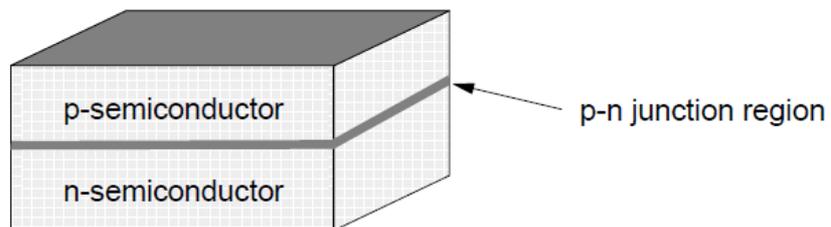
## *Emisión Espontanea* Vs *Emisión Estimulada*

How stimulated emission works in a laser

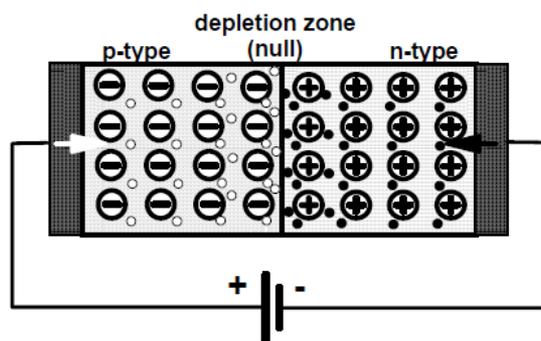


# Emisores Ópticos - LED

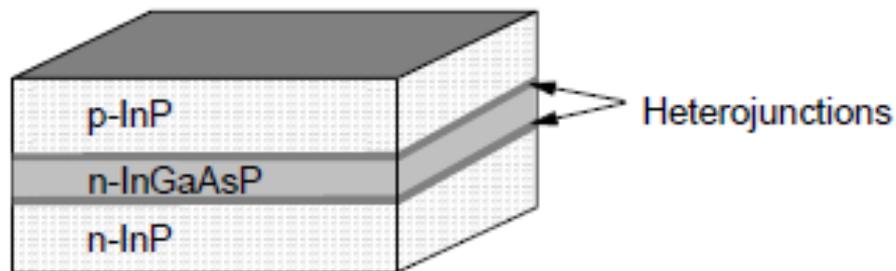
## Didodos Emisores de Luz (LED)



*Juntura semiconductor p-n →  
Base constructiva del diodo LED*



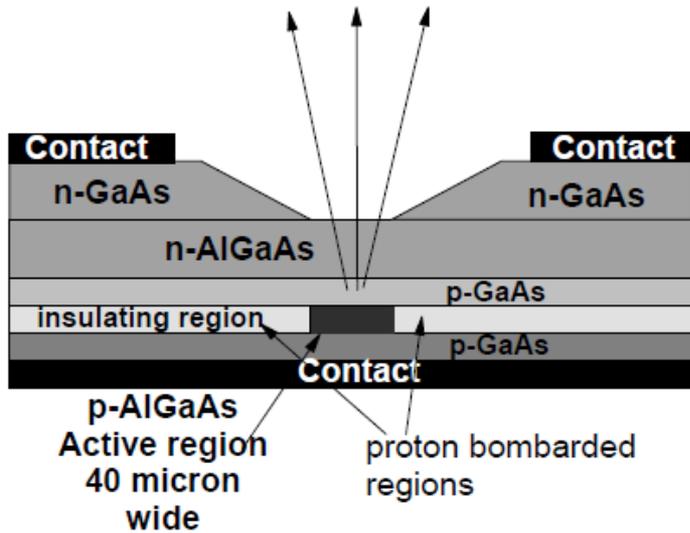
Forward Bias  
(device conducts)



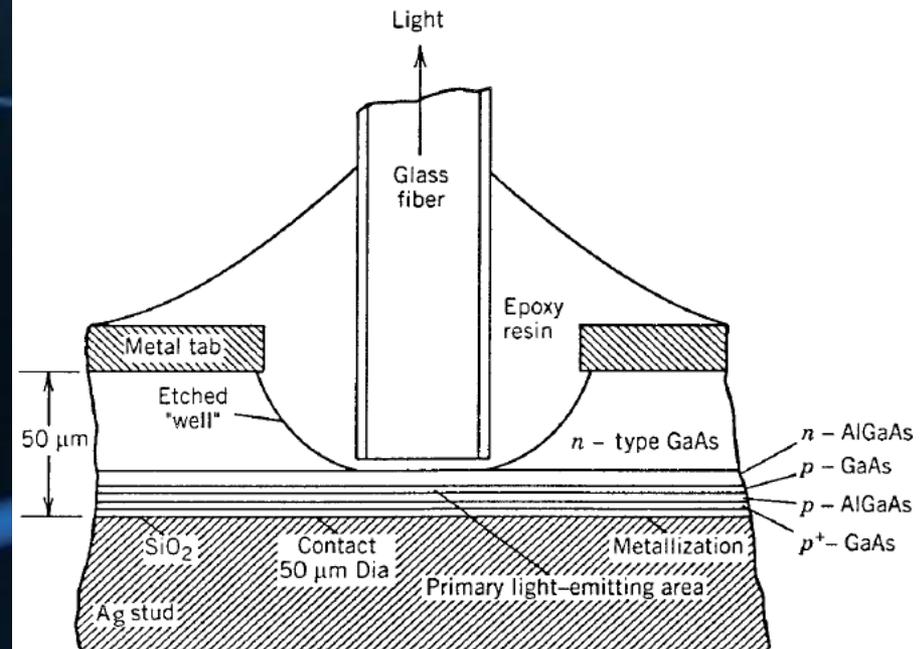
*Principio de funcionamiento:  
recombinación en la juntura*

# Emisores Ópticos - LED

## LED emisor de superficie

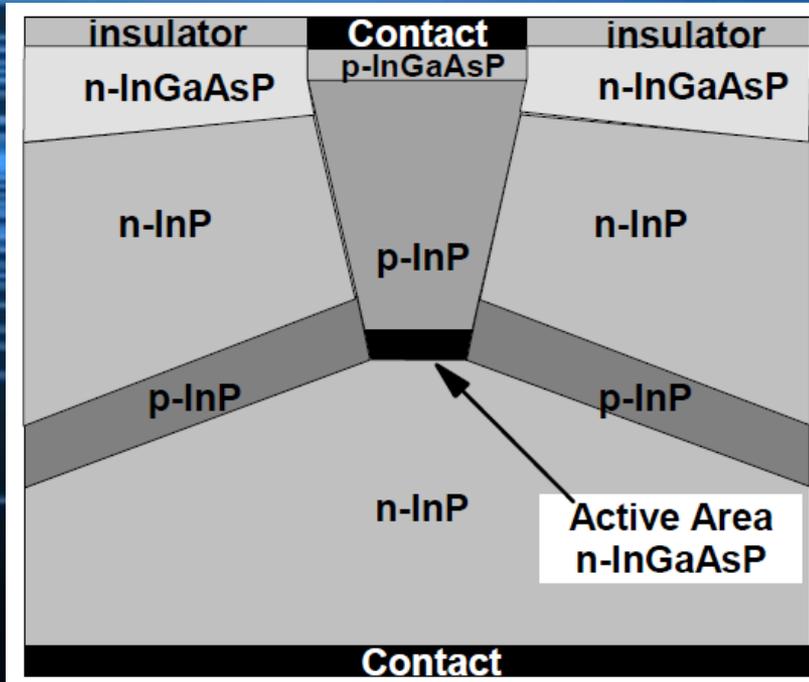


*Corte de un emisor LED real*

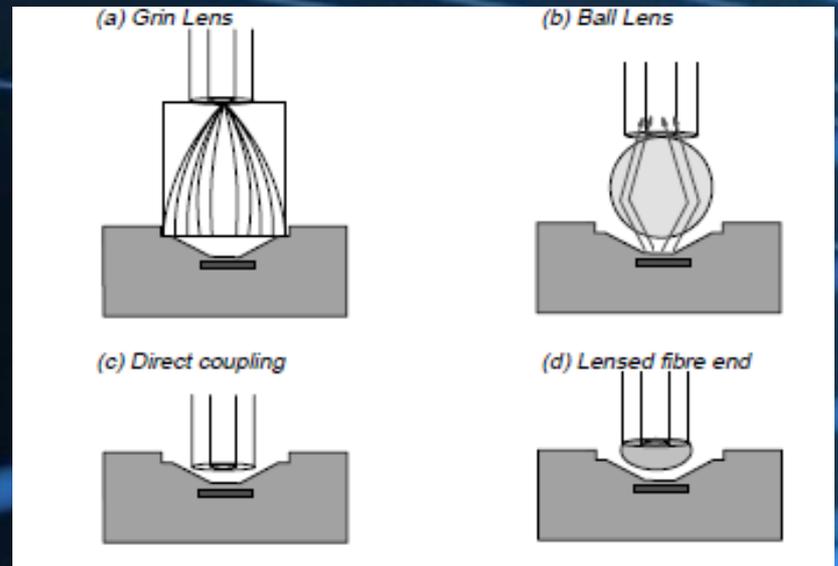


# Emisores Ópticos - LED

## LED emisor de Borde



## Acoplamiento LED - Fibra



## Características de los emisores LED:

1. **Bajo costo.**
2. **Baja potencia.**
3. **Ancho espectral relativamente amplio.**
4. **Generación de luz incoherente.**
5. **Modulación analógica sencilla.**
6. **Modulación digital muy limitada en velocidad.**

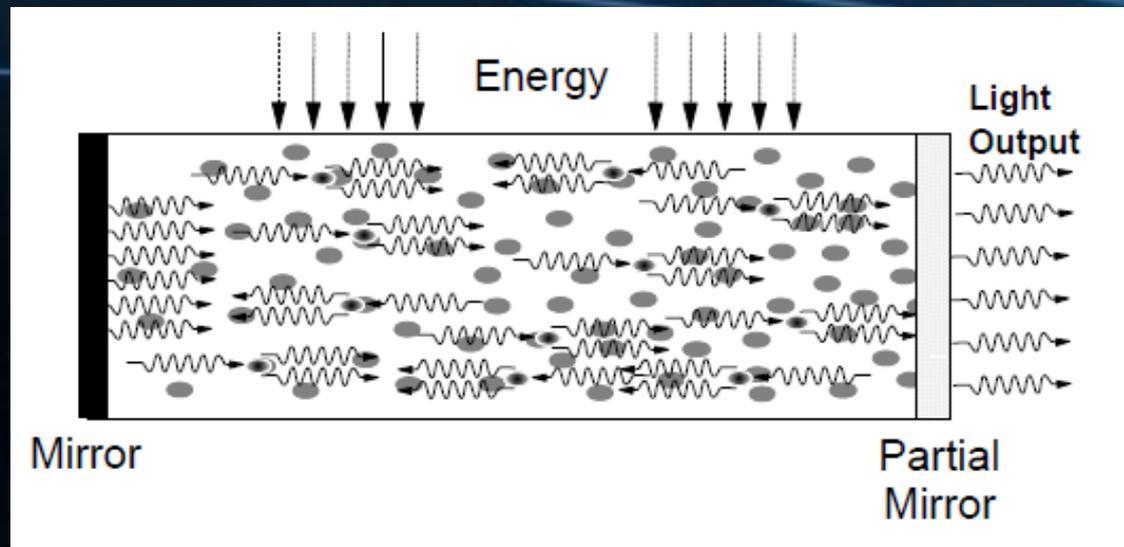
# Emisores Ópticos - LASER

## EMISIÓN LASER

Inversión de  
población

Emisión  
espontánea

Reflexiones  
sucesivas



*Principio de funcionamiento de  
un LASER*

# Emisores Ópticos - LASER

## Ventajas los emisores LASER:

- 1. Generan Luz coherente (misma dirección y fase).**
- 2. Alta potencia.**
- 3. Ancho espectral relativamente angosto.**
- 4. Modulación digital de alta velocidad.**
- 5. Gran transferencia de luz hacia la fibra.**

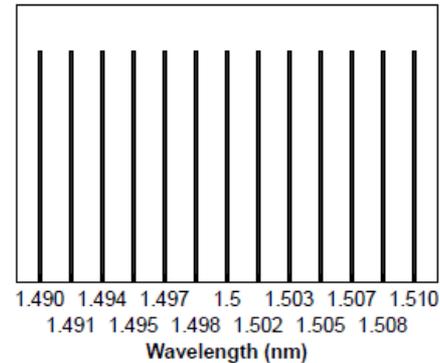
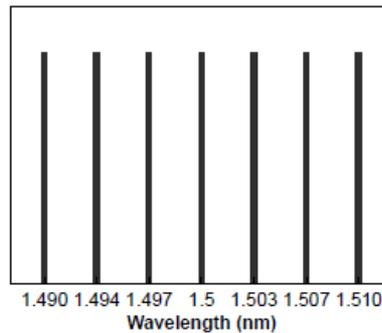
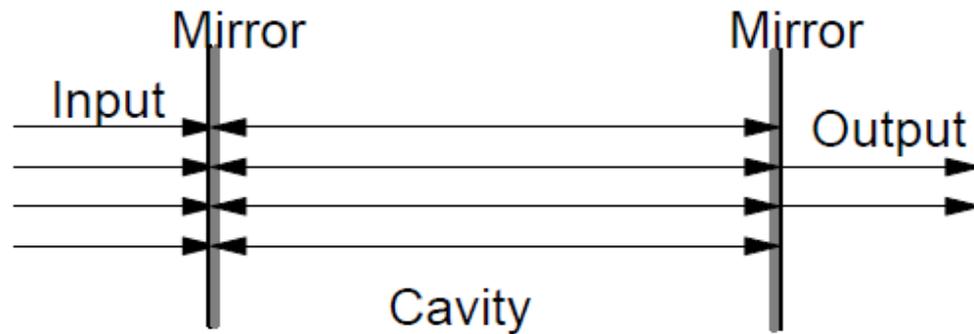
## Desventajas los emisores LASER:

- 1. Control de temperatura y potencia elevan los costos.**
- 2. Poca flexibilidad de variación en la longitud de onda.**
- 1. Modulación analógica compleja.**

# Emisores Ópticos - Laser

## "Fabry-Perot" laser

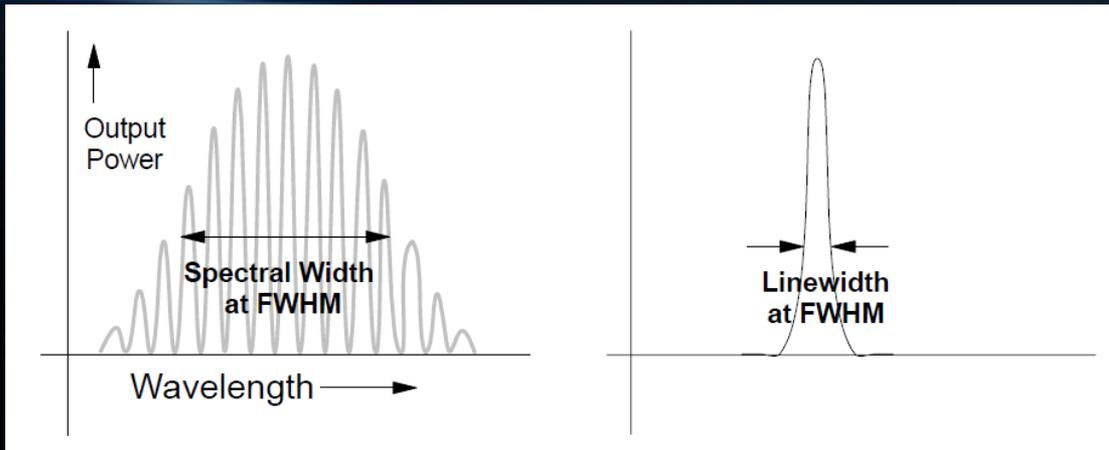
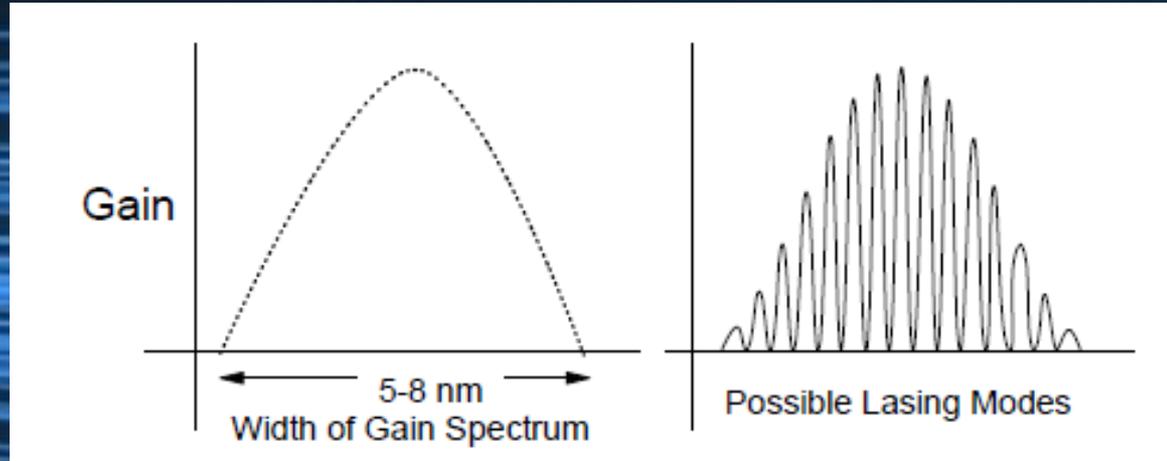
*Laser cuya fuente de luz es un semiconductor LED, que posee una cavidad resonante relativamente corta (entre 100 y 200  $\mu\text{M}$ )*



Frecuencias resonantes alrededor de 1550 nm en una laser para 2 cavidades de 100 y 200  $\mu\text{M}$ .

# Emisores Ópticos - Laser

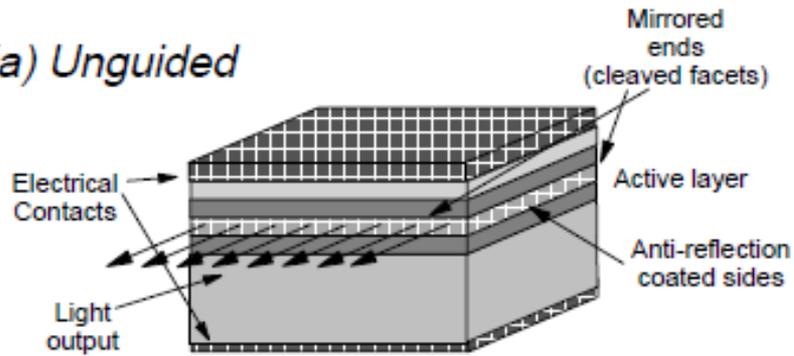
*Ganancia de la cavidad resonante + frecuencias resonantes = Espectro de frecuencias del laser*



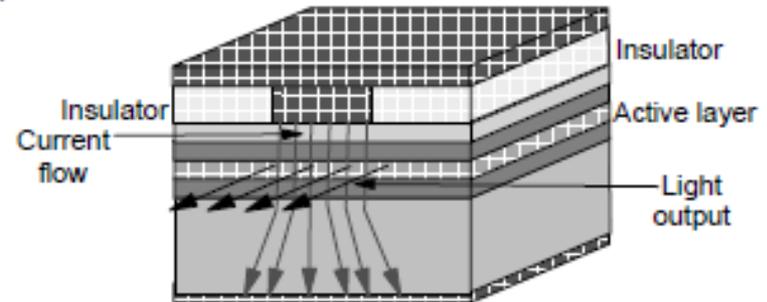
*Ancho espectral y ancho de linea*

# Emisores Ópticos - Laser

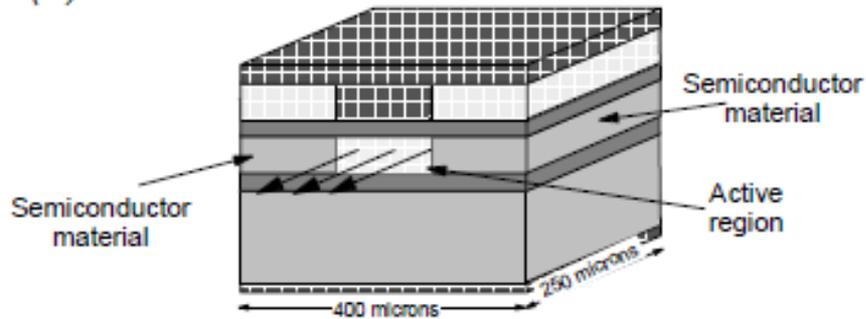
(a) Unguided



(b) Gain Guided



(c) Index Guided



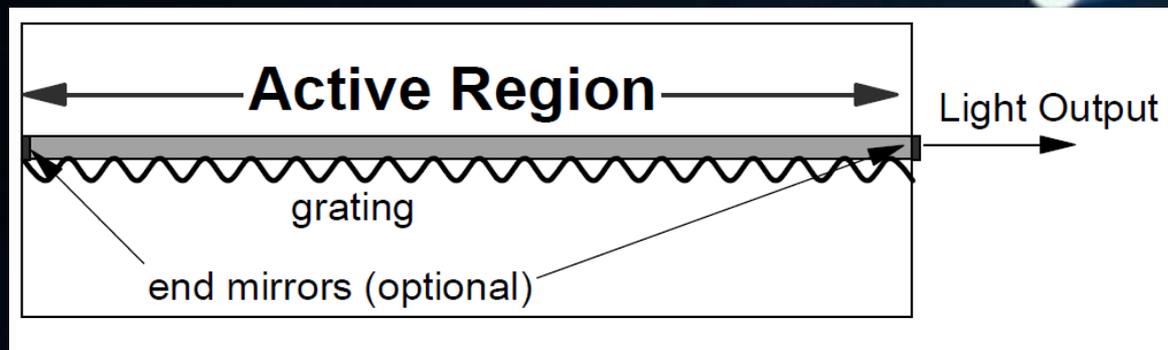
# Emisores Ópticos - Laser

## "DFB" laser

Los Laser FB estándar poseen ciertas desventajas que los hacen poco adecuados para transmisiones en sistemas WDM de largo alcance:

- Ancho espectral entre 5 y 8 nm
- Salto entre modos, que genera "ruido de partición de modos"

*Un laser de Feedback distribuido (DFB) es un laser semiconductor FP el cual incorpora una rendija de difracción de Bragg dentro de la cavidad. Dicha rendija tiene variaciones de IR periódicas, que son múltiplos de la longitud de onda de la luz a emitir.*

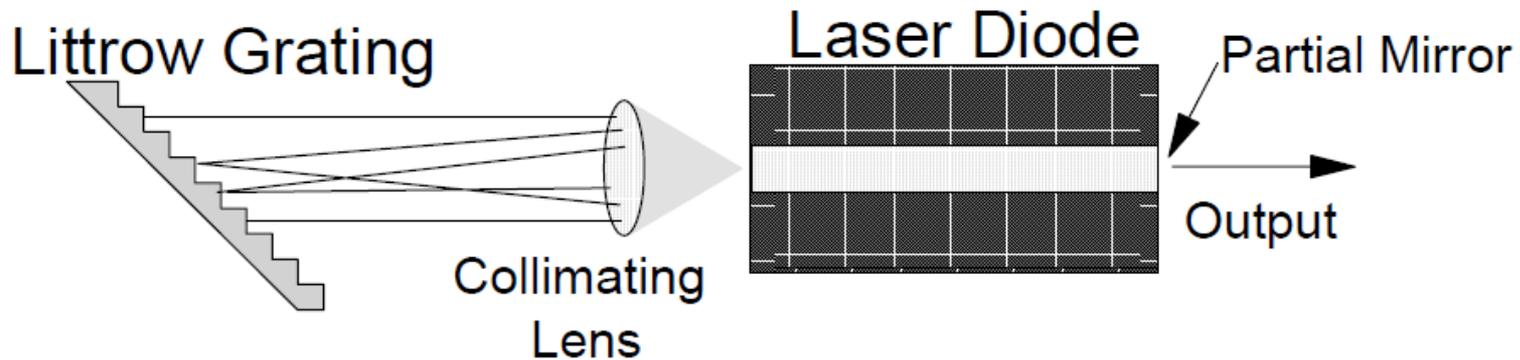


# Emisores Ópticos - Laser

## Distributed Bragg Reflector (DBR) Lasers

*Un laser de reflector de Bragg distribuido (DBR) tiene un funcionamiento similar a los DFB, solo que la rendija de difracción esta fuera de la zona activa del laser*

- Ancho espectral cercanos a los 0.0001 nM
- Absorción significativa en el area inactiva cercana a la rendija de difracción.

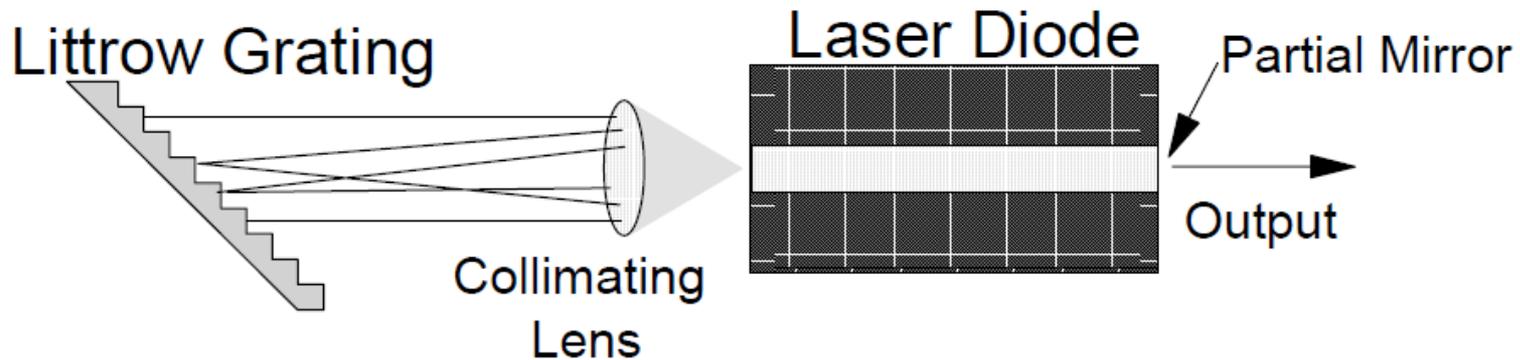


# Emisores Ópticos - Laser

## Distributed Bragg Reflector (DBR) Lasers

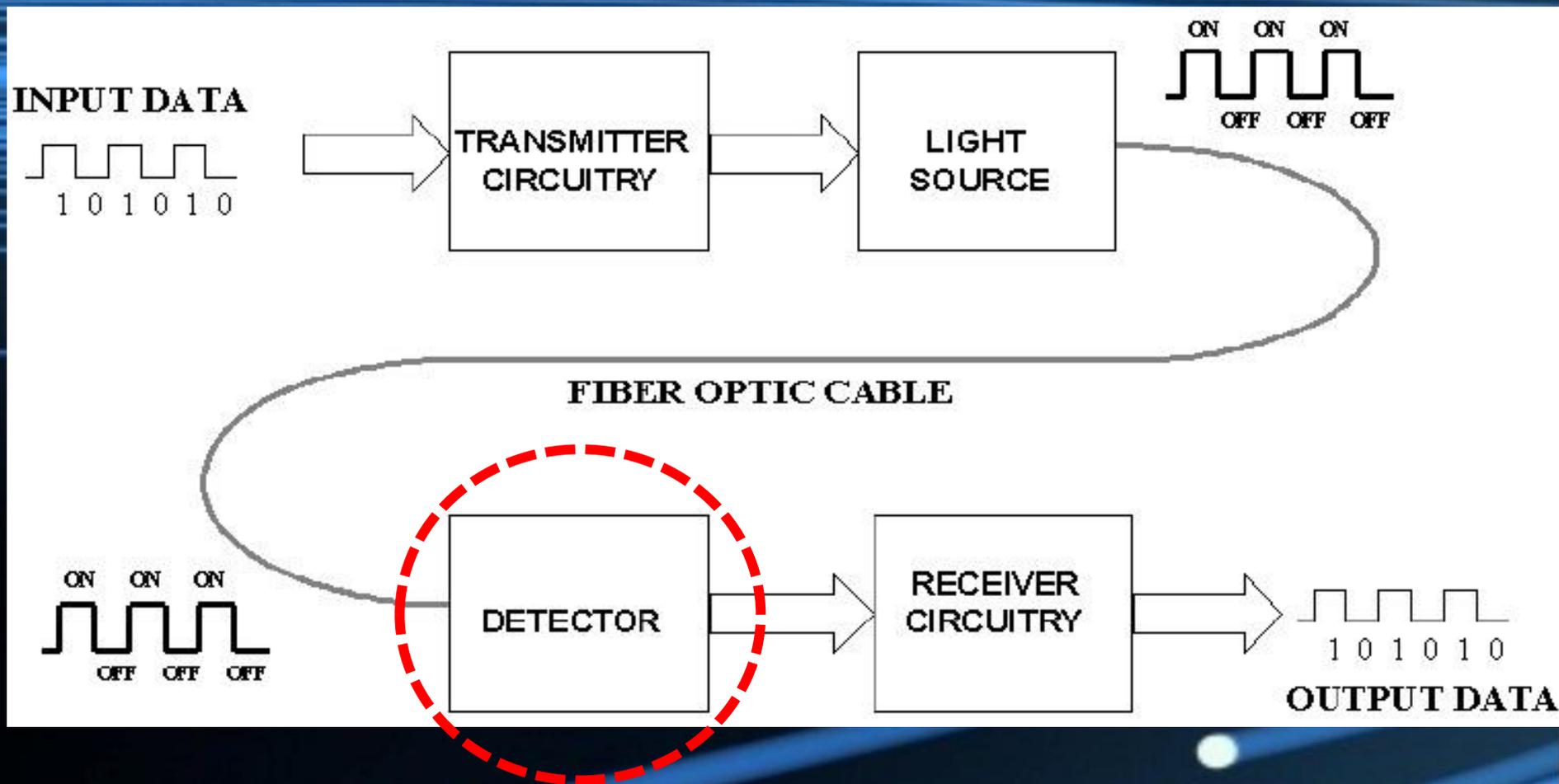
*Un laser de reflector de Bragg distribuido (DBR) tiene un funcionamiento similar a los DFB, solo que la rendija de difracción esta fuera de la zona activa del laser*

- Ancho espectral cercanos a los 0.0001 nM
- Absorción significativa en el area inactiva cercana a la rendija de difracción.



# Receptores y Amplificadores Ópticos

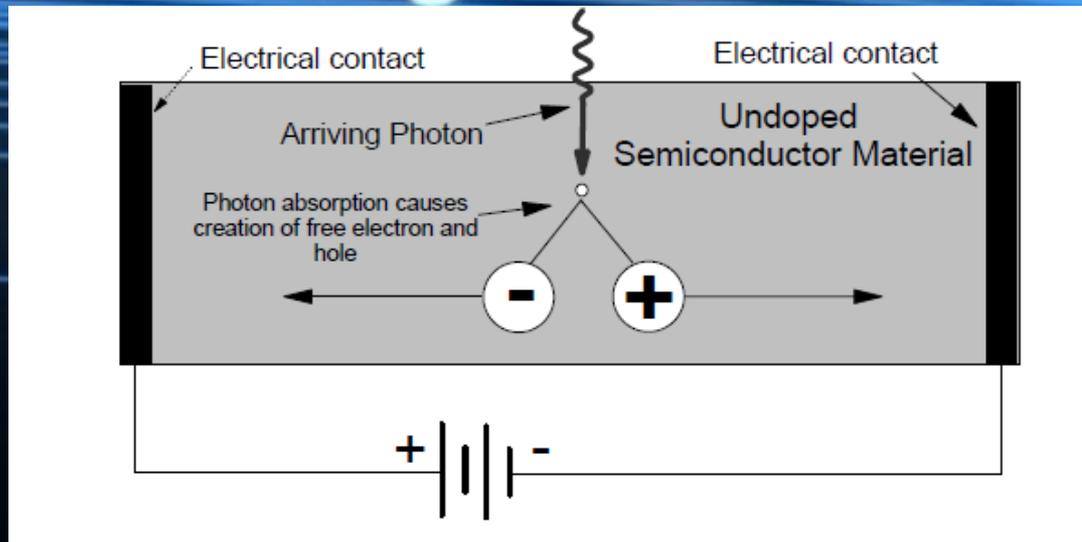
# Sensores Ópticos



# Sensores Ópticos

## Fotoconductor general

*Material semiconductor que expuesto a la luz genera un par electro-agujero, generando una corriente medible.*

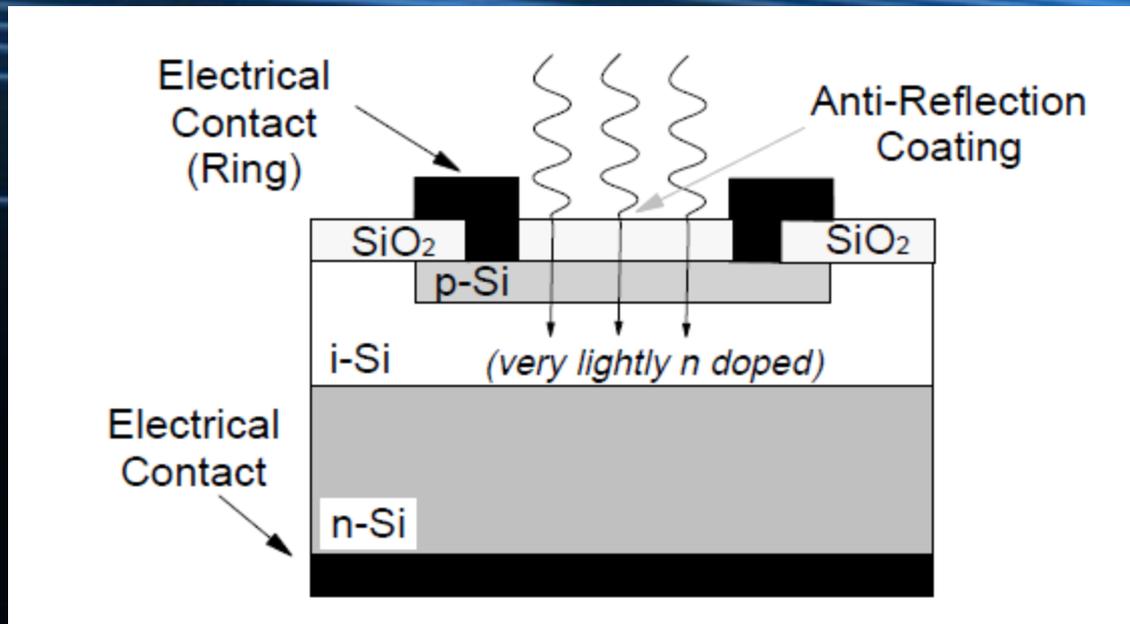


Sensor mas básico → Juntura p-n con polaridad invertida → zona de juntura reactiva muy angosta

# Sensores Ópticos

## Diodos PIN

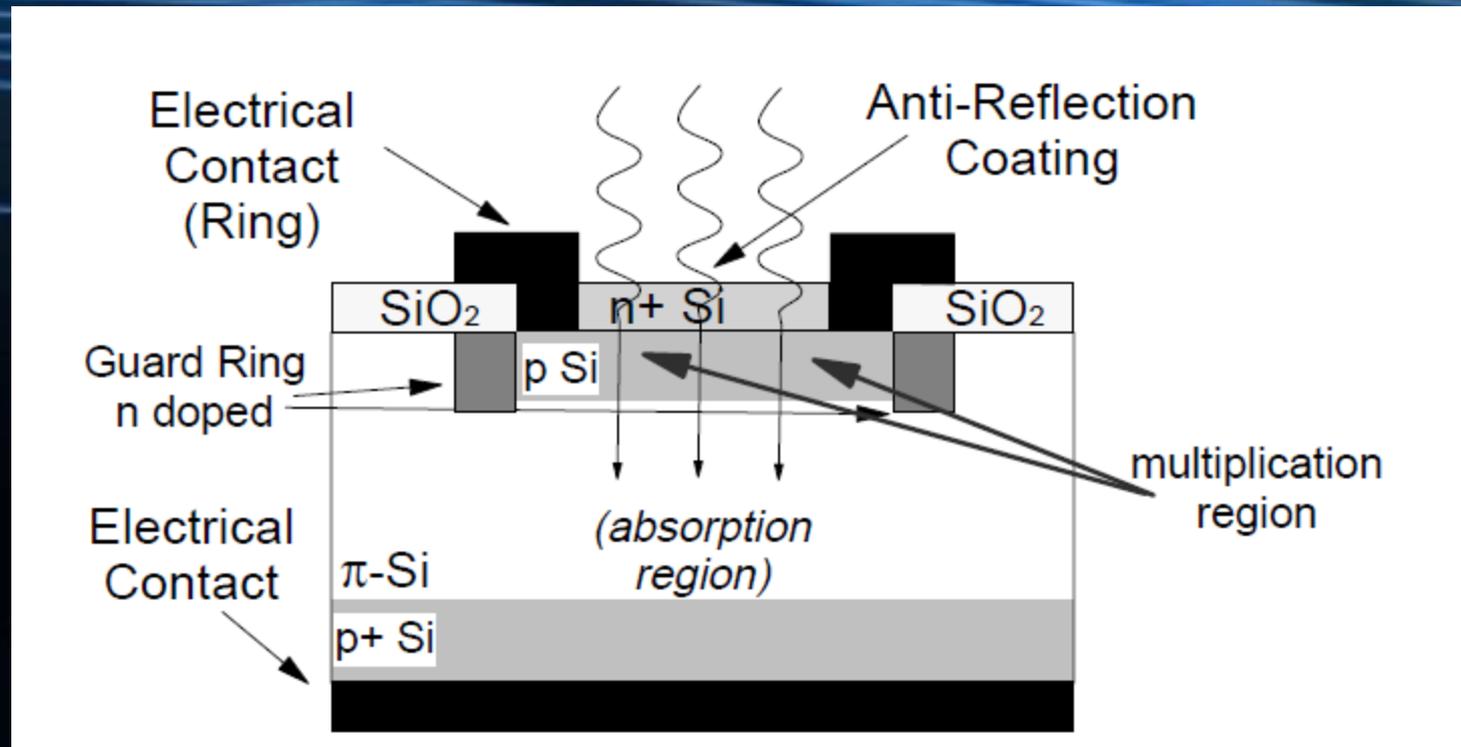
*Sensor compuesto por un Diodo con polaridad invertida, al que se le ha agregado una capa adicional levente dopada entre la juntura p-n → Se agranda la zona de formación de pares.*



# Sensores Ópticos

## Diodos de avalancha

Sensor compuesto por un Diodo con polaridad invertida, que posee una zona de "multiplicación" donde se genera gran cantidad de electrones.



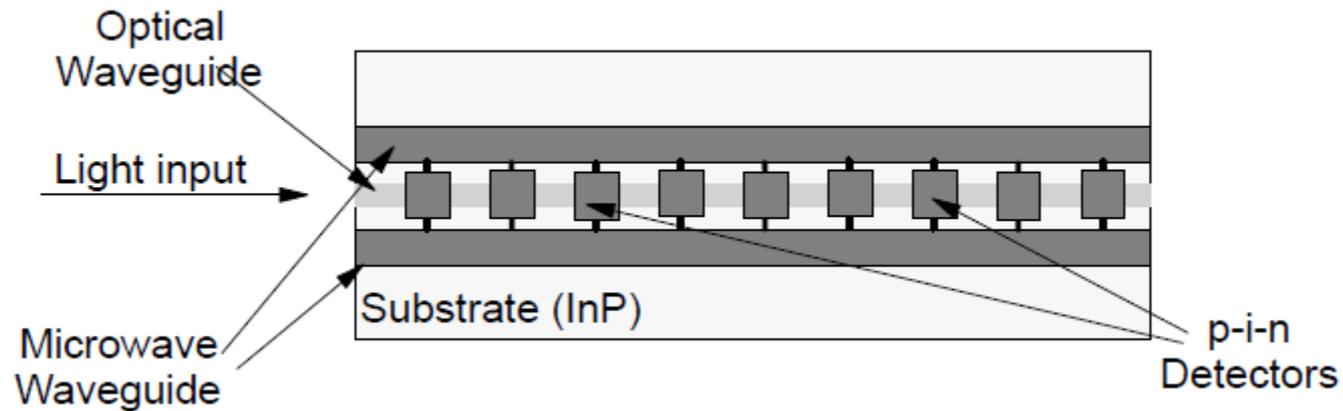
## Características los diodos de avalancha :

- 1. Son extremadamente sensibles**
- 2. Limitación en la velocidad de operación.**
- 3. Alto producto ganancia-ancho de banda.**
- 4. Alto ruido, producto del efecto avalancha.**

# Sensores Ópticos

## Fotodetectores de onda viajante

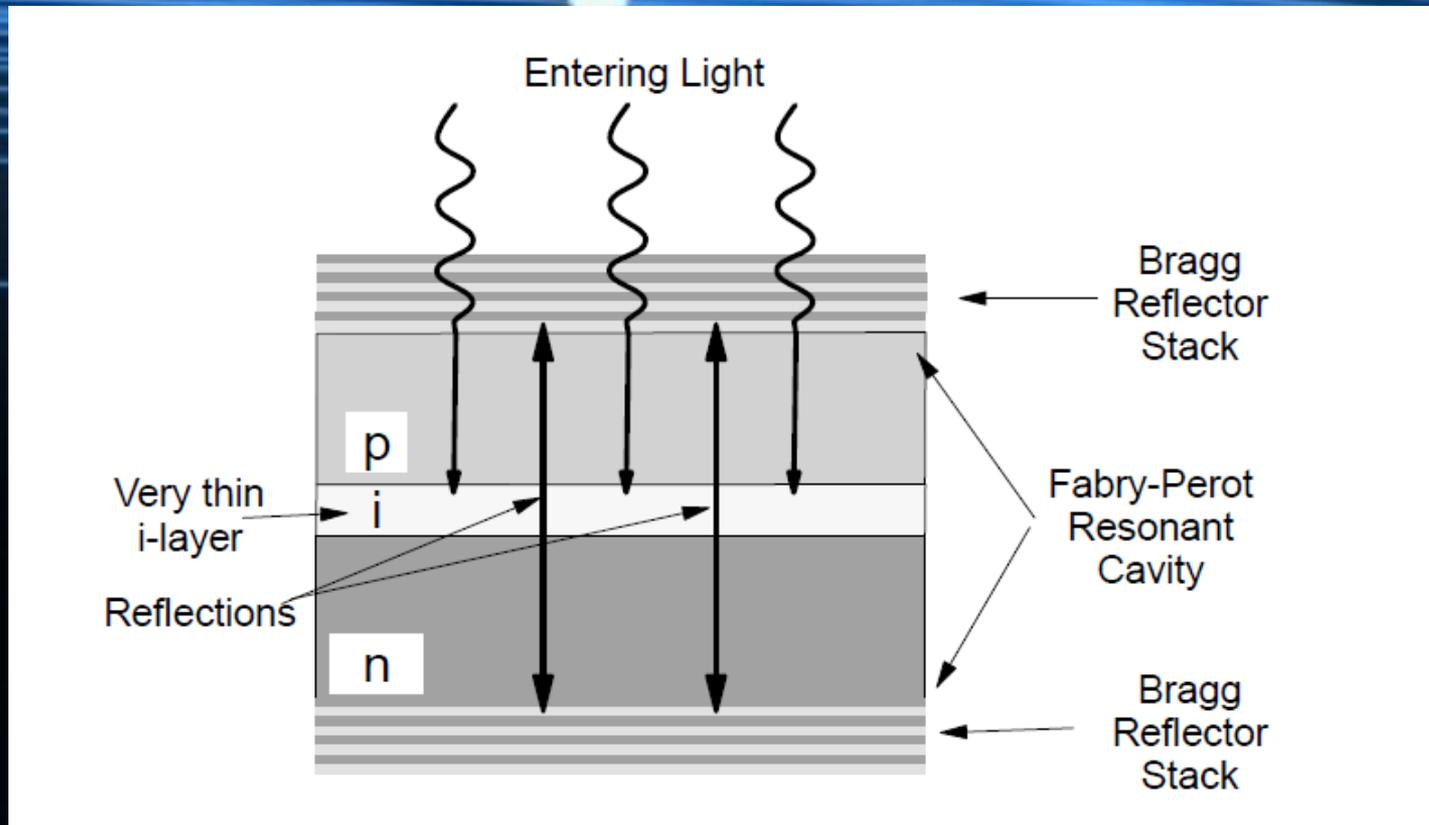
*Sensor compuesto por una cadena sensores PIN, alineados dentro de una guía óptica*



# Sensores Ópticos

## Fotodetectores de cavidad resonante

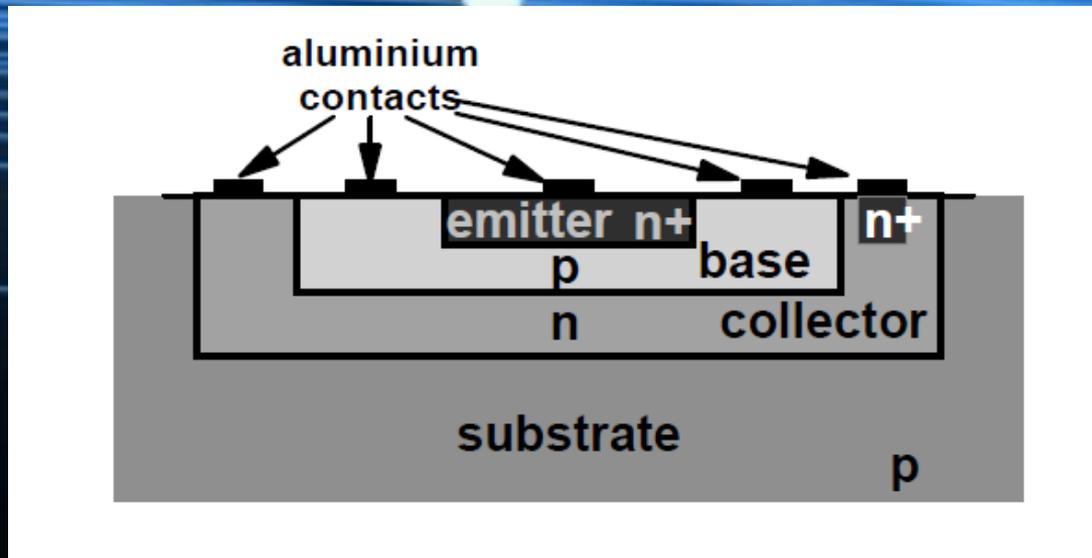
Sensor compuesto por una juntura PIN a la que se le agregan rendijas de difracción para crear una cavidad resonante y multiplicar la detección de luz.



# Sensores Ópticos

## Fototransistores

*Sensor compuesto por un transistor (junturas p-n-p), cuyos componentes semiconductores expuestos a la luz generan variaciones de ganancia, amplificando la señal de entrada de diferentes maneras.*



- Poseen muy bajo ruido
- Poseen alta ganancia de salida
- Presentan problemas con los materiales sensibles en la longitud de 1550 nM

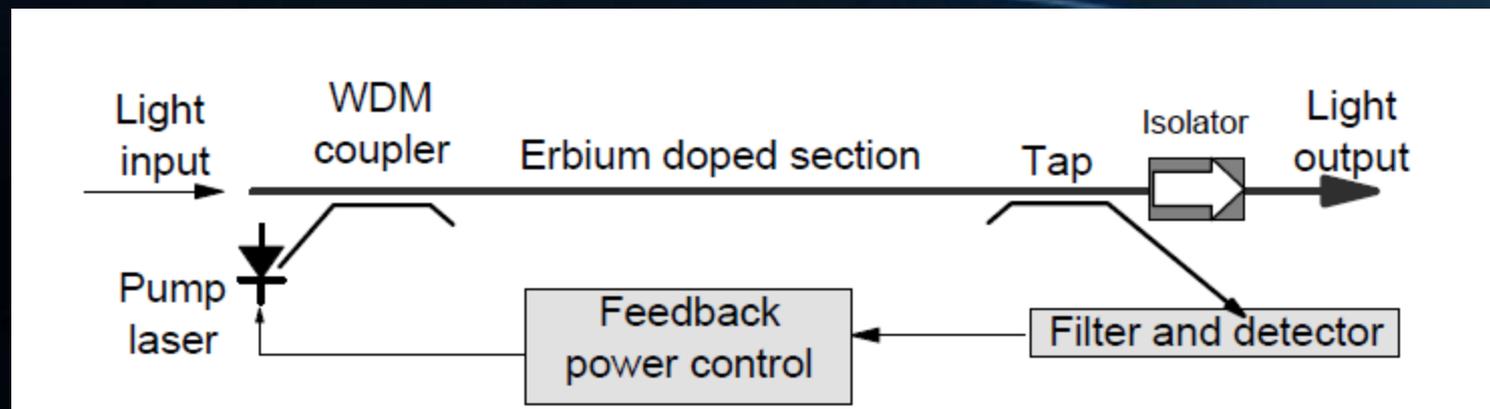
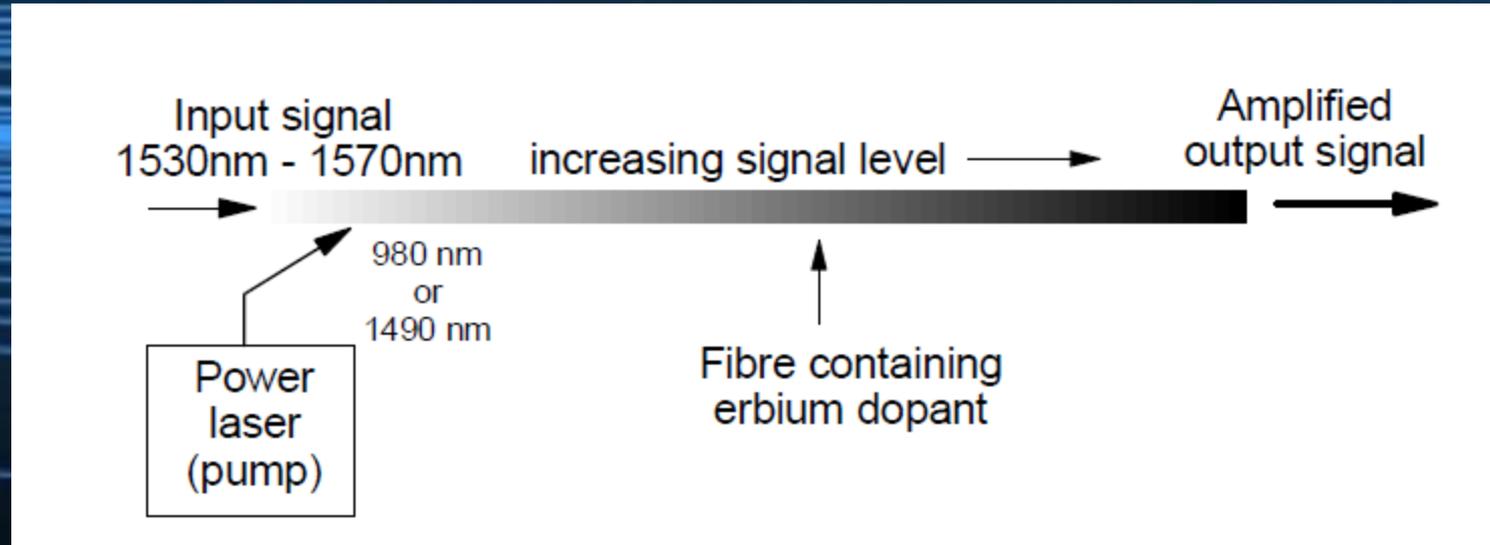
# Amplificadores Ópticos

## Ventajas Amplificadores vs Repetidores

- 1. Flexibilidad → Amplifica la señal independientemente de su codificación o modulación**
- 2. Confiabilidad → Menos complejidad en el procesamiento de la señal**
- 3. DWDM → Se amplifican todas las señales sin necesidad de MUX/DEMUX**
- 4. Costo → Construcción mas sencilla, costos menores.**

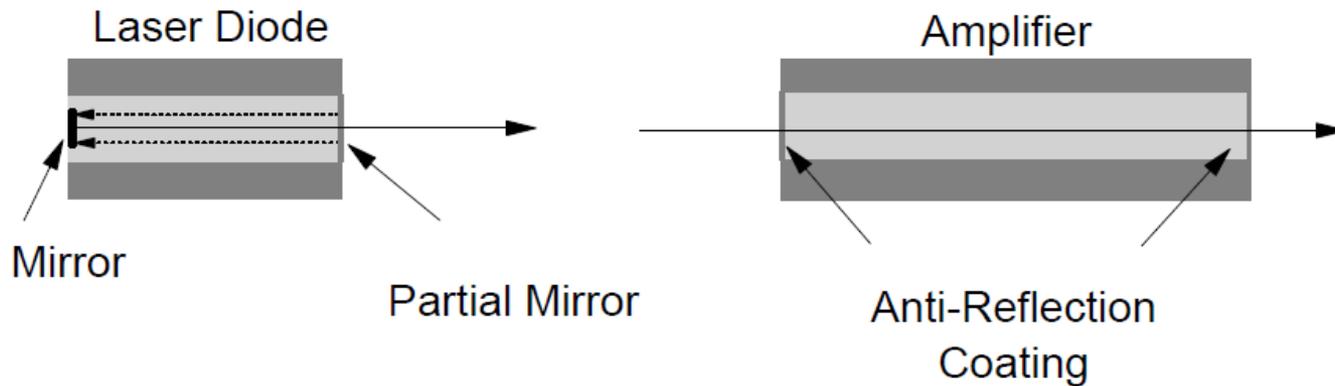
# Amplificadores Ópticos

## EDFA (Amplificador dopado con Erblio)



# Amplificadores Ópticos

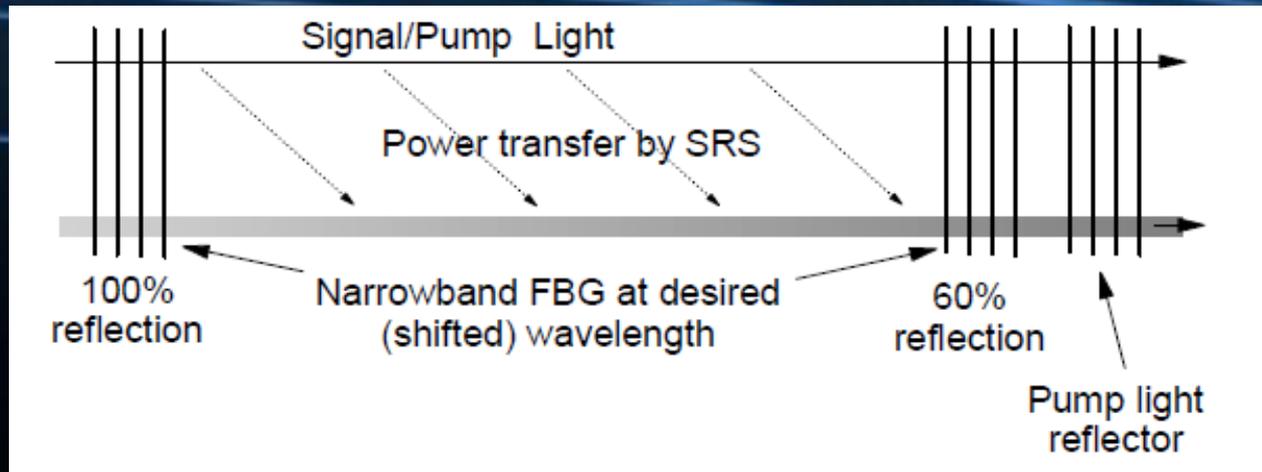
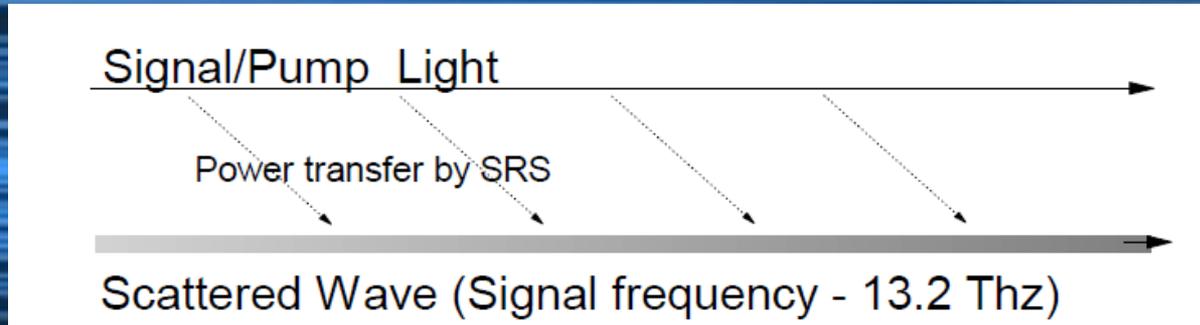
## Amplificadores Semiconductores ópticos/Laser (SOAs/SLAs)



*Basados en el mismo principio de estimulación que los laser semiconductores, pero con niveles de potencia reflejados menores, que no llevan a transformar el amplificador en un laser.*

# Amplificadores Ópticos

## Amplificadores de efecto Ramman

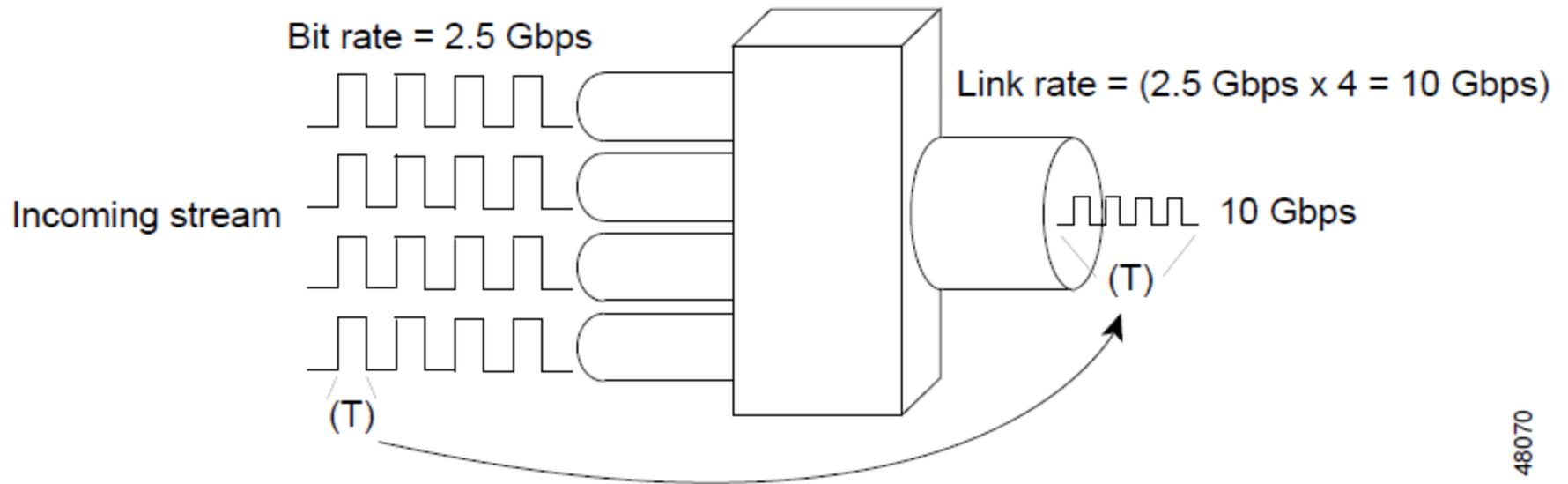


*Basados en el efecto de dispersion de Ramman. Una señal que se encuentra 13.2 Thz mas arriba de la señal a amplificar se inyecta en la fibra, generando al transferencia de energia por dispercion desde la señal de bombeo hacia la señal amplificada.*

The background features a dark blue gradient with numerous thin, parallel blue lines that create a sense of depth and movement. Scattered throughout are several bright white circular dots of varying sizes, some of which appear to be part of the blue lines, suggesting a network or data flow theme.

# Sistemas WDM

## Primeras redes - Multiplexación TDM



# Sistemas WDM

## *Jerarquia de multiplexacion de señales TELCO*

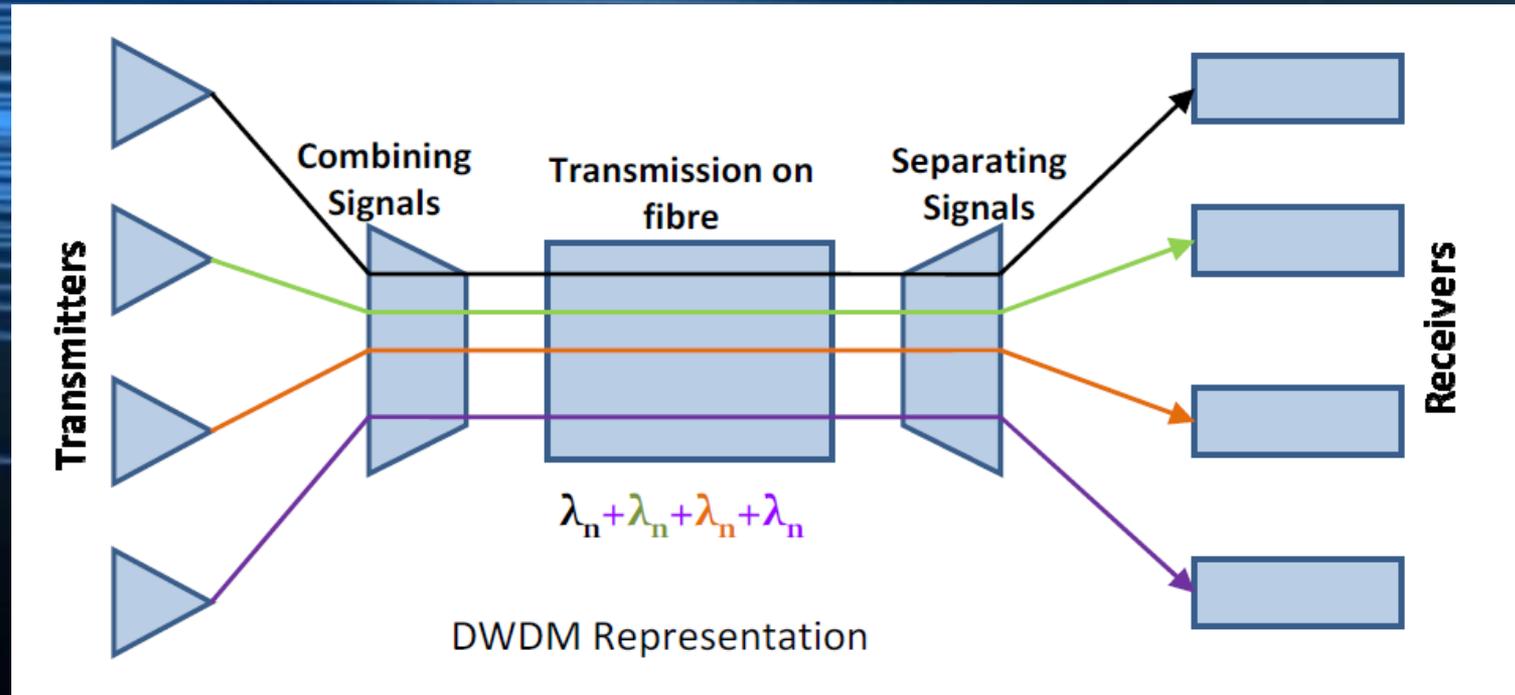
Signal	Bit Rate	Voice Slots
DS0	64 kbps	1 DS0
DS1	1.544 Mbps	24 DS0s
DS2	6.312 Mbps	96 DS0s
DS3	44.736 Mbps	28 DS1s

## *Jerarquia de multiplexacion de señales SDH/SONET*

Optical Carrier	SONET/SDH Signal	Bit Rate	Capacity
OC-1	STS-1	51.84 Mbps	28 DS1s or 1 DS3
OC-3	STS-3/STM-1	155.52 Mbps	84 DS1s or 3 DS3s
OC-12	STS-12/STM-4	622.08 Mbps	336 DS1s or 12 DS3s
OC-48	STS-48/STM-16	2488.32 Mbps	1344 DS1s or 48 DS3s
OC-192	STS-192/STM-64	9953.28 Mbps	5379 DS1s or 192 DS3s

# Sistemas WDM

## Redes modernar – Multiplexación FDM/WDM

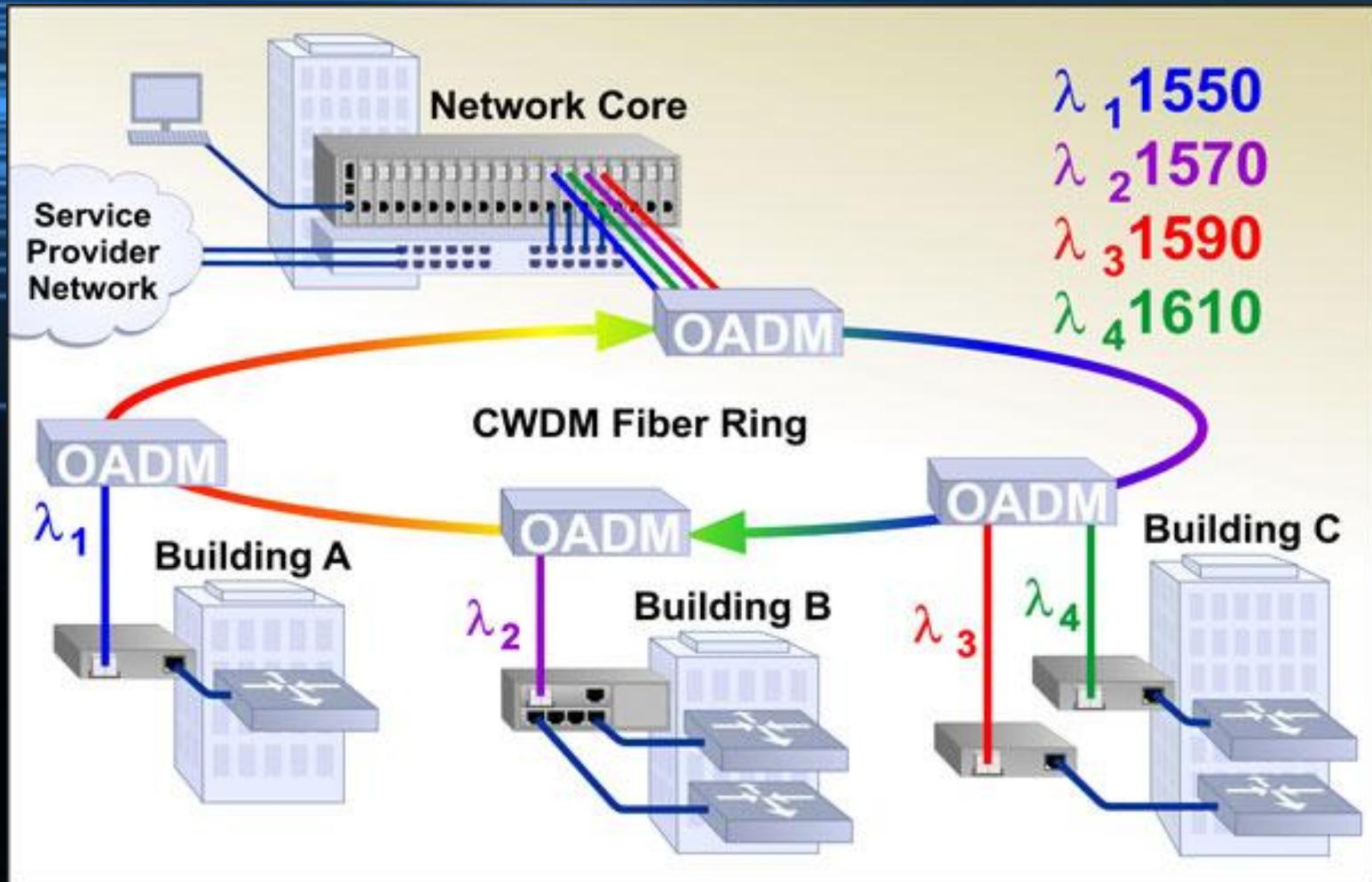


**ANALOGIA CON LOS  
CANALES DE T.V**

*Cada flujo de datos es transportado en un canal independiente, el está asociado a una frecuencia (o longitud de onda) diferente.  
También puede pensarse como que cada canal es un "color" de luz diferente*

# Sistemas WDM

## Ejemplo estructura anillo DWDM



## ¿POR QUE UTILIZAR DWDM?

- **ALTA CAPACIDAD**

*DWDM permite el transporte de grandes cantidades de información en múltiples longitudes de onda, cada una con alta velocidad.*

- **MENOR COSTO DE IMPLEMENTACION**

*No se requieren grandes inversiones para desplegar y ampliar longitudes de onda*

- **MEJORA EN LOS TIEMPOS DE DESPLIEGUE**

*Se reducen considerablemente los tiempo de implementacion de la red.*

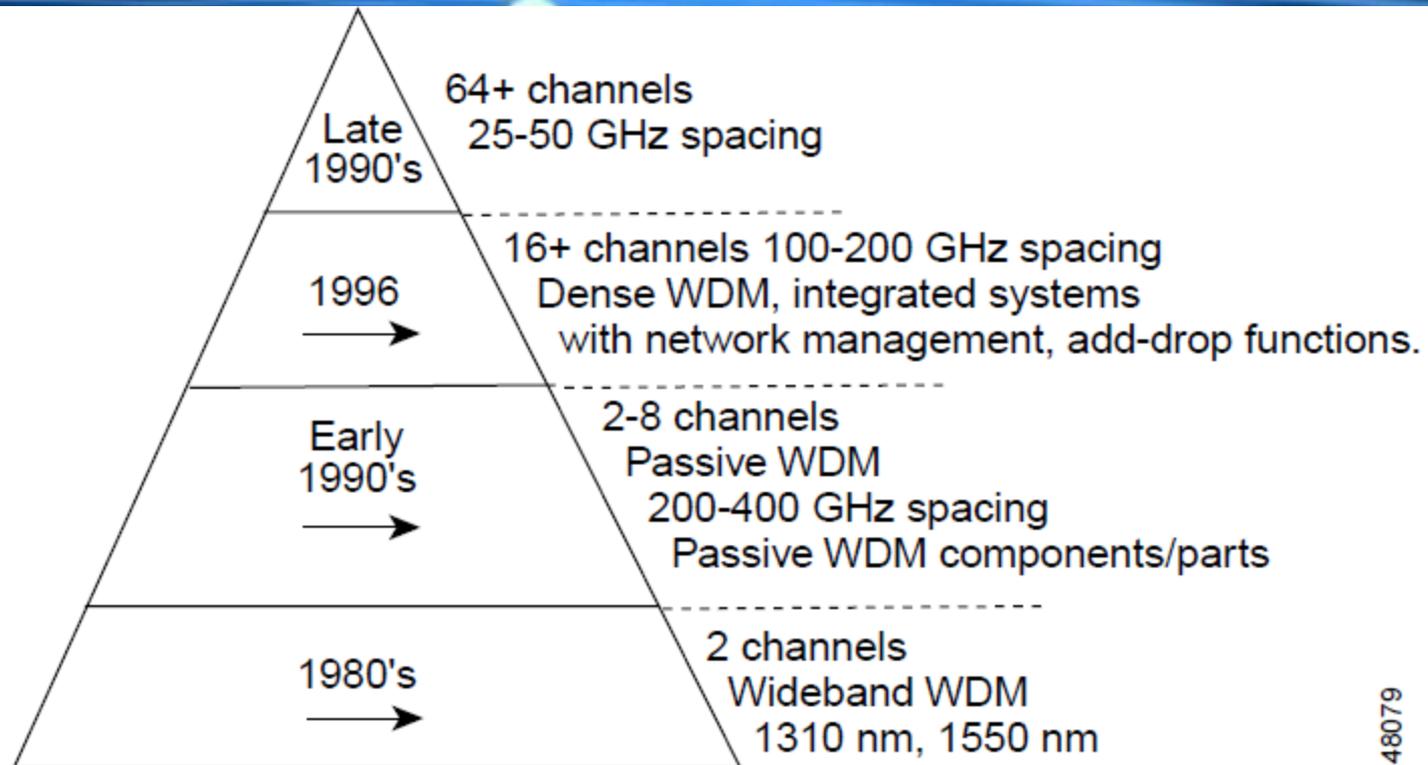
- **TRASPARENCIA**

*DWDM es un transporte de capa física, por lo que soporta llevar señales de SDH, Ethernet, ATM, etc con diferentes modulaciones y velocidades.*

- **PROVISIONAMIENTO DINAMICO**

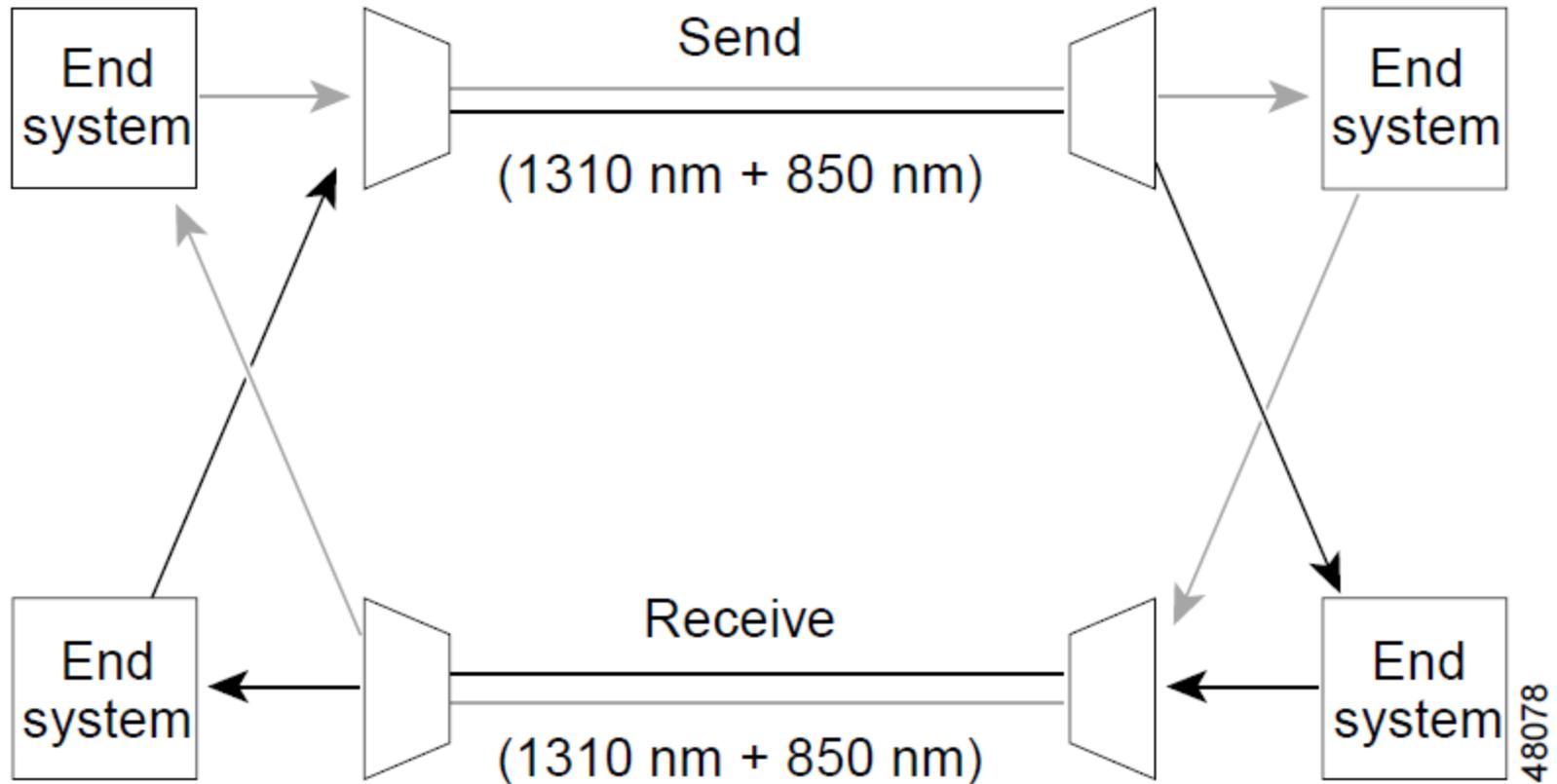
*Este sistema permite crear nuevos caminos para los servicios del cliente en tiempo real*

## EVOLUCION DE ALOCACION DE CANALES EN SISTEMAS WDM



# Sistemas WDM

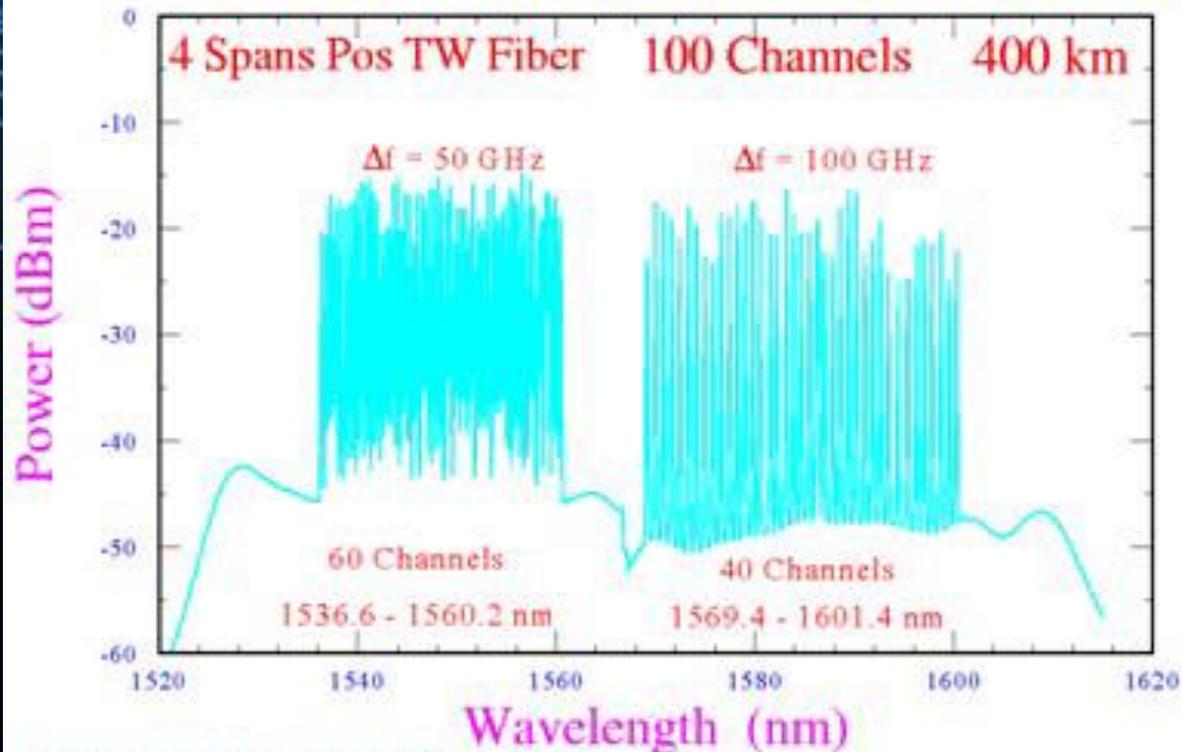
El WDM grueso (CWDM) tiene un espaciado de canales más amplio (20 nm entre canales) - bajo costo



# Sistemas WDM

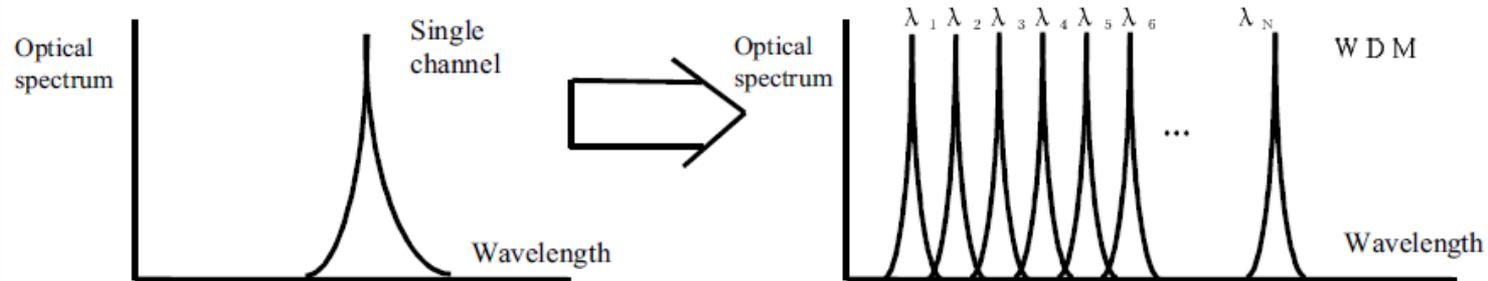
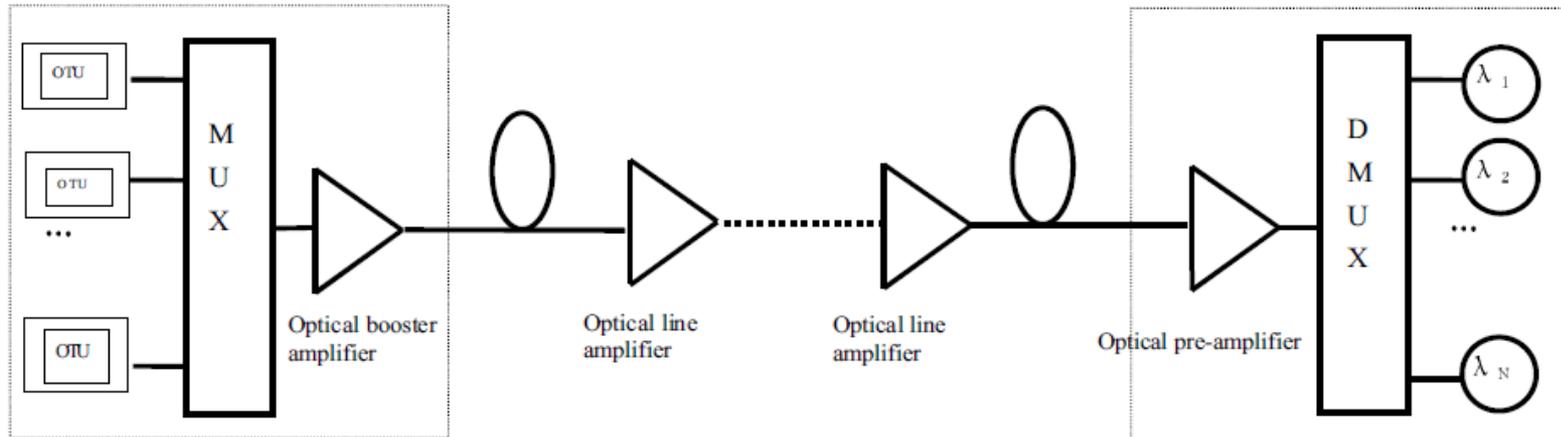
*El WDM denso (DWDM) tiene un espaciado de canal pequeño (0,8 nm) que permite la transmisión simultánea de más de 16 longitudes de onda: alta capacidad, Mayor costo*

## 1Tb/s Experiment: Channel Spectrum



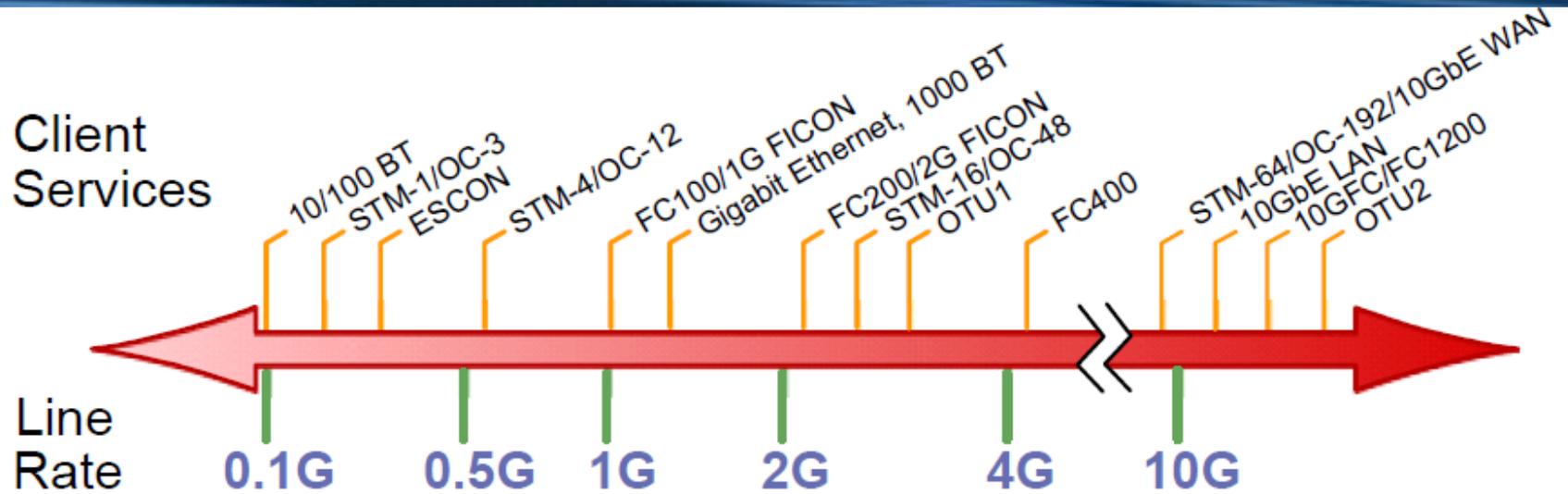
Srivastava and Sun 02.14.98

# Sistemas WDM



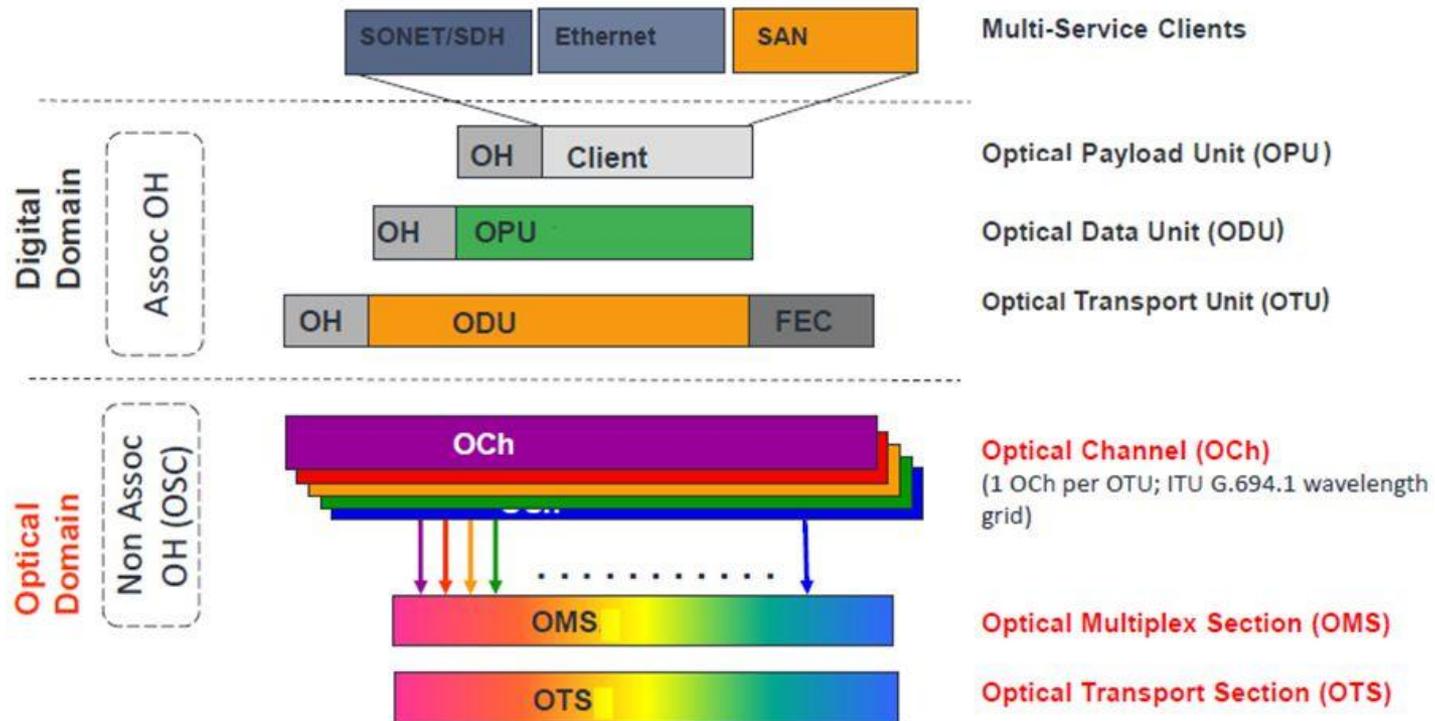
# Sistemas WDM

Equivalencia de velocidades de diversos sistemas de transporte



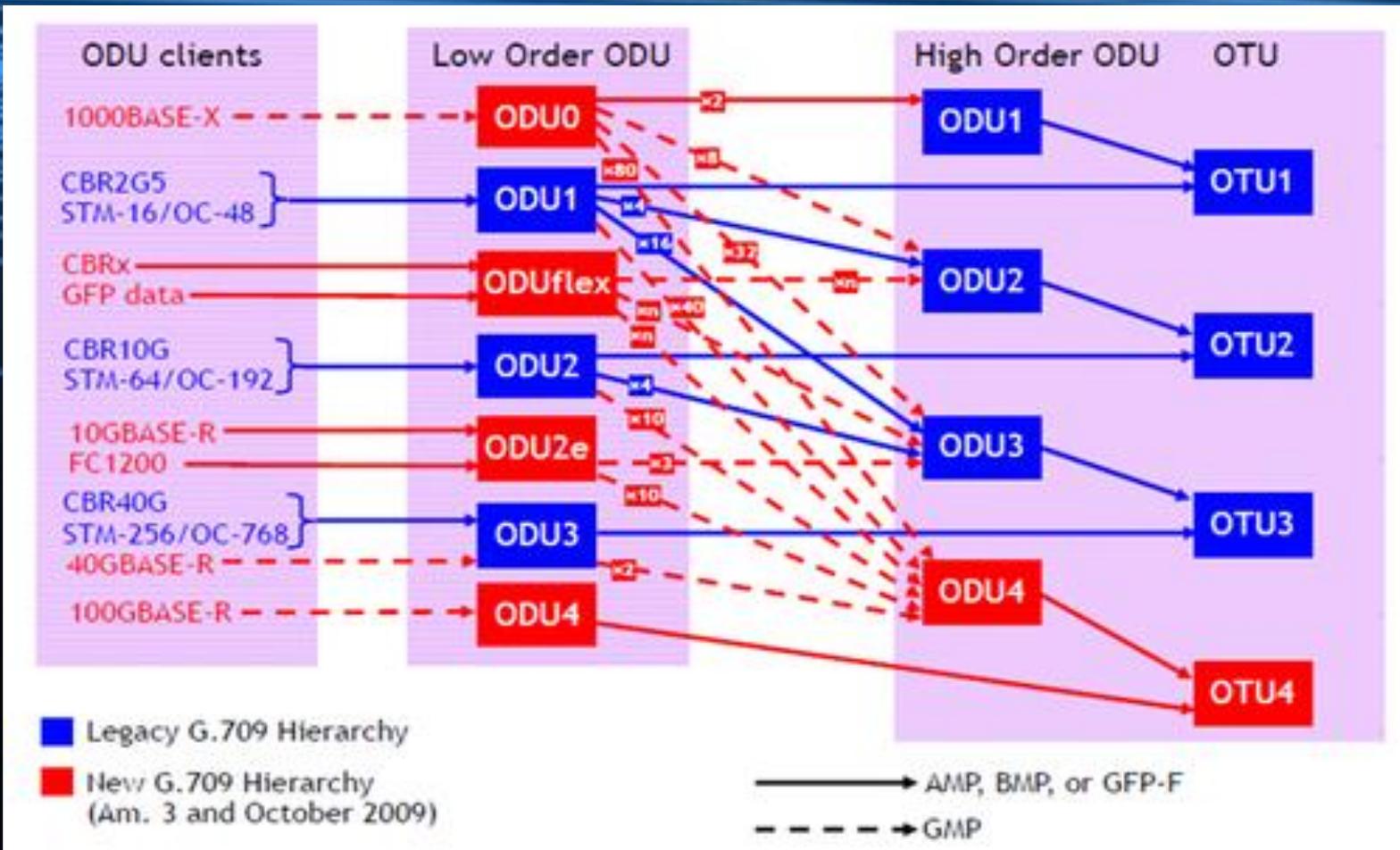
## ARQUITECTURA OTN

### OTN Architecture



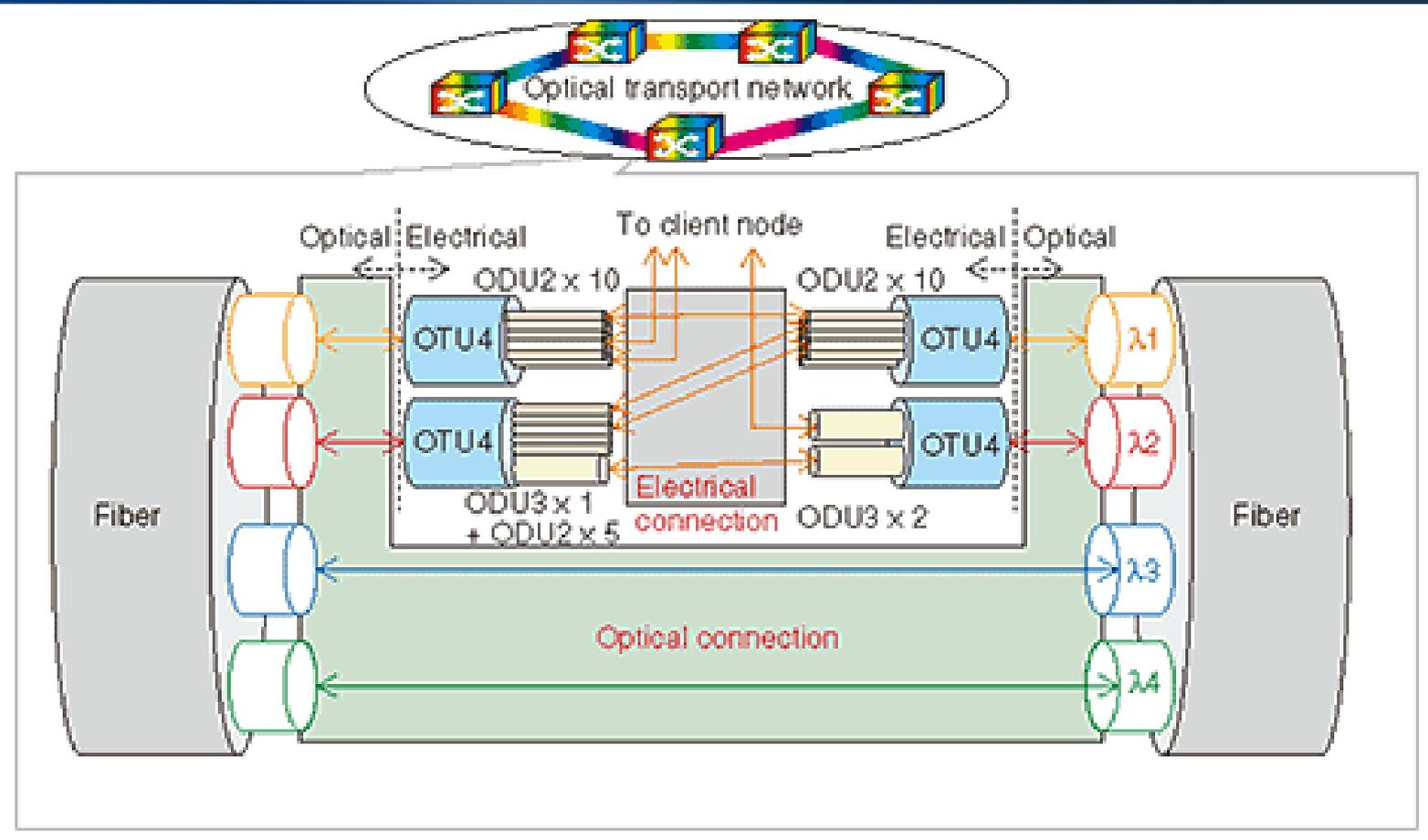
# Sistemas WDM

## MAPEO DE DIVERSOS SISTEMAS SOBRE CONTENEDORES OTN

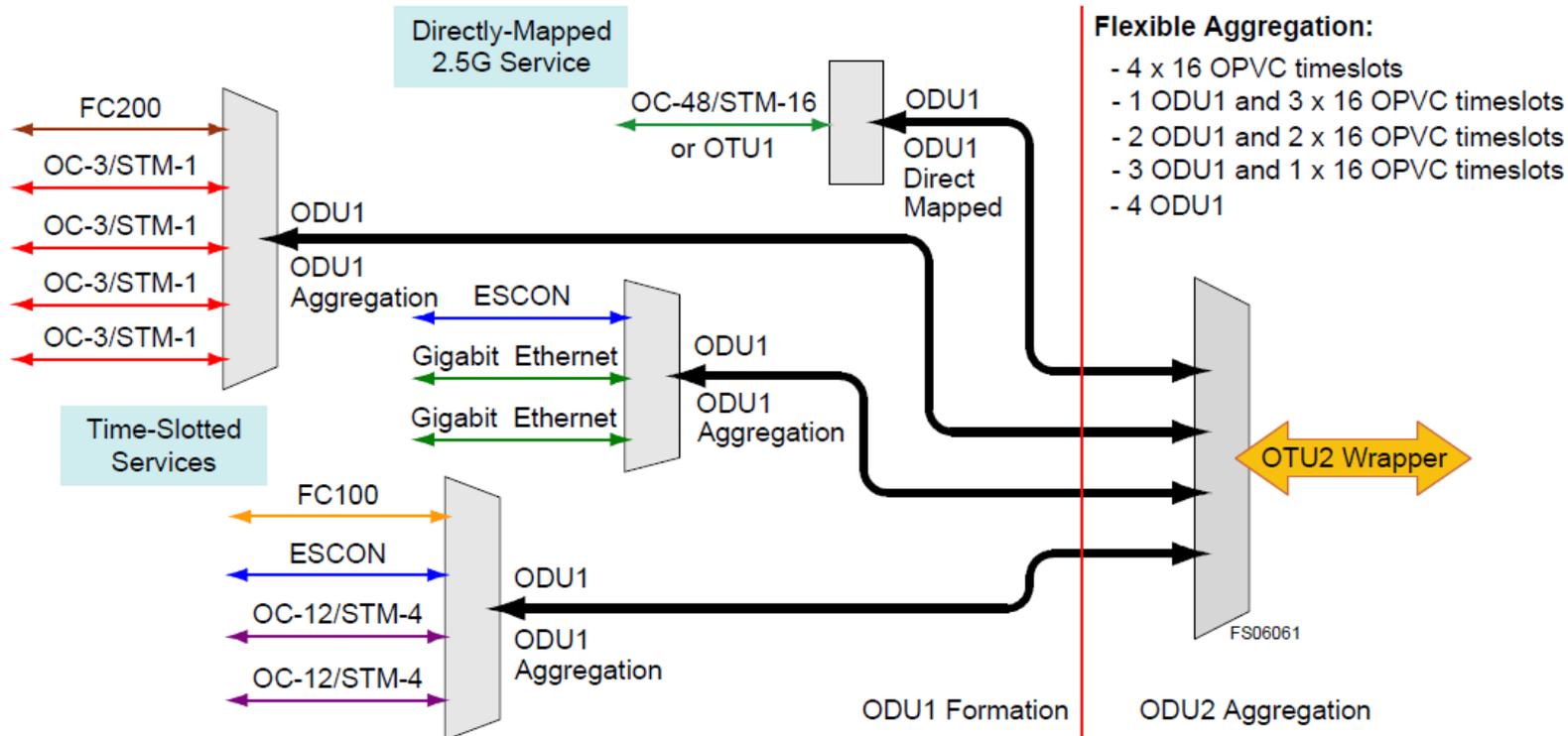


# Sistemas WDM

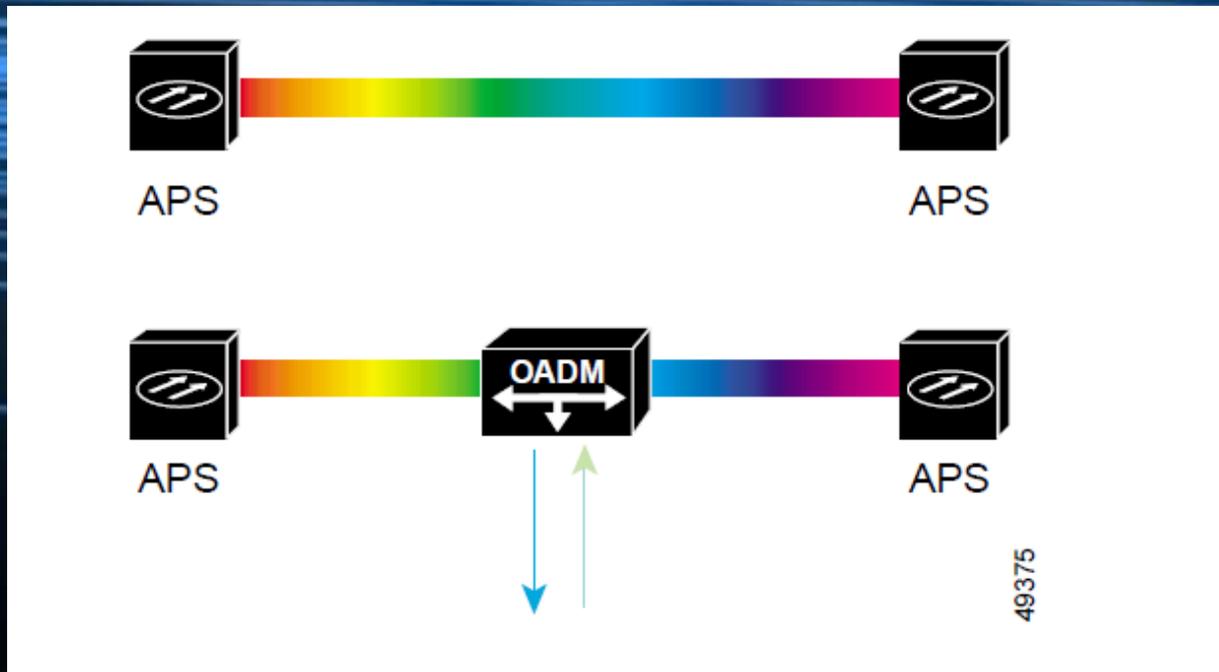
## MAPEO DE DIVERSOS SISTEMAS SOBRE CONTENEDORES OTN



## MAPEO DE ODU 1 a ODU 2

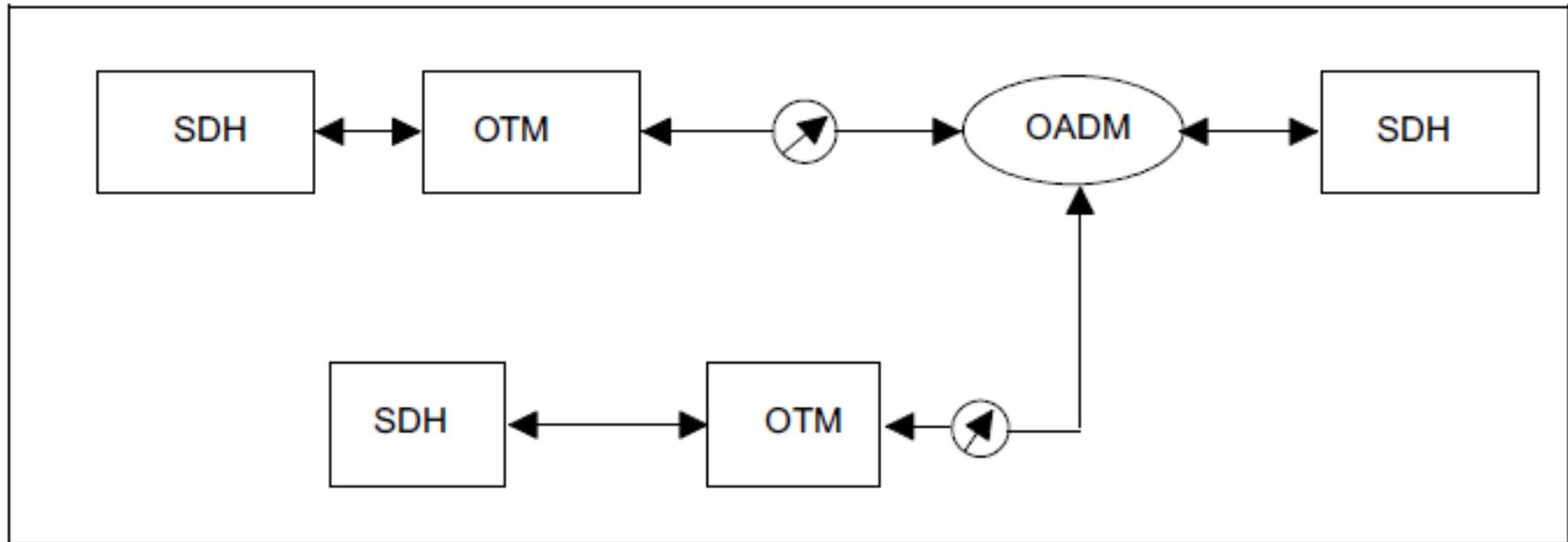


## Esquema de red Punto a Punto

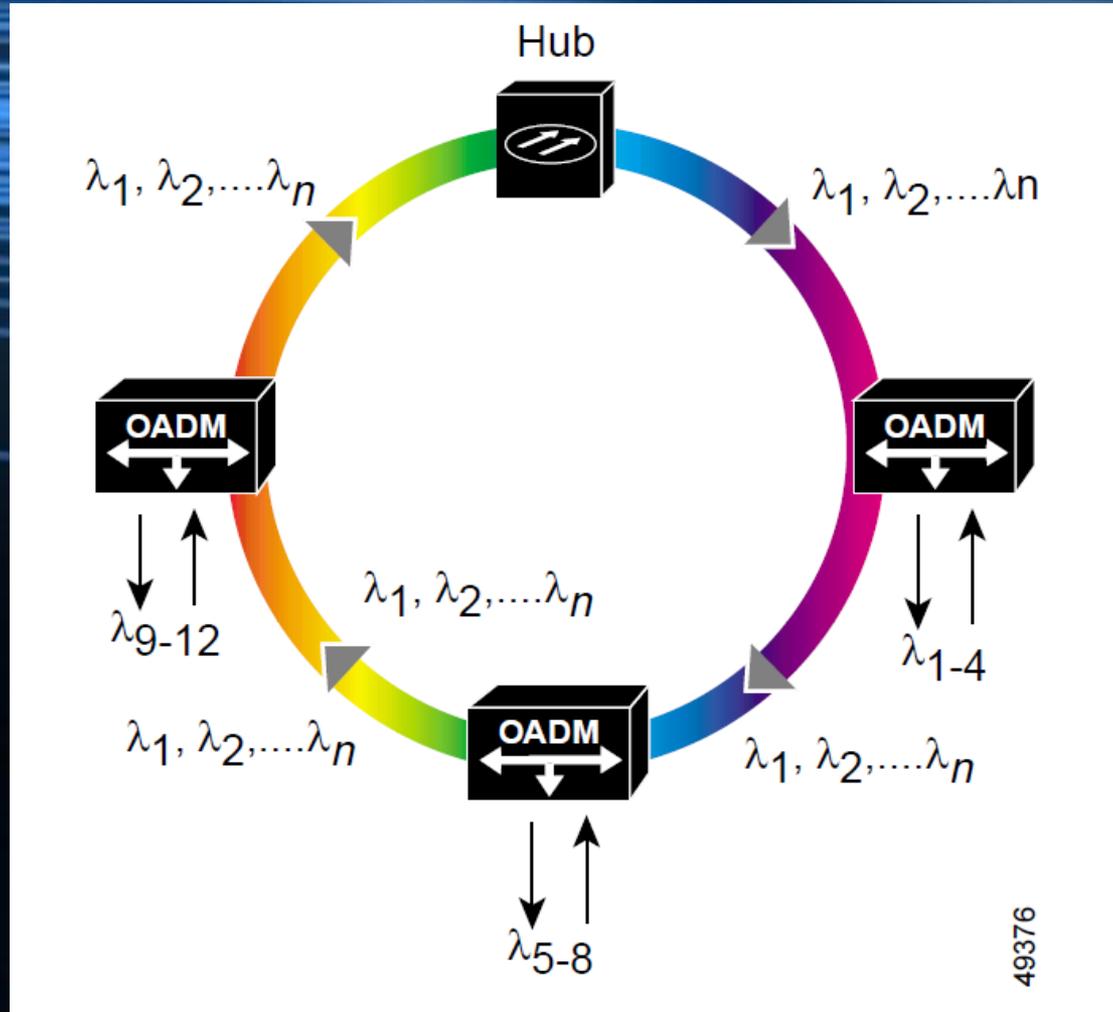


# Sistemas WDM

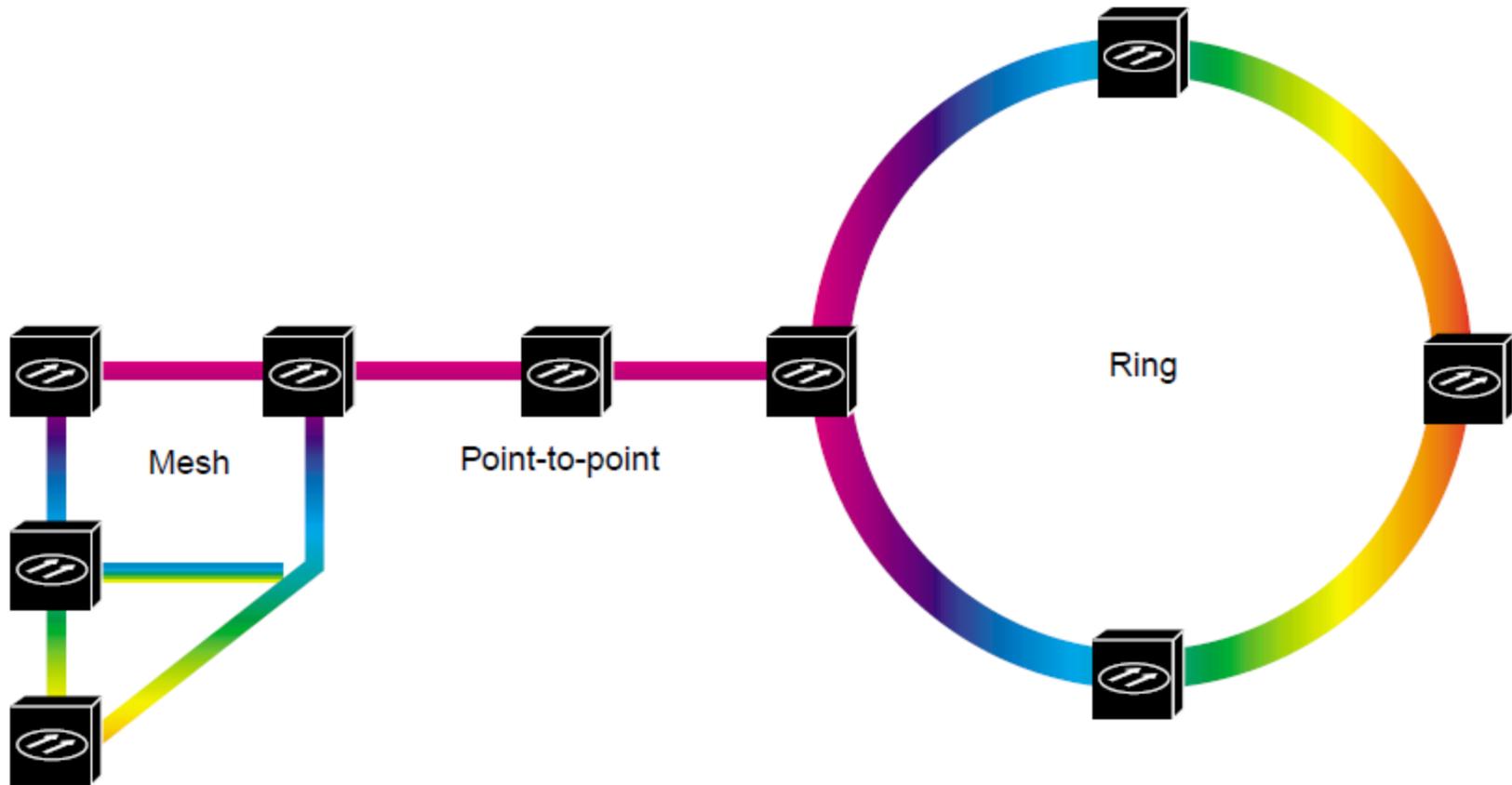
## Esquema de red tipo Cadena



## Esquema de red Anillo

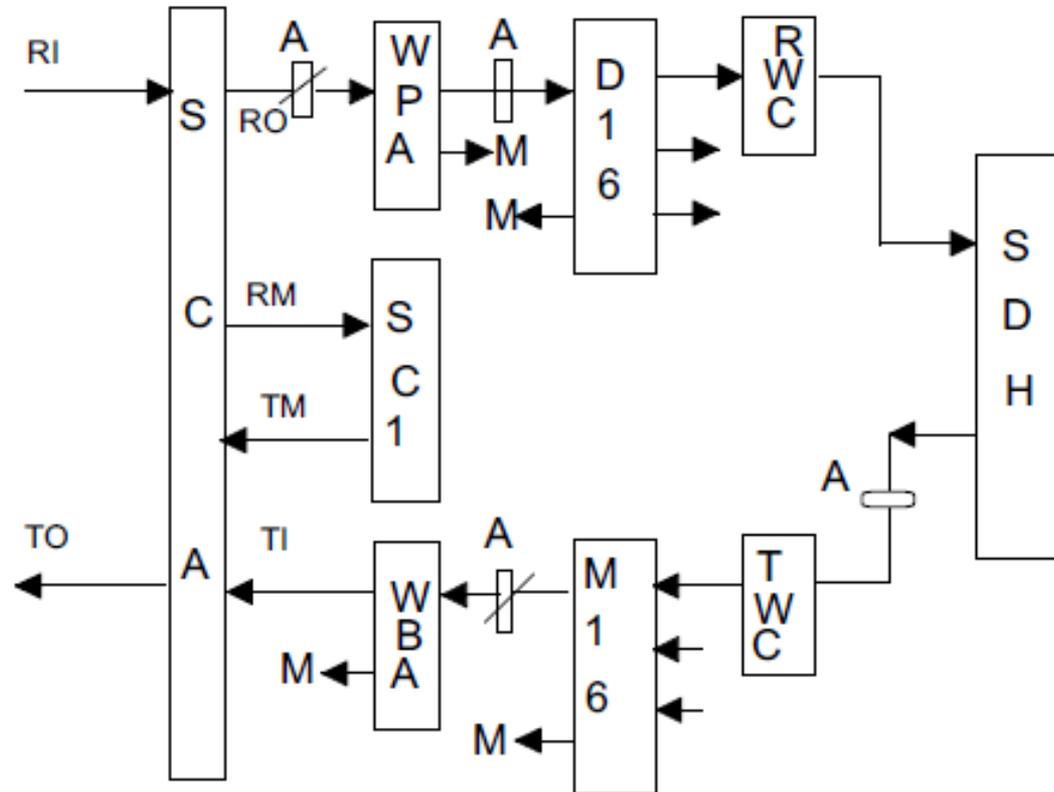


## Esquema de red Mallada o Mesh



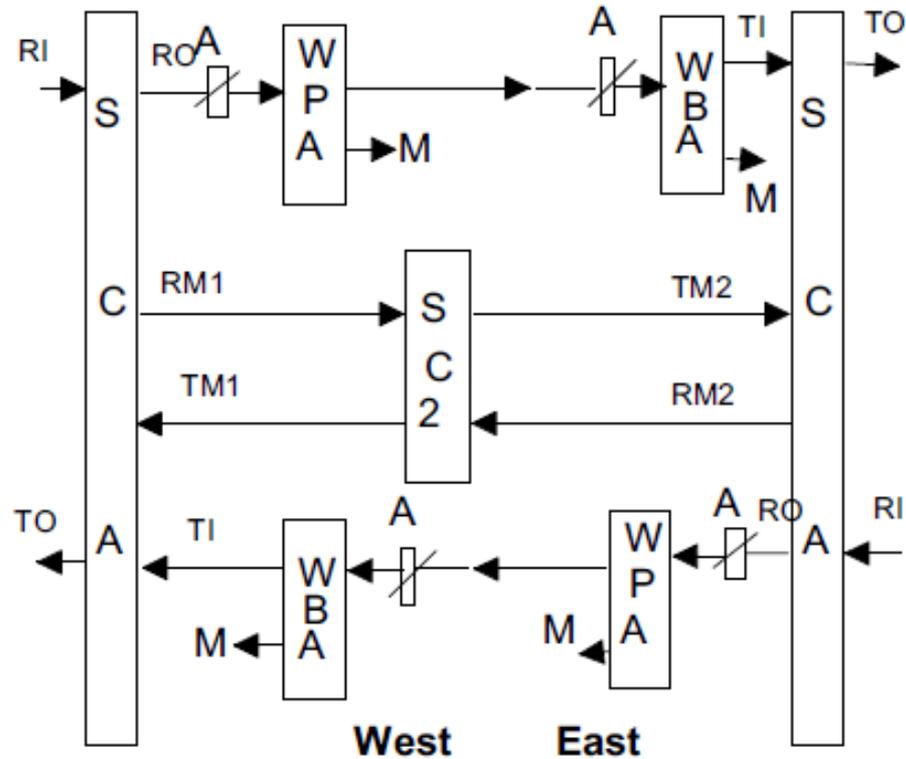
# Sistemas WDM

## OTM (Unidad de terminación de línea)



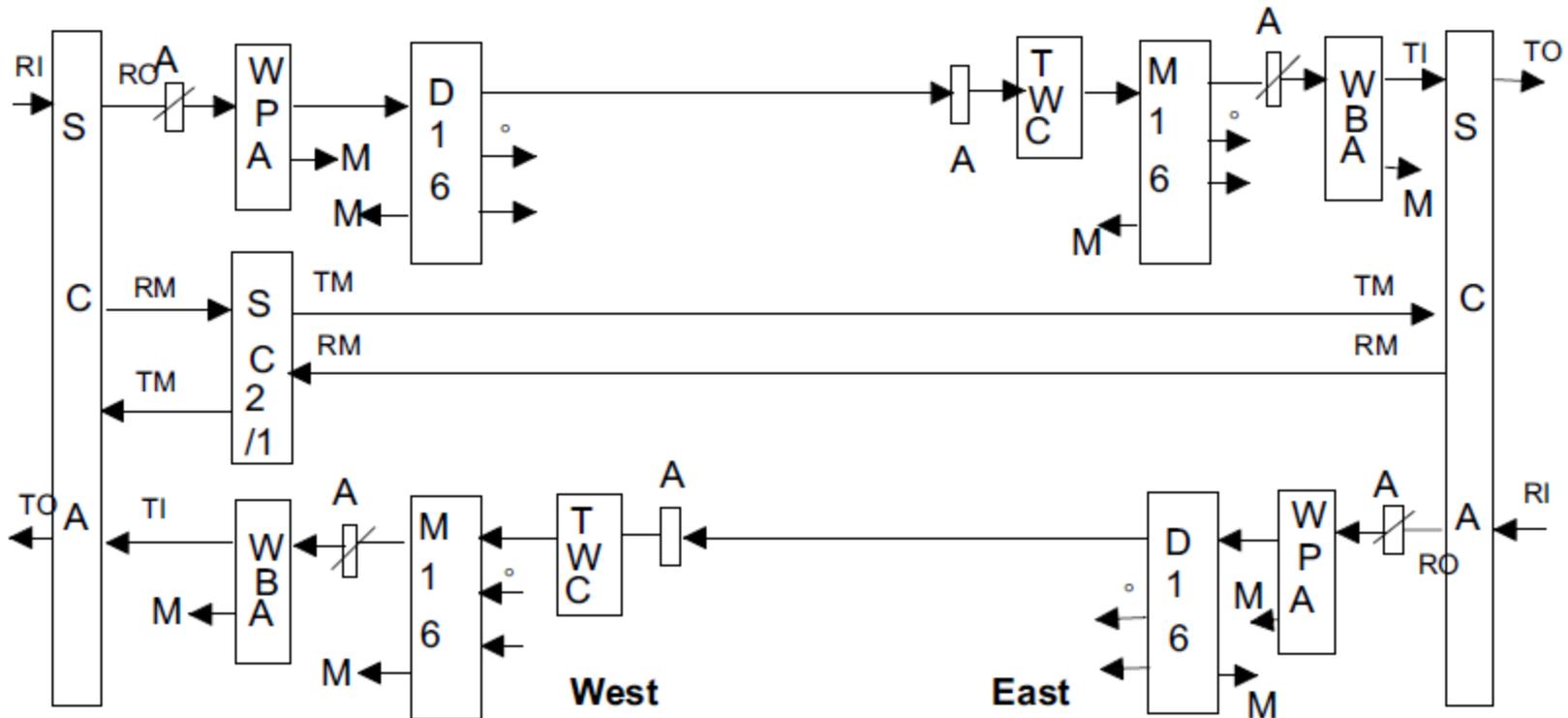
# Sistemas WDM

## OLA (Amplificador de línea)



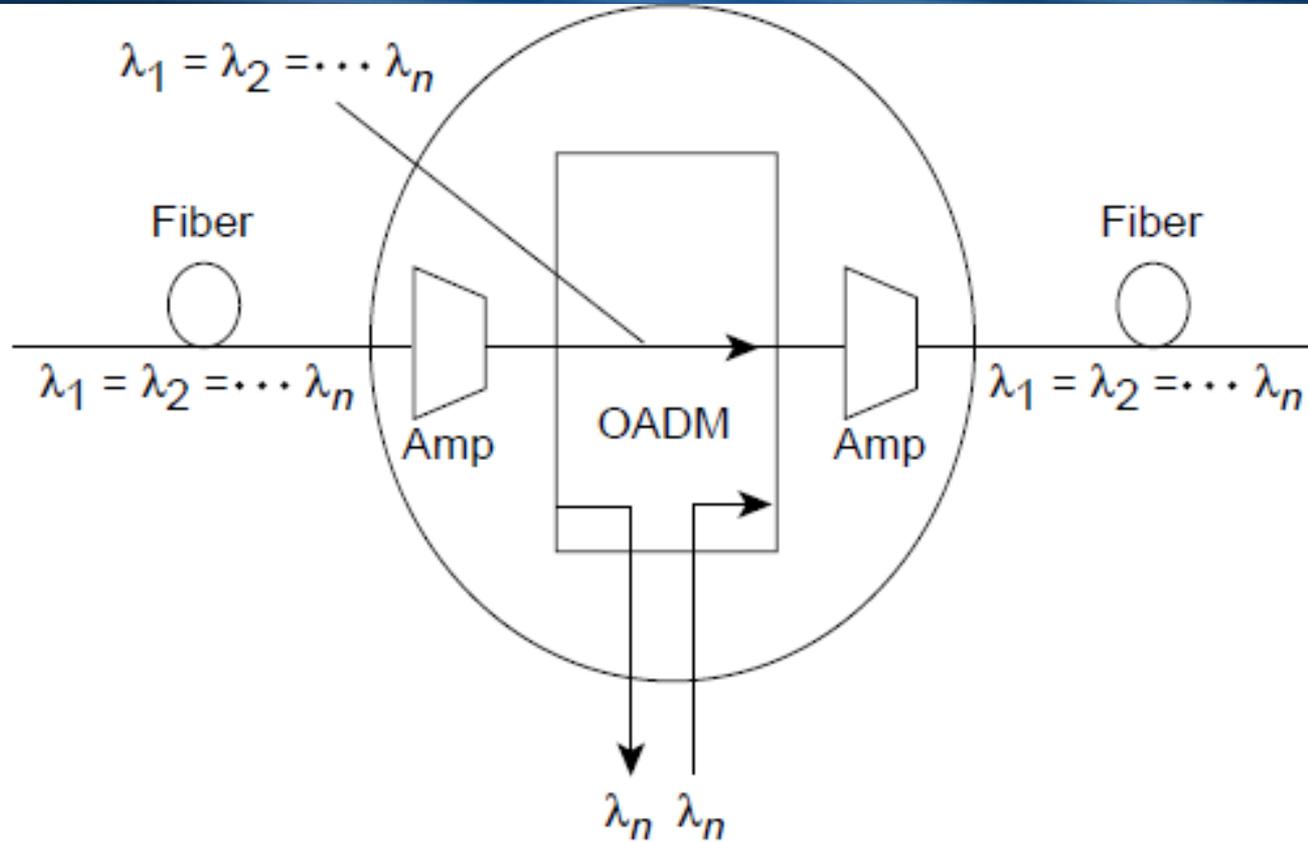
# Sistemas WDM

## REG (Unidad regeneradora)



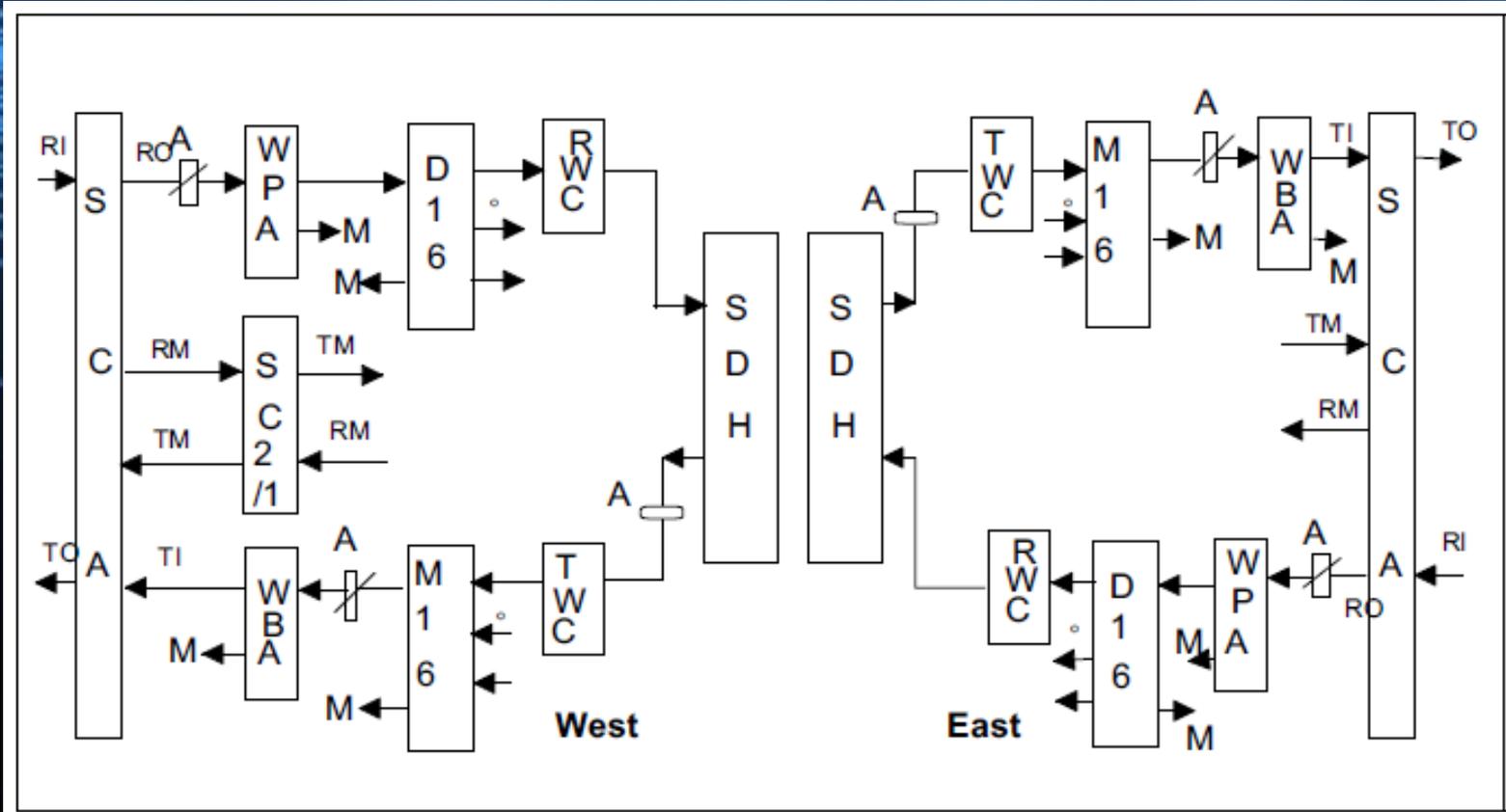
# Sistemas WDM

## OADM (Multiplexor óptico de Add-Drop)



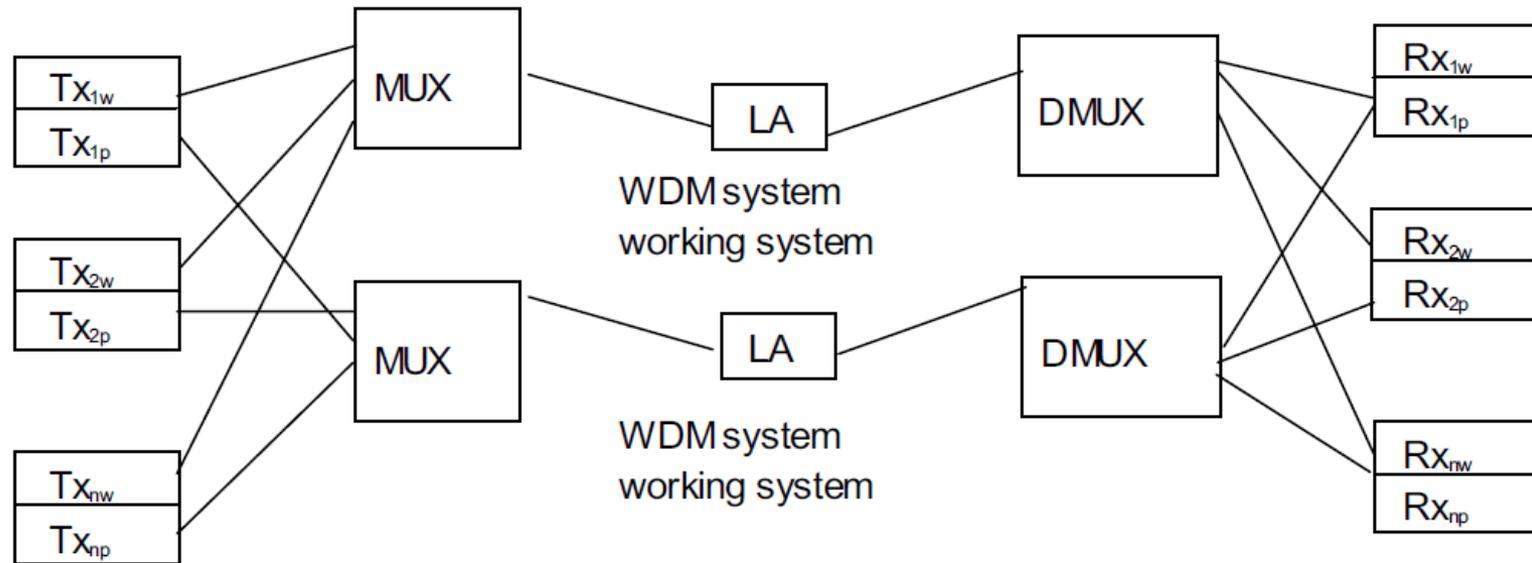
# Sistemas WDM

## OADM version Back-to-Back



# Sistemas WDM – Esquemas de Protección

## Esquema de protección 1:1 (por lambda e implementado en SDH)



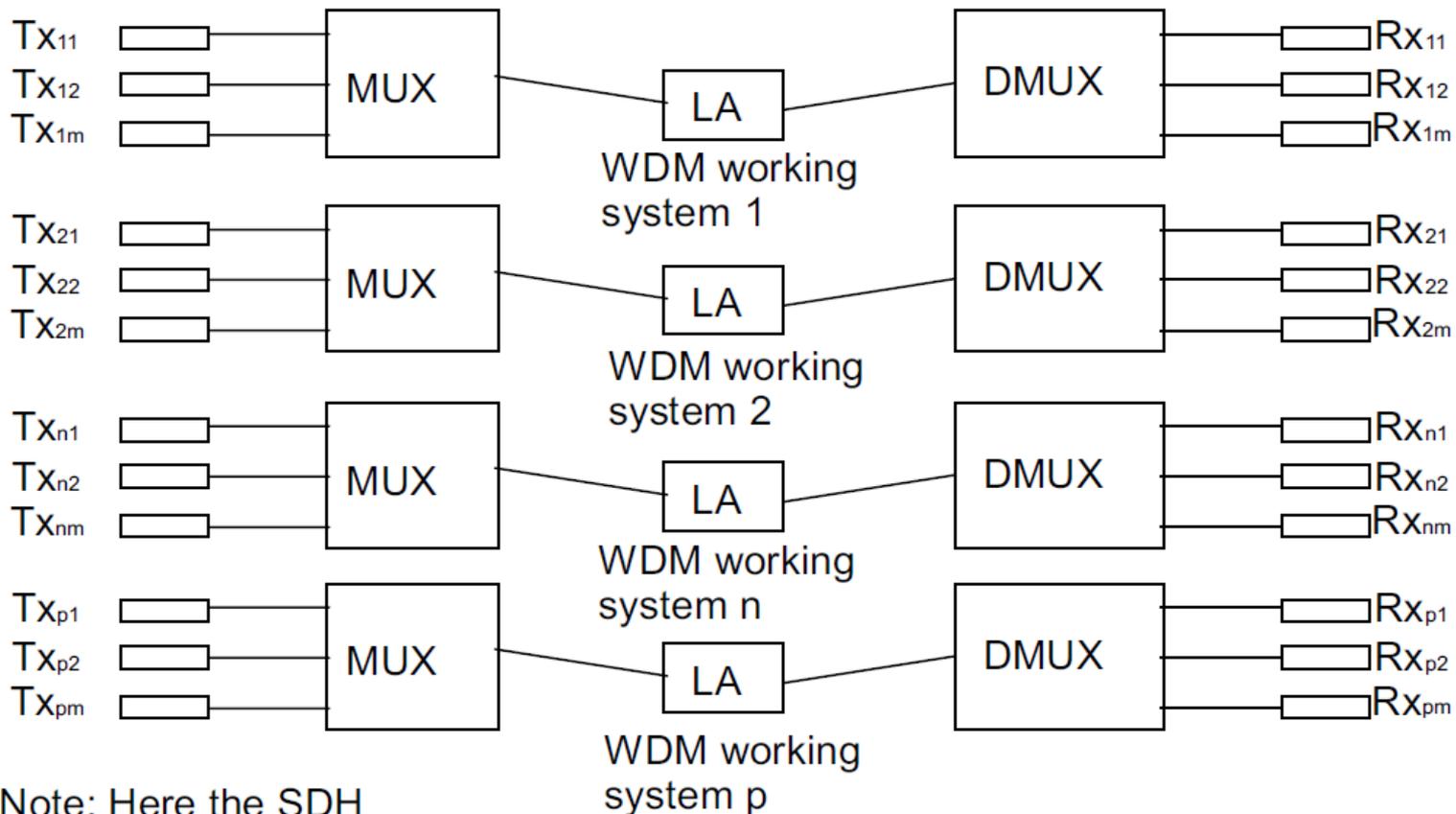
Note: Here SDH equipment is ADM

W: Working channel

P: Protection channel

# Sistemas WDM – Esquemas de Protección

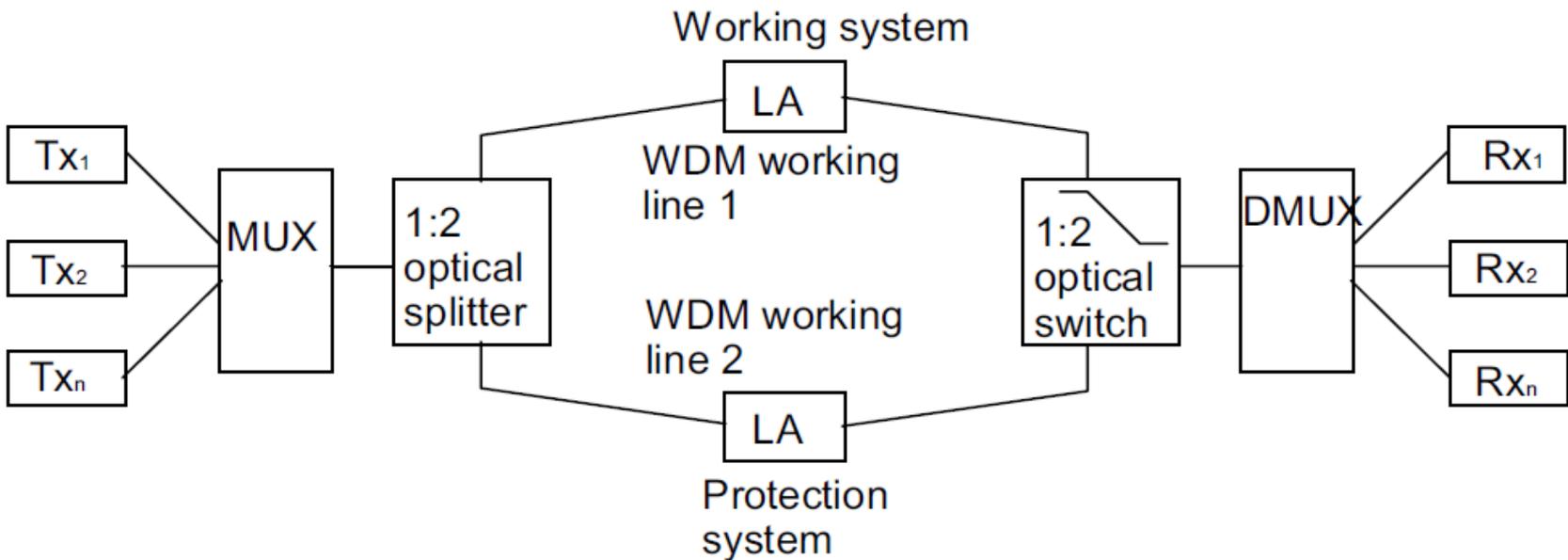
## Esquema de protección 1:N



Note: Here the SDH equipment is ADM

# Sistemas WDM – Esquemas de Protección

## OMSP (protección de la sección óptica multiplexora)



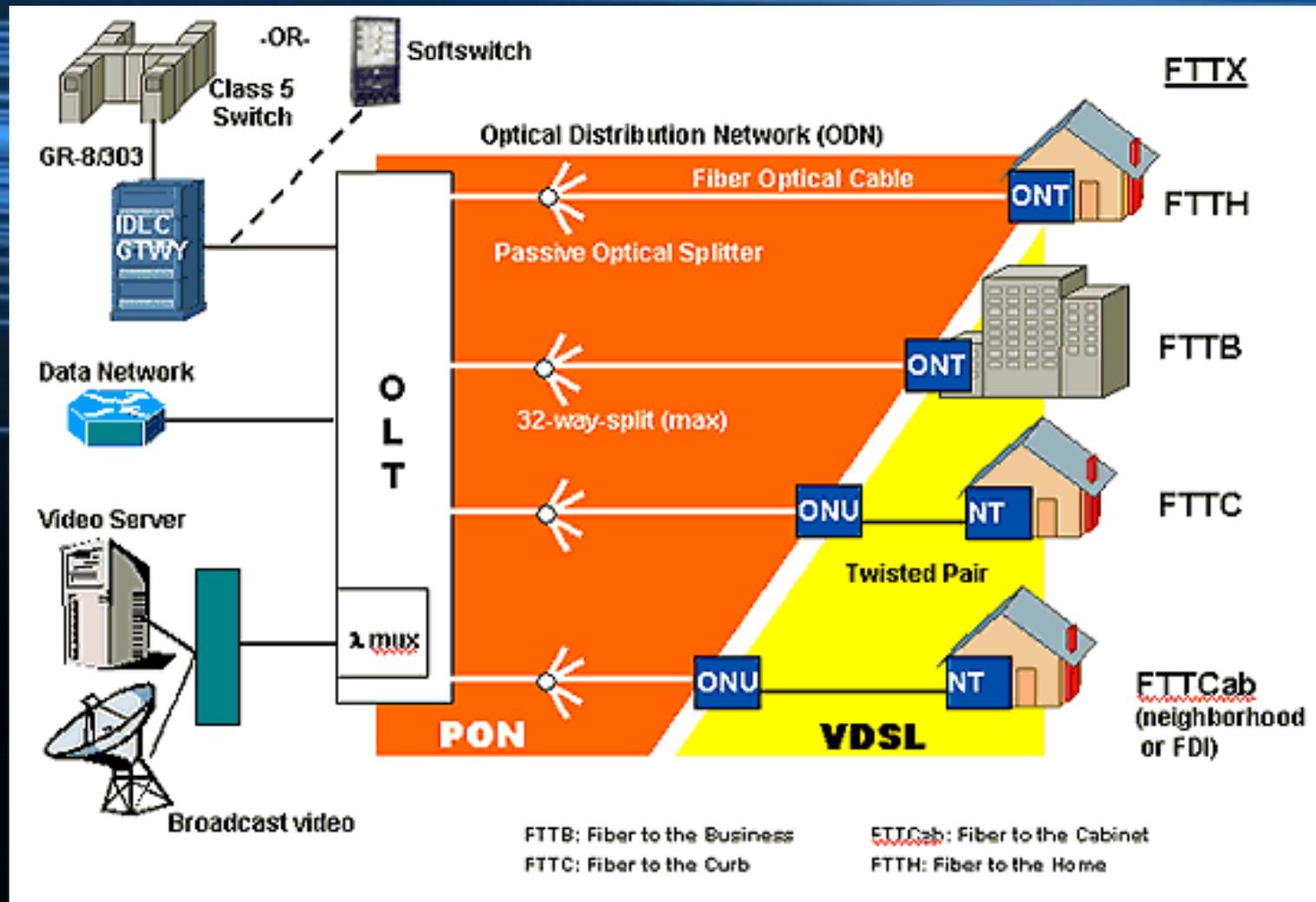
# Distribución FTTx

The background of the slide features a dark blue gradient with several bright blue, glowing lines that curve across the frame. Interspersed among these lines are several small, bright white circular dots, creating a network-like or fiber-optic aesthetic.

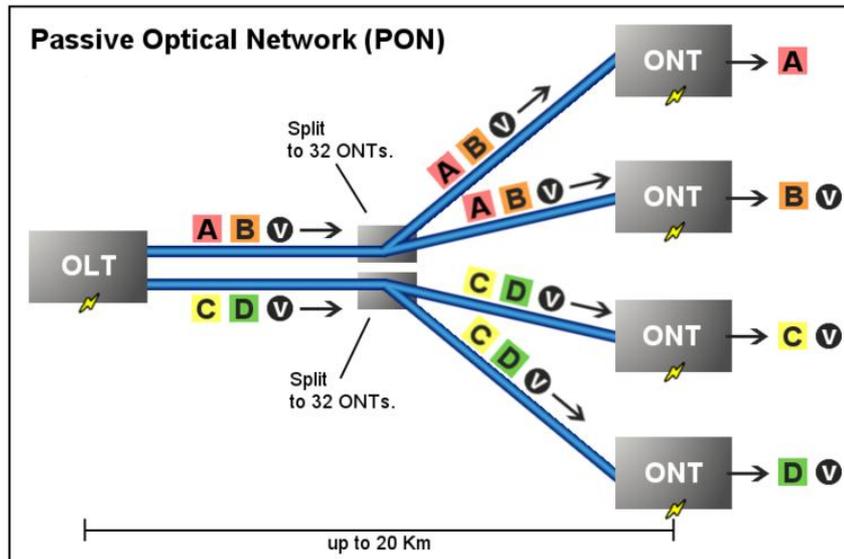
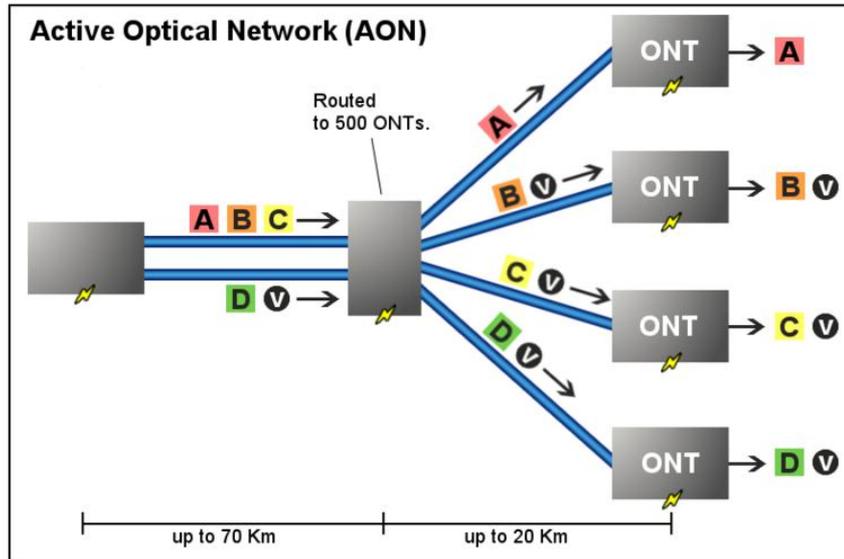
# Distribución FTx - Evolución

Redes PON

Passive Optical Network (Red pasivas ópticas)



# Distribución FTTx – AON Vs PON



Key: **A** - Data or voice for a single customer. **V** - Video for multiple customers.

# Distribución FTTx

	<b>EPON</b>	<b>GPON</b>
<b>Estándar</b>	IEEE 803.2 ah	ITU-T G.984
<b>Ancho de Banda</b>	- Hasta 1,25 Gbps simétrico	- Simétrico o asimétrico hasta 2.5/1.25 Gbps de DL/UL*
<b>Downstream (nm)</b>	1490 (voz y datos IP) y 1.550 (video RF)	1490 (voz y datos IP) y 1.550 (video RF)
<b>Upstream (nm)</b>	1.310	1.310
<b>Transmisión</b>	Ethernet	ATM, Ethernet, TDM

**FUTURO**

**10G-PON (o XG-PON)**

**Velocidades:**

**Downstream 10Gbps**

**Upstream 2.5 Gbps**

**Distancia  
máxima= 25Km**

**Nivel máximo de  
Splitter: 1:128**

# Distribución FTTx - GPON

## GPON

Es una Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit (GPON o Gigabit-capable Passive Optical Network)

Se basa en el estándar de recomendación técnica 983 y 984 de la ITU. Es el estándar de las redes PON a velocidades superiores a 1 Gbit/s.

Integración de servicios Telefonía (voz) , Datos y Video sobre una red óptica pasiva. Arquitectura Punto-Multipunto

Tráfico descendente Downstream (hacia el cliente): 2.5 Gbit/s

Tráfico ascendente Upstream: 1.25 Gbit/s

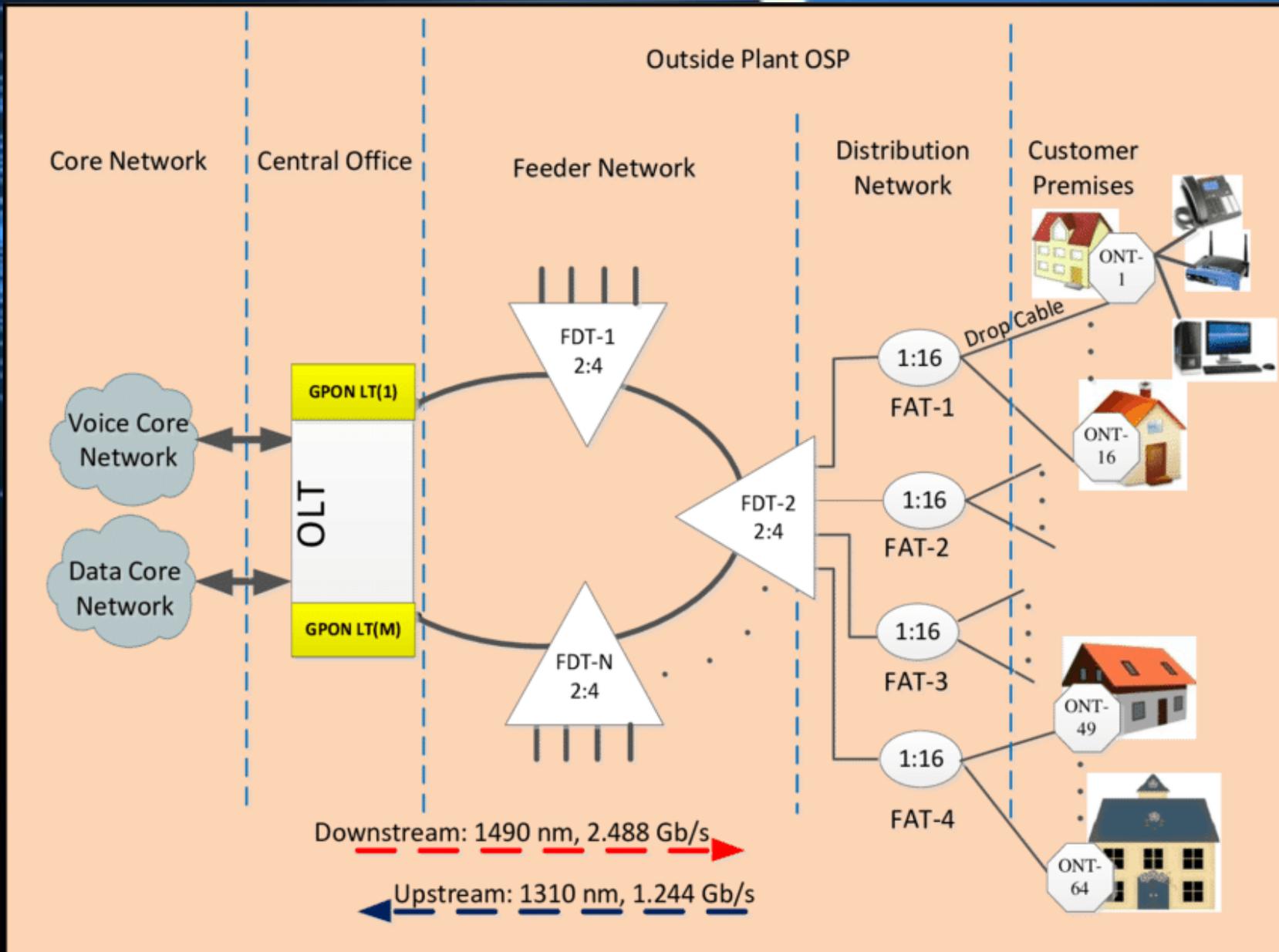


Normalización  
983 / 984



**Distancia máxima= 20Km**  
**Nivel máximo del Splitter 1:64**  
**Seguridad a nivel de Protocolo**

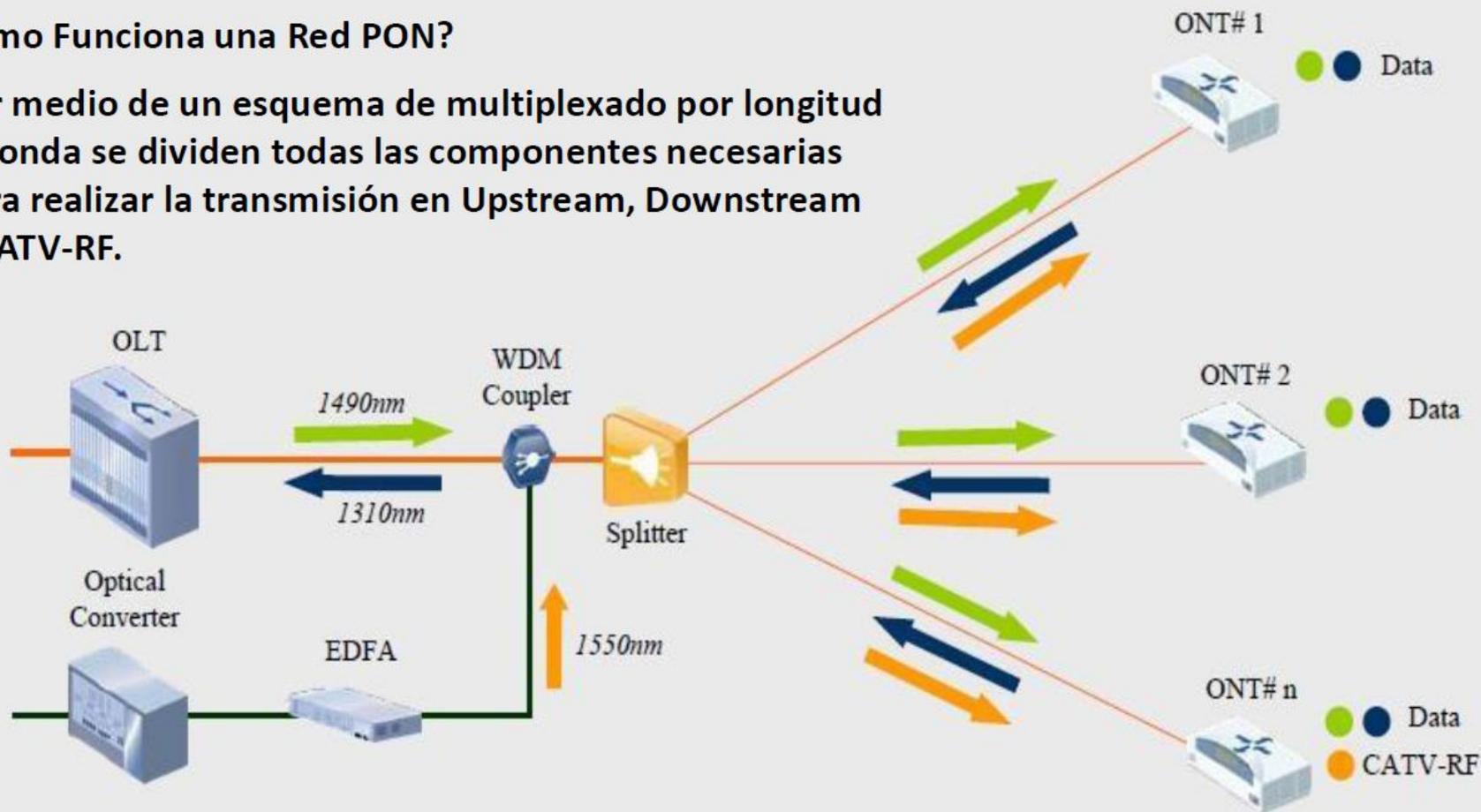
# Distribución FTTx - GPON



# Distribución FTTx - GPON

Cómo Funciona una Red PON?

Por medio de un esquema de multiplexado por longitud de onda se dividen todas las componentes necesarias para realizar la transmisión en Upstream, Downstream y CATV-RF.



OTN (cliente)

Ofrece al usuario final:

- Acceso de datos por puerto RJ45
- Acceso telefonico por puerto RJ 11 – Protocolos SIP o H.248
- Acceso opcional a CATV

# Distribución FTTx - GPON

---

## Componentes del sistema GPON

- **OLT (Optical Line Terminal):** Equipo activo que se encuentra en la central

- Provee enlaces de fibra óptica hacia la red del operador
- Concentra los enlaces de fibra óptica hacia los usuarios

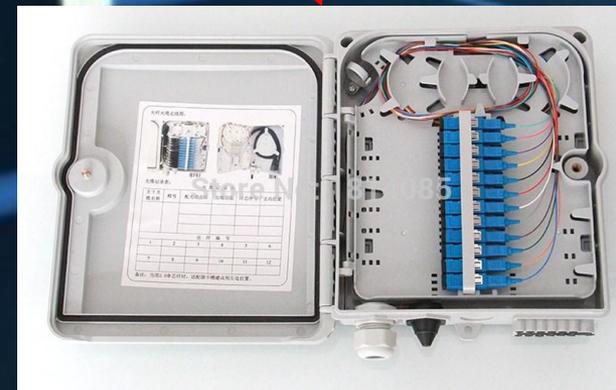
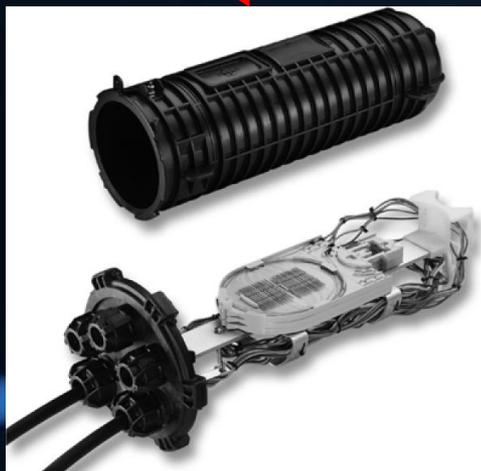
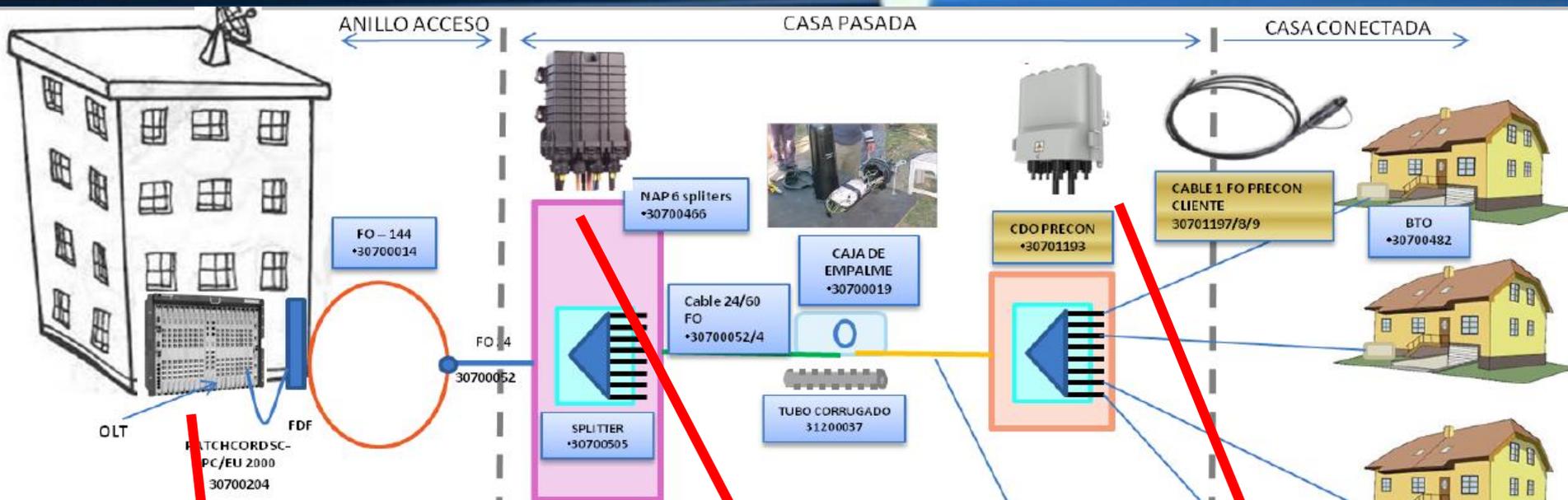
- **ONT (Optical Network Terminal) o ONU (Optical Network Unit):** Equipo activo del cliente

- Proveen interfaces de fibra óptica hacia la red ODN
- Proveen interfaces para servicios de clientes Voz, Datos y CATV-RF

- **ODN (Optical Distribution Network):** Red de distribución FO que interconecta ambos equipos activos.

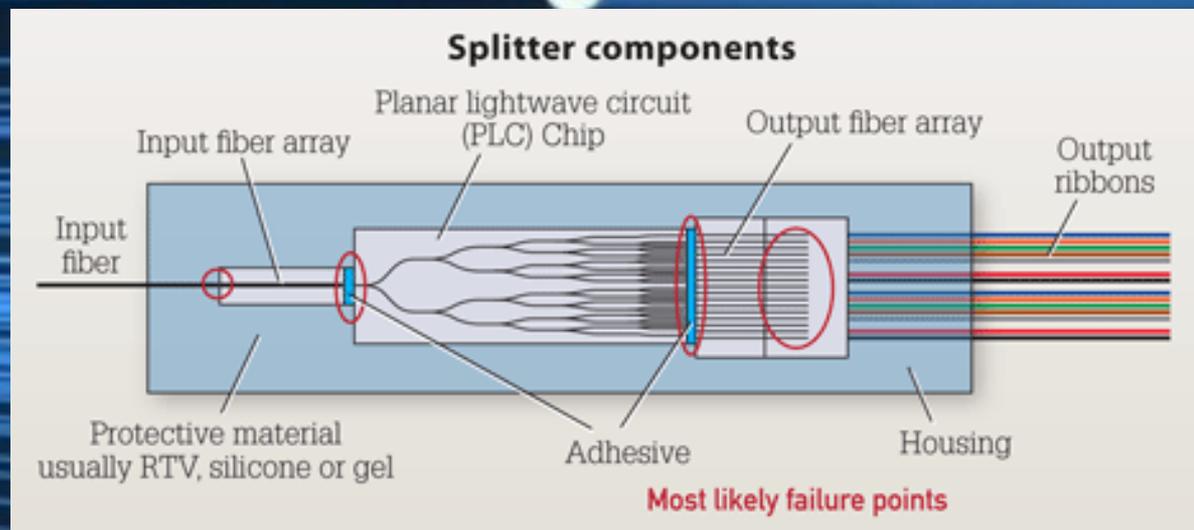
- La ODN contiene: Splitter/Divisores Ópticos, las Fibras Ópticas, cajas de empalme y conectores.

# Distribución FTx – Distribución



# Distribución FFTx - Componentes

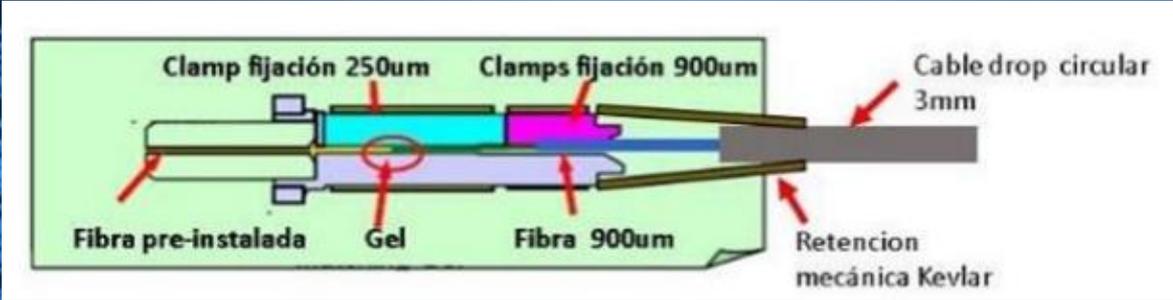
## SPLITTERS



# Distribución FTTx - Componentes



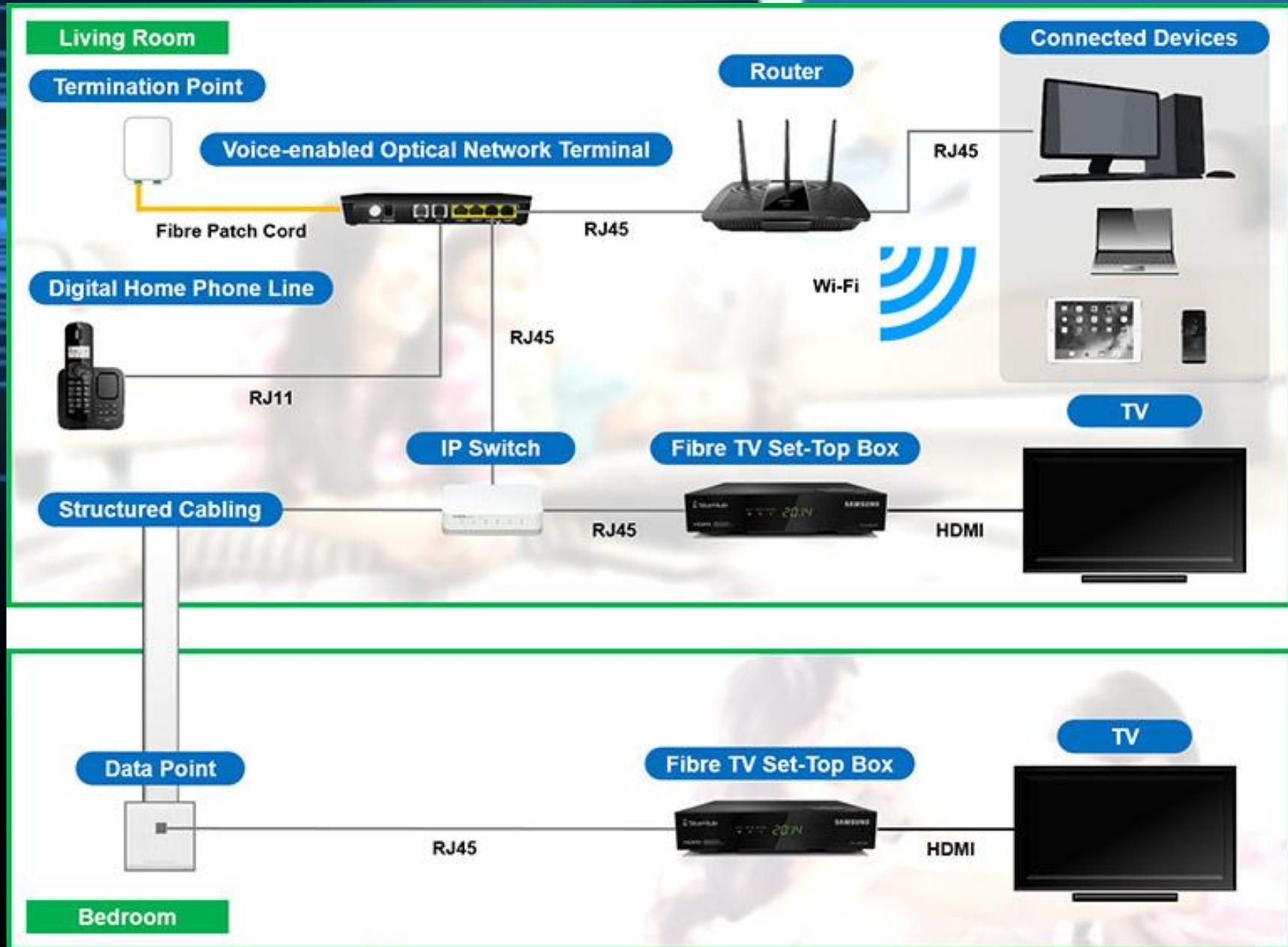
**BTO**



**ONT**



# Distribución FTTx – Conexión de clientes



# Distribución FFTx - Dimensionamiento

Estándares PON



Hasta 20 km entre OLT y ONT



Limitado por...

*Pérdidas de Inserción Splitters*

Relación de Split	Pérdida de inserción (dB)
1:2	3,6
1:4	7,2
1:8	11
1:16	14
1:32	17,5

- La potencia transmitida por los equipos (Launch Power), en general depende del tipo de equipo, clasificándose éstos en 4 clases (A, B, C, D) en función de dicha potencia. Un valor típico de éste parámetro para equipos clase B es entre +3 a +7 dBm.
- La sensibilidad en recepción de los equipos, es decir la mínima potencia de señal que es capaz de reconocer correctamente. Un valor típico para esta es de -26dBm.

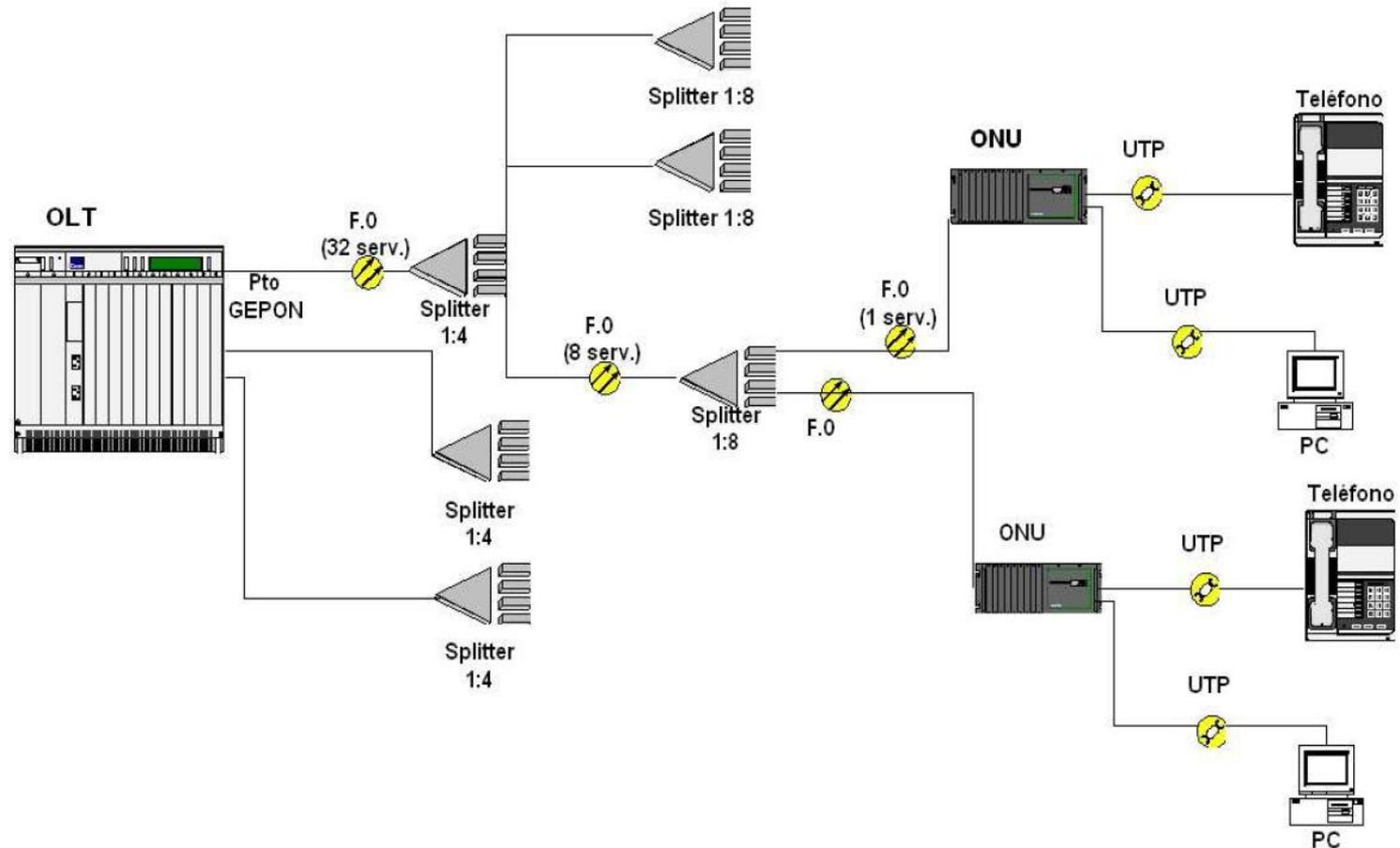
# Distribución FFTx - Dimensionamiento

- La pérdida de inserción introducida por el cable de fibra óptica, esta dependerá de la longitud de onda a utilizar, para las usadas en estas tecnologías PON esta pérdida es de 0.40dB/km para una longitud de onda de 1310nm y de 0.35dB/km para 1490nm.
- Pérdida introducida por los splitters, dependiente de las relaciones de splitting, según tabla anterior.
- Pérdida introducida por los conectores, típicamente esta es de 0.5dB aproximadamente.
- Pérdida introducida por cada empalme, esta depende de que tipo de empalme se trate, un empalme mecánico introducirá típicamente una pérdida aproximada de 0.5dB, mientras que en el caso de un empalme por fusión será de aproximadamente 0.1dB.

# Distribución FTTx - Arquitecturas

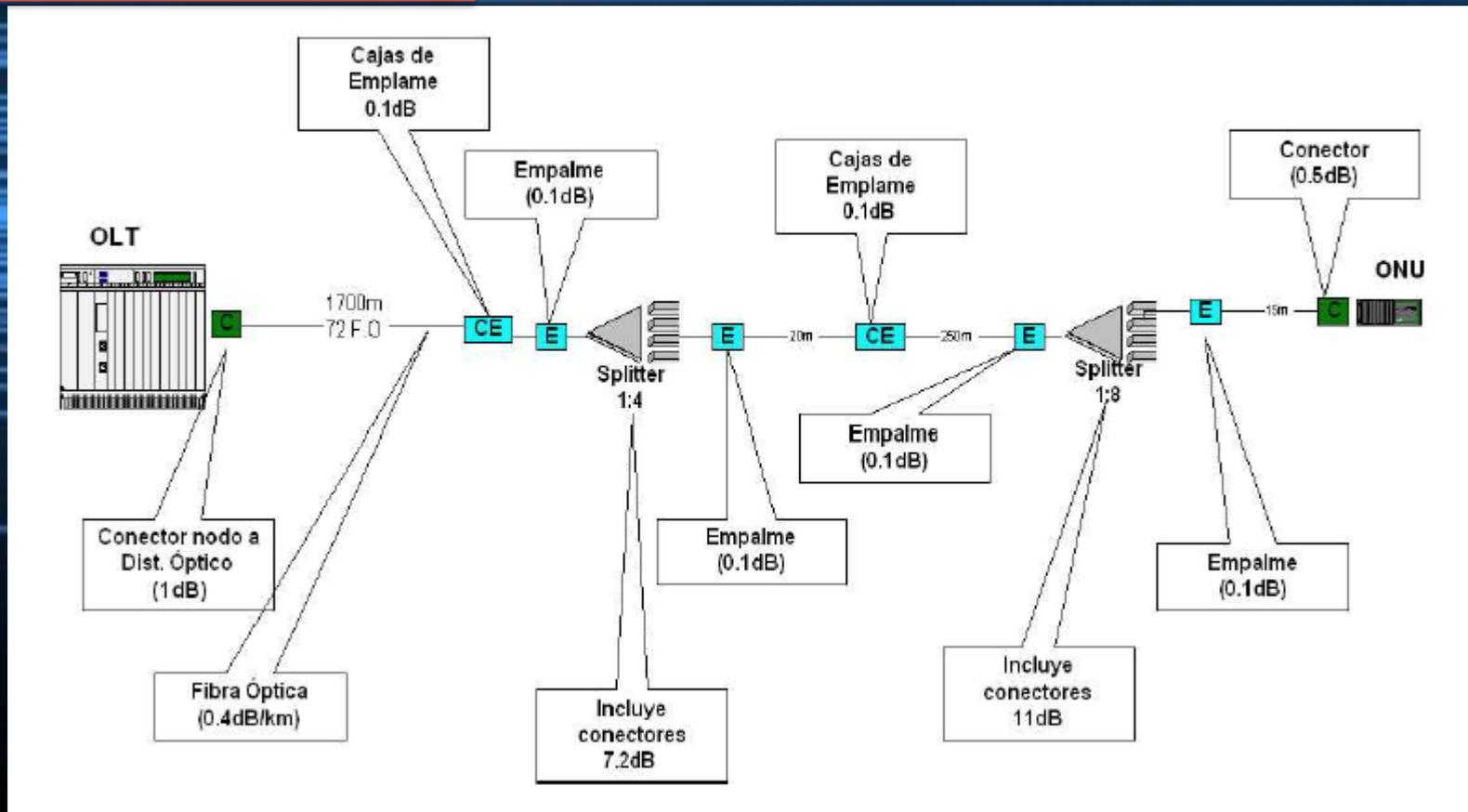
## Arquitectura de la red

### Alternativa 1 – Dos niveles de Splitters



# Distribución FTx - Arquitecturas

## Análisis de atenuaciones



$$\text{F.O.: } \frac{1700m + 250m + 20m + 15m}{1000} * 0.4 \text{ dB/km} = 0.8 \text{ dB}$$

Conectores: 1.0dB + 0.5dB = 1.5dB

Empalmes: 6x0.1dB = 0.6dB

Splitters: 7.2dB + 11 dB = 18.2dB

Atenuación total 21.1 dB < Budget de la norma 29 dB → OK!

# Distribución FFTx - Arquitecturas

---

## Alternativa 1 – Ventajas y Desventajas

### Ventajas

- Al tenerse mayor cantidad de puertos por nodo que en la alternativa 2 según se verá, las hipótesis de la multiplexación estadística son más realistas, con lo cual se podría tener una relación de concentración mayor, o en su defecto el tráfico de pico por abonado podrá ser mayor que el especificado.
- Se hace un uso más eficiente de los recursos respecto a la alternativa 2, tanto de la fibra óptica como de los equipos, y por lo tanto es menos costosa.
- Cada caja de splitters intermedio “abarca” la zona de una CD de cobre lo que facilitaría y simplificaría el vuelco en caso de ser este masivo.
- La etapa final de splitting de relación 1:8 (por cada elemento terminal 8 servicios) se asemeja a la realidad que hoy tiene la Planta Externa de cobre donde generalmente los elementos terminales (cajitas de dispersión) atienden 10 servicios posibles.

# Distribución FTTx - Arquitecturas

---

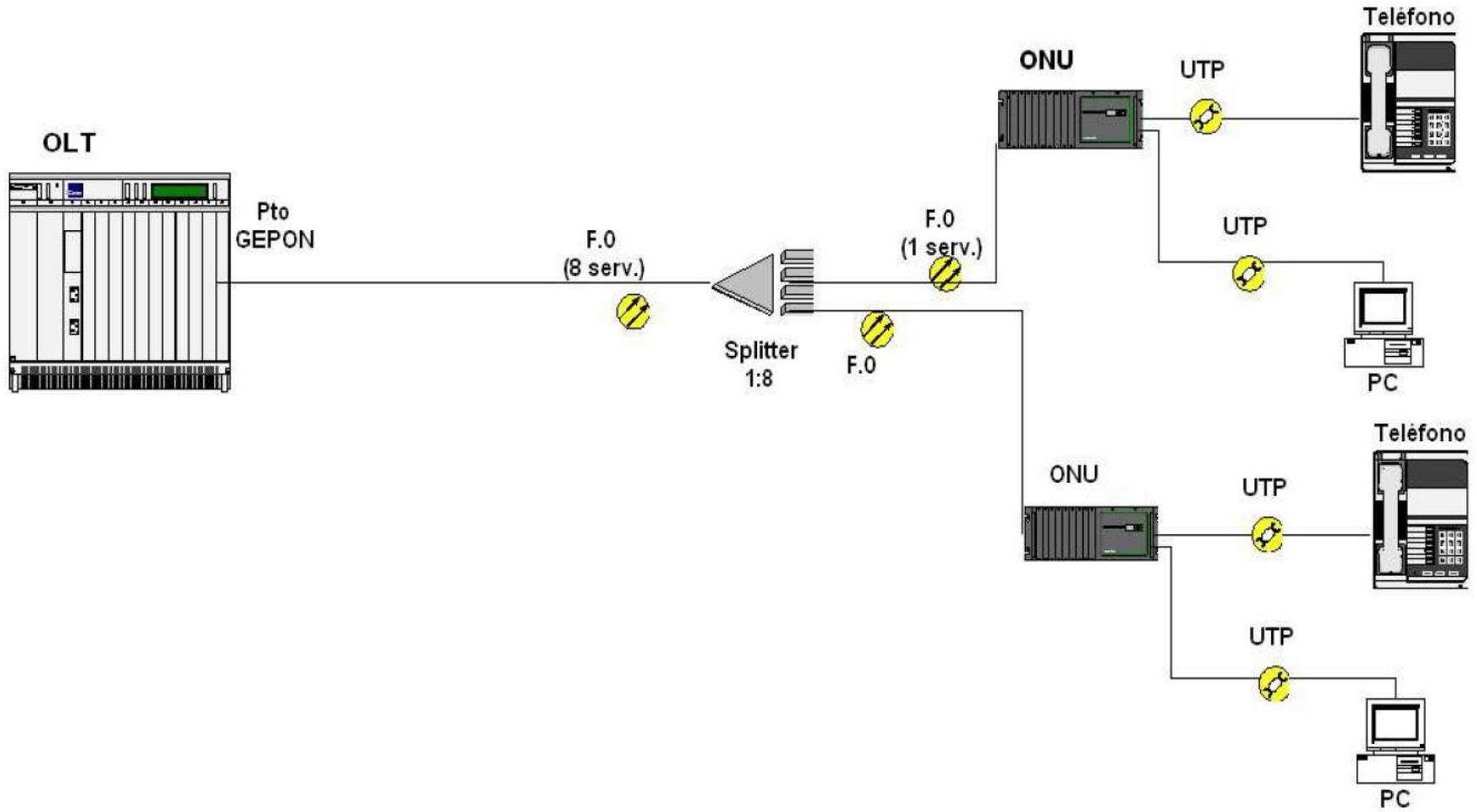
## Alternativa 1 – Ventajas y Desventajas

### Desventajas

- Es una tecnología nueva y requiere un mayor esfuerzo de capacitación y adaptación de las estructuras operativas.
- Debido a la mayor capacidad de servicios soportados por un mismo cable de FO en relación a los soportados por un cable de cobre, se vuelve más crítico los incidentes de roturas dado que el impacto es mayor. Se debería tener en cuenta algún mecanismo de contingencia o respaldo.
- La distancia admitida es menor que en la alternativa 2 según se vera por disponer una etapa más de splitter y más accesos por puerto PON

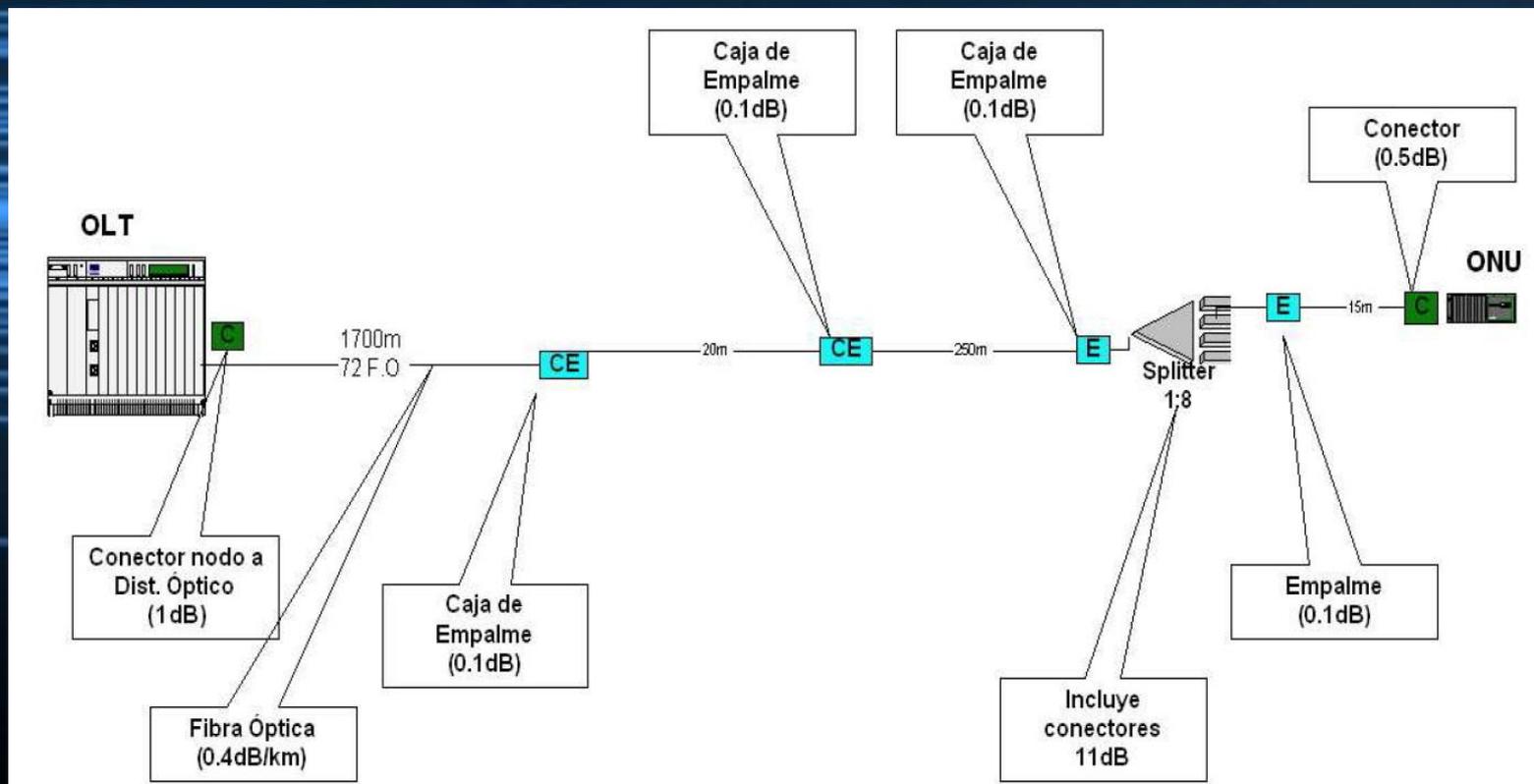
# Distribución FTTx - Arquitecturas

## Alternativa 2 – Un nivel de Splitters



# Distribución FTx - Arquitecturas

## Análisis de atenuaciones



$$\text{F.O.: } \frac{1700m + 250m + 20m + 15m}{1000} * 0.4 \text{ dB/km} = 0.8 \text{ dB}$$

Conectores:  $1.0 \text{ dB} + 0.5 \text{ dB} = 1.5 \text{ dB}$

Empalmes:  $4 \times 0.1 \text{ dB} = 0.4 \text{ dB}$

Splitters: 11 dB

Atenuación total 13.7 dB < Budget de la norma 29 dB  
→ OK!

# Distribución FTTx - Arquitecturas

---

## Alternativa 2 – Ventajas y Desventajas

### Ventajas

- Permite mayores anchos de banda por cliente que la alternativa 1.
- La distancia admitida es mayor que en la alternativa 1 por disponer solo una etapa de splitter y menos accesos por puerto PON.

### Desventajas

- Es una tecnología nueva y requiere un mayor esfuerzo de capacitación y adaptación de las estructuras operativas.
- Se tiene una mayor ocupación de ductos que la alternativa 1 por la menor concentración de servicios.
- Tiene costo mayor que la alternativa 1 por hacer un uso menos eficiente de los recursos de la red por la menor concentración de servicios.

# Cursos de Nuevas Tecnologías

**FIN**

