

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

Historia de la Fibra Óptica

Introducción – Historia de la FO

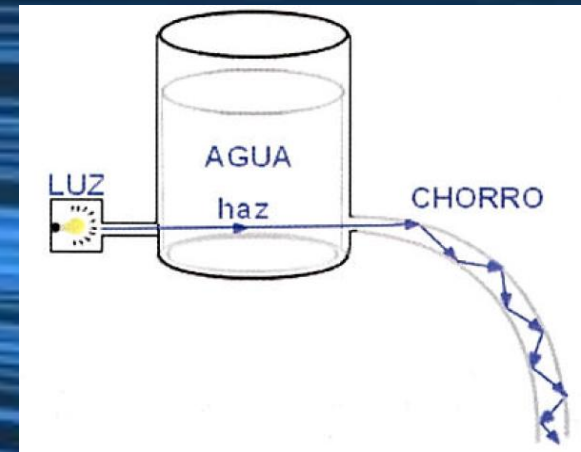
1626: Snell pronuncia las leyes de Reflexión y Refracción de la luz.

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

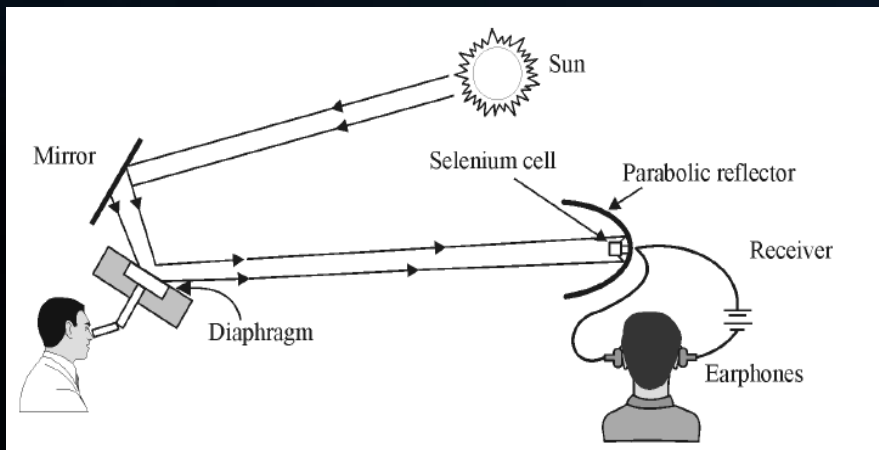
1810: Fressnel establece las bases matemáticas sobre propagación de ondas.

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.

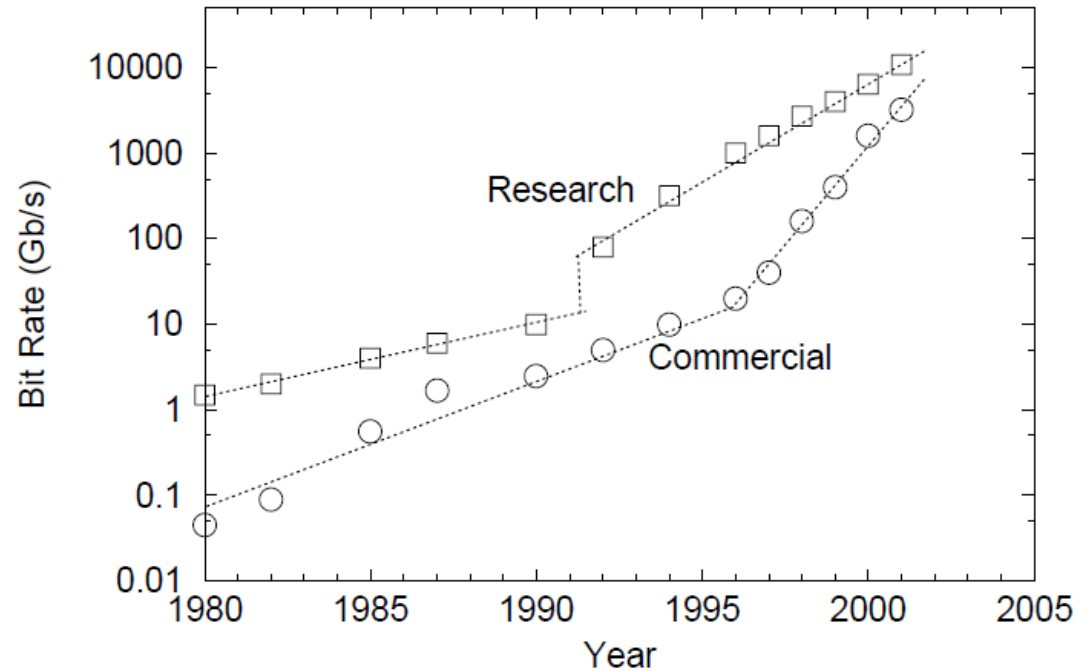
1953 : Bram van Heel realizia la primera transmisión de una imagen por un grupo de fibras ópticas con recubrimiento transparente.

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 único 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 is a dark blue gradient with several bright blue, slightly curved lines that sweep across the frame from the bottom left towards the top right. Scattered throughout the background are several small, bright white circular dots, some of which appear to be part of the blue lines, giving the impression of light rays or stars.

Naturaleza de la Luz

Introducción – Naturaleza de la luz

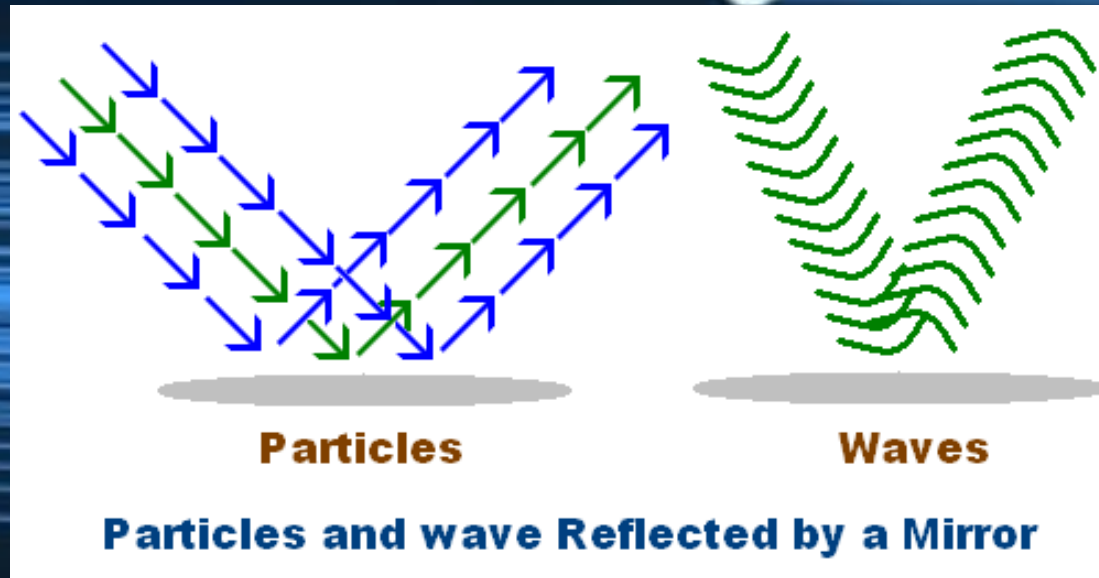
La luz es una onda electromagnética , que según el momento en la que se la observa, puede comportarse como una onda o como una partícula.

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.

Física de la Luz

The background of the slide is a dark blue gradient. It features several bright blue, slightly curved lines that sweep across the frame from the bottom left towards the top right. Scattered throughout this background are several small, bright white circular dots, some of which appear to be part of the blue lines, giving the impression of light rays or stars in a cosmic setting.

Introducción – Óptica geométrica

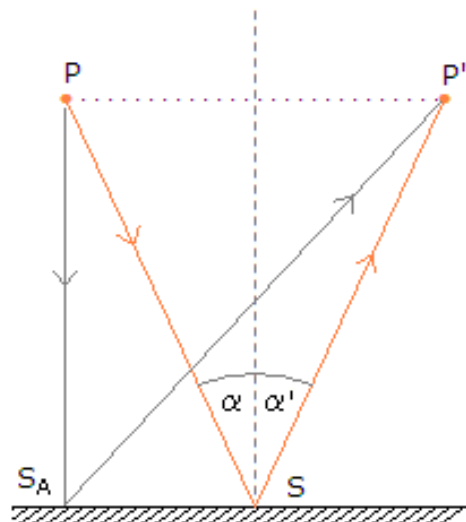
Óptica Geométrica



Describe la propagación de la luz en terminos de rayos

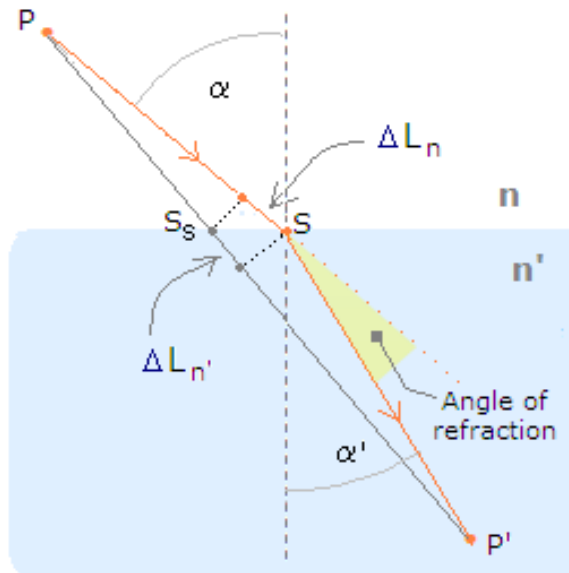
FERMAT'S PRINCIPLE: ILLUSTRATION

— RAY PATH IN REFLECTION
— POSSIBLE ALTERNATIVE PATH



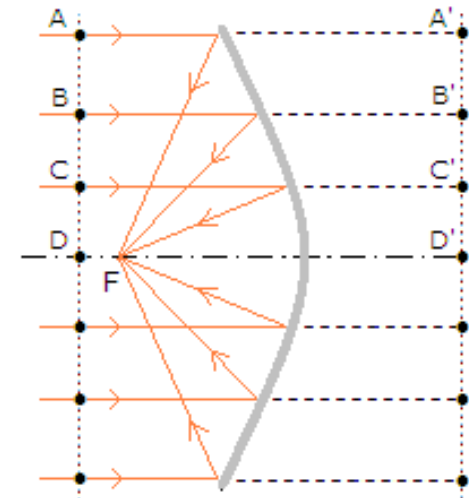
(A)

— 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.

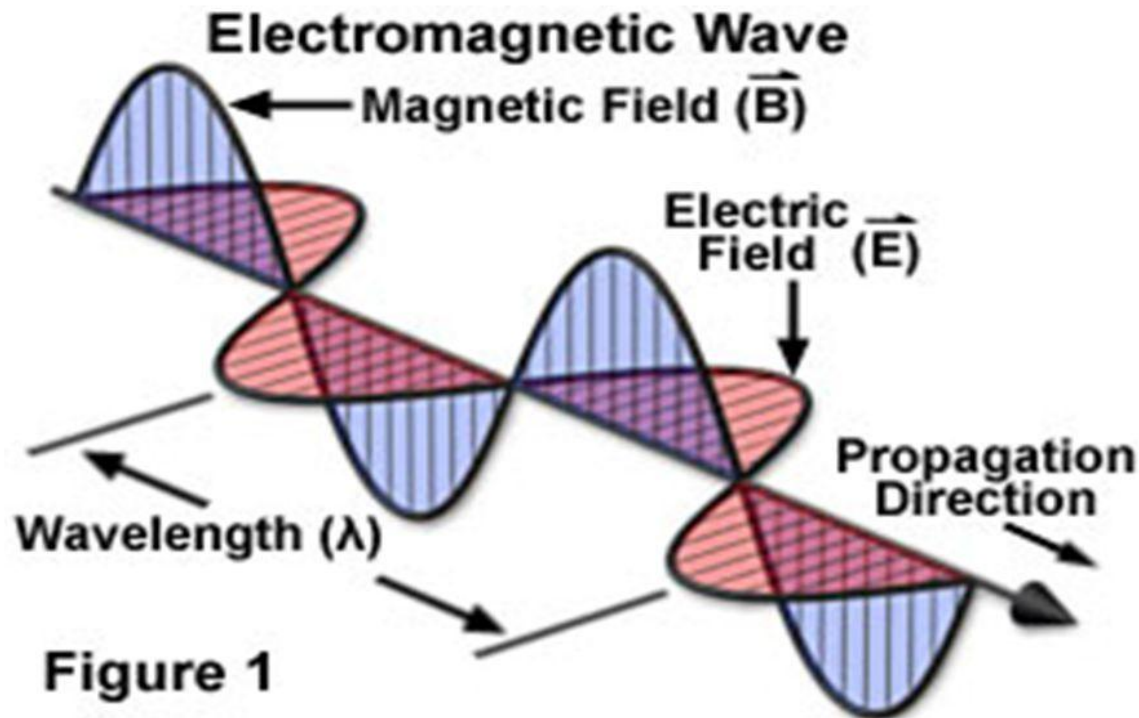
Introducción – Ondas y sus parámetros

Onda Electromagnética

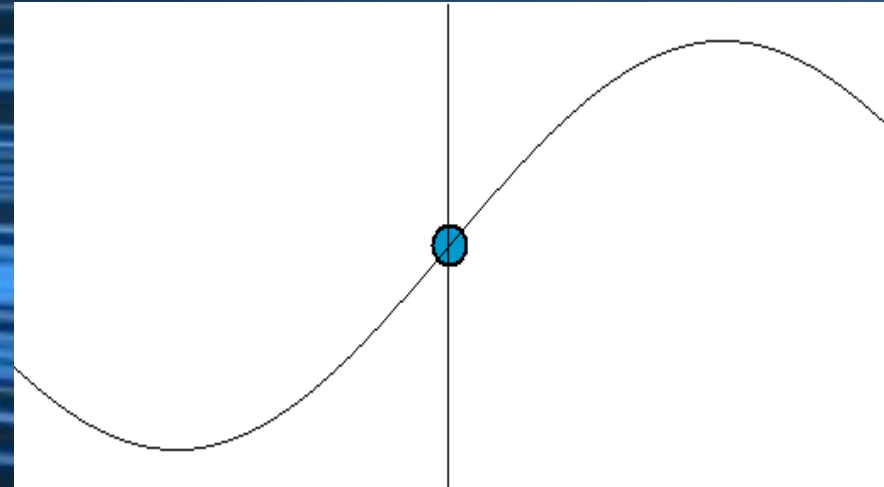
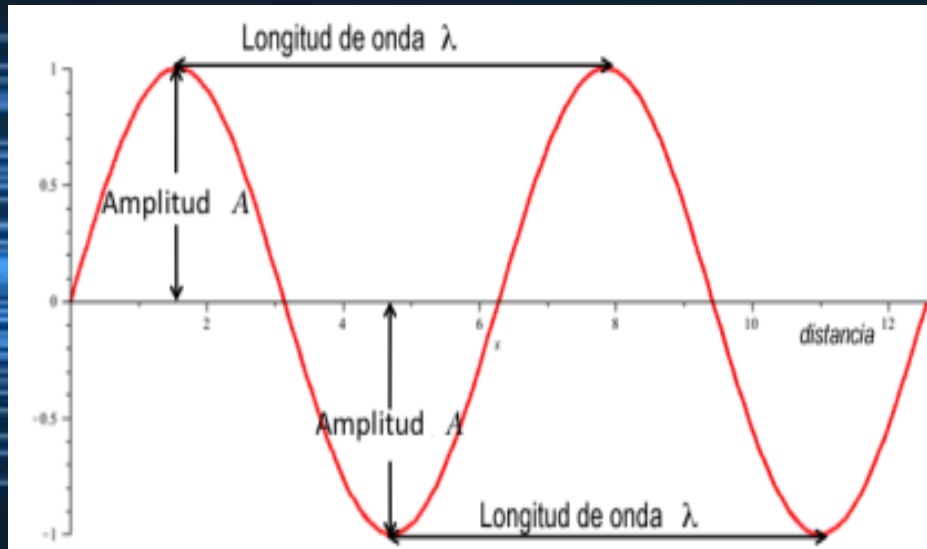
Campo eléctrico oscilante

+

Campo magnético oscilante



Introducción – Ondas y sus parámetros

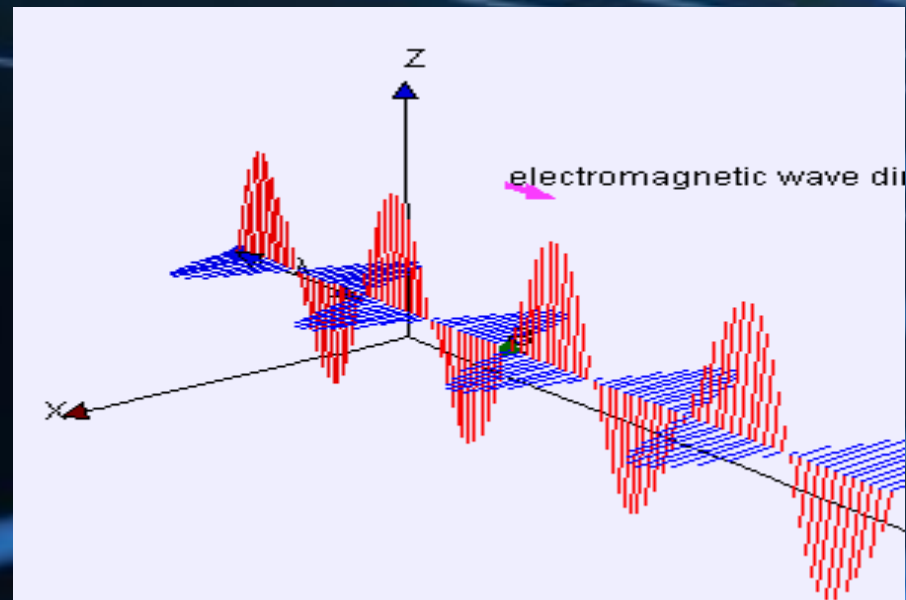


Periodo (T) = tiempo entre repetición de la onda .

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

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

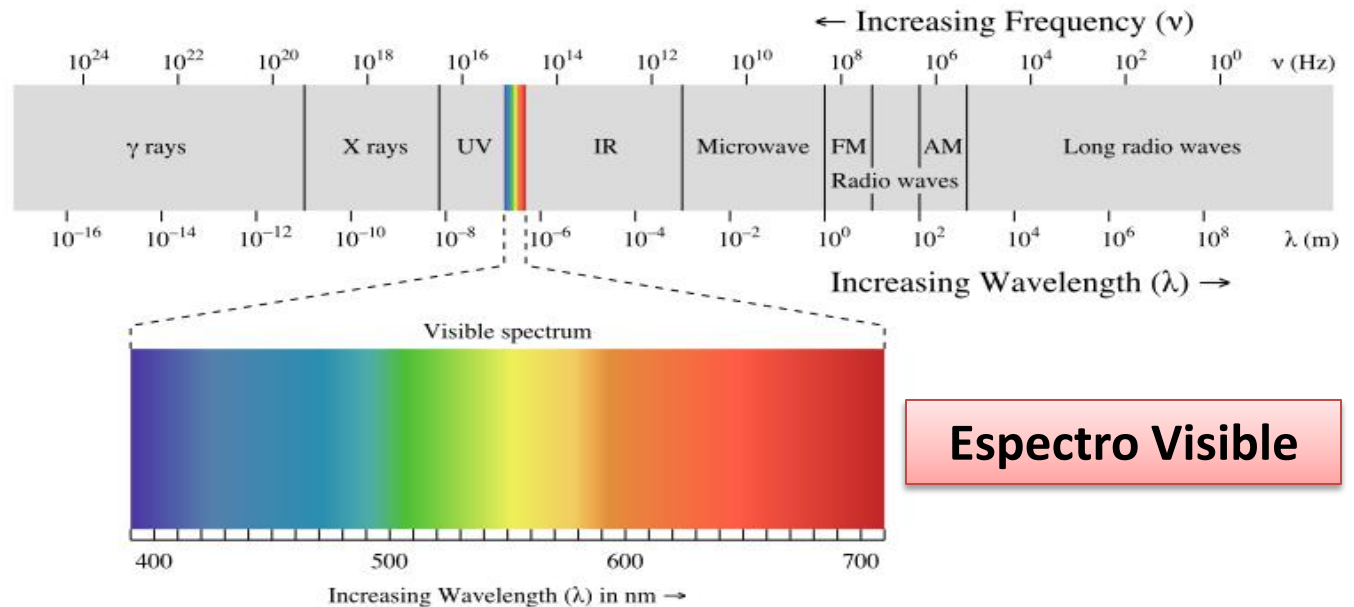
$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\int \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{a}$$

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

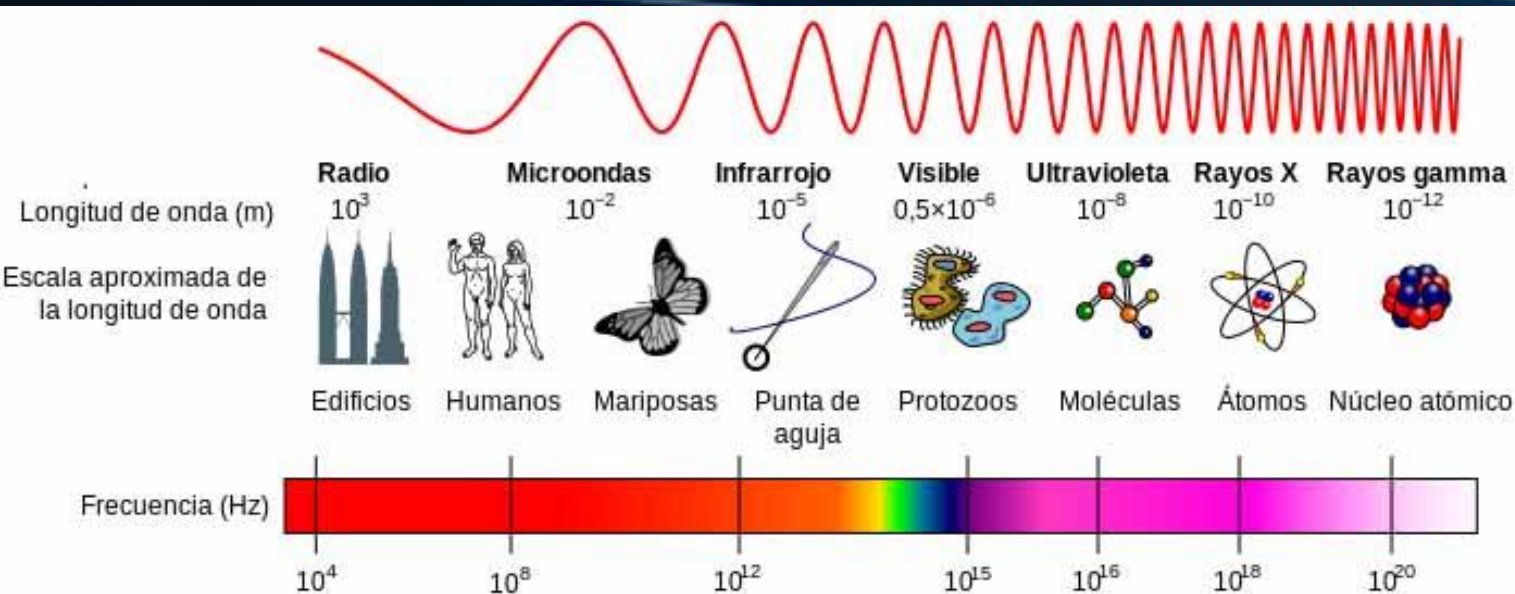
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{enc} + \mu_0 \epsilon_0 \int \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \cdot d\vec{a}$$

Introducción – Naturaleza de la luz

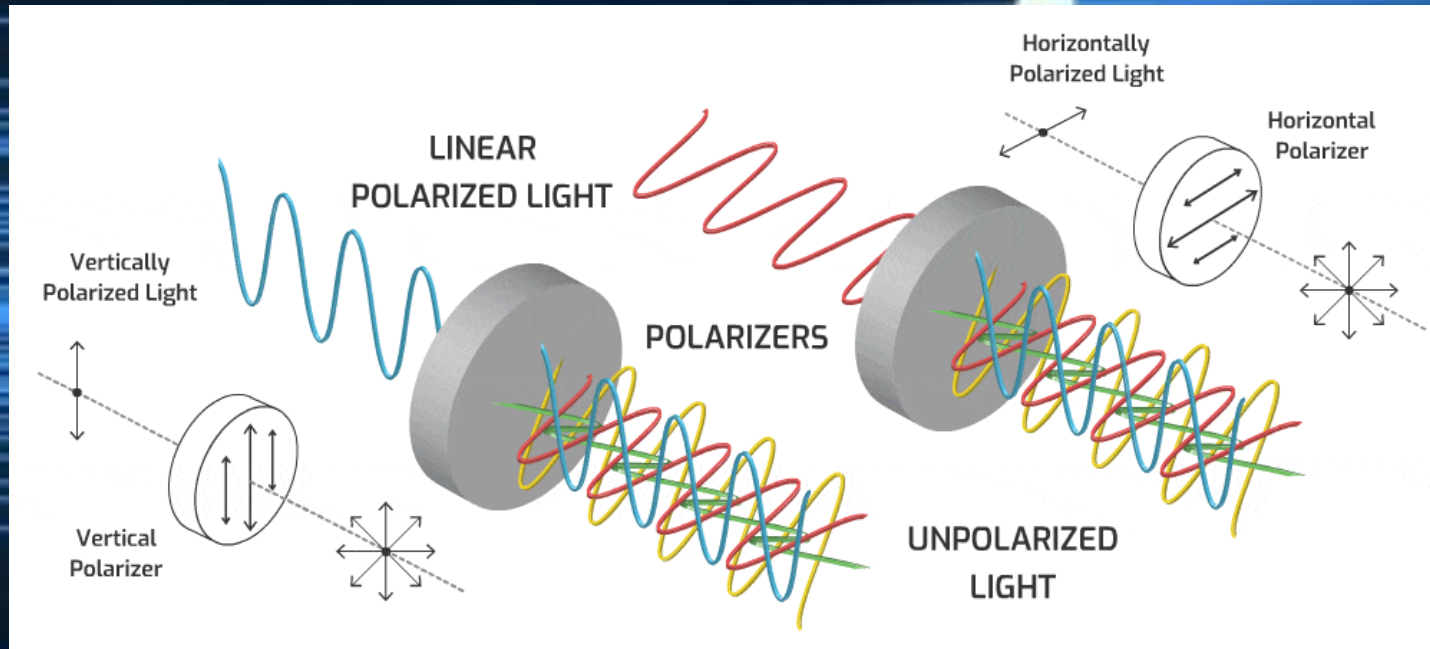
Espectro Electromagnético



Espectro Visible

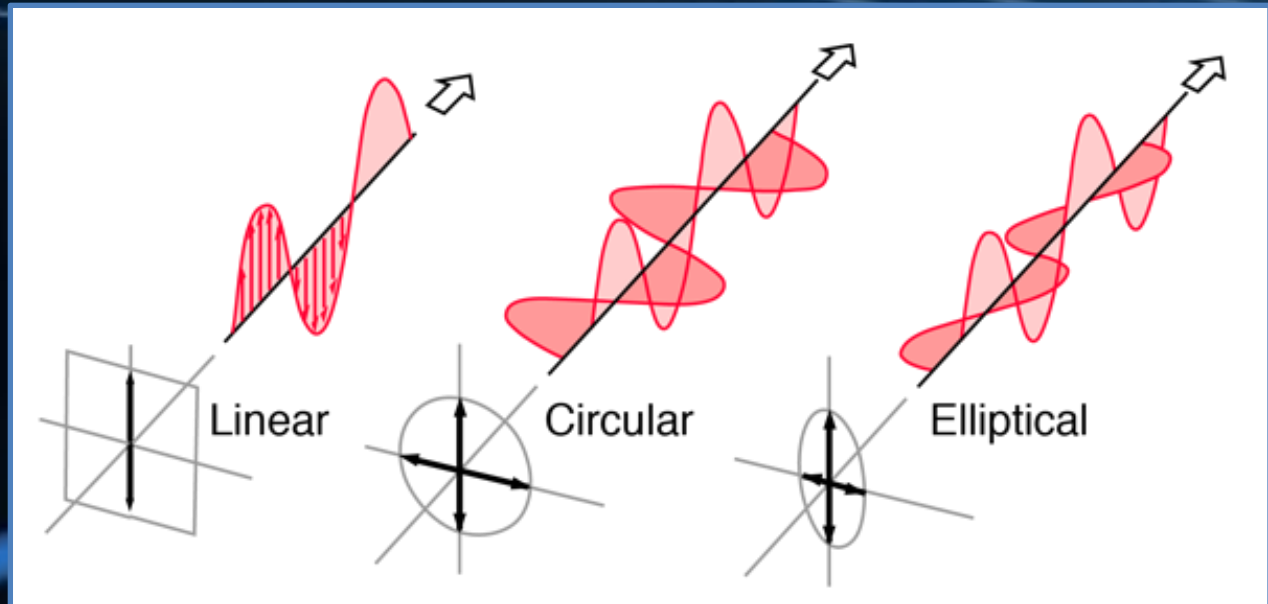


Introducción – Naturaleza de la luz

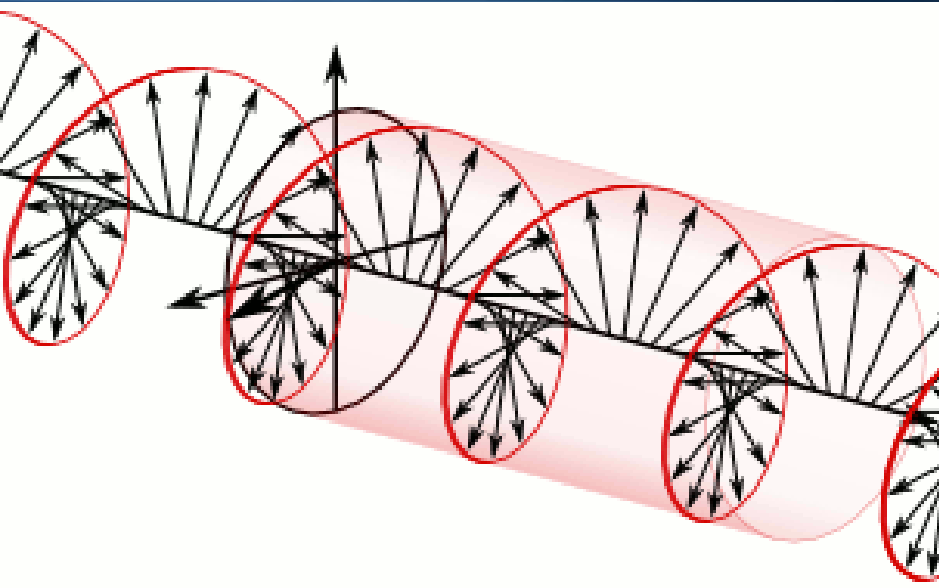


**Polarización
de los haces
de luz**

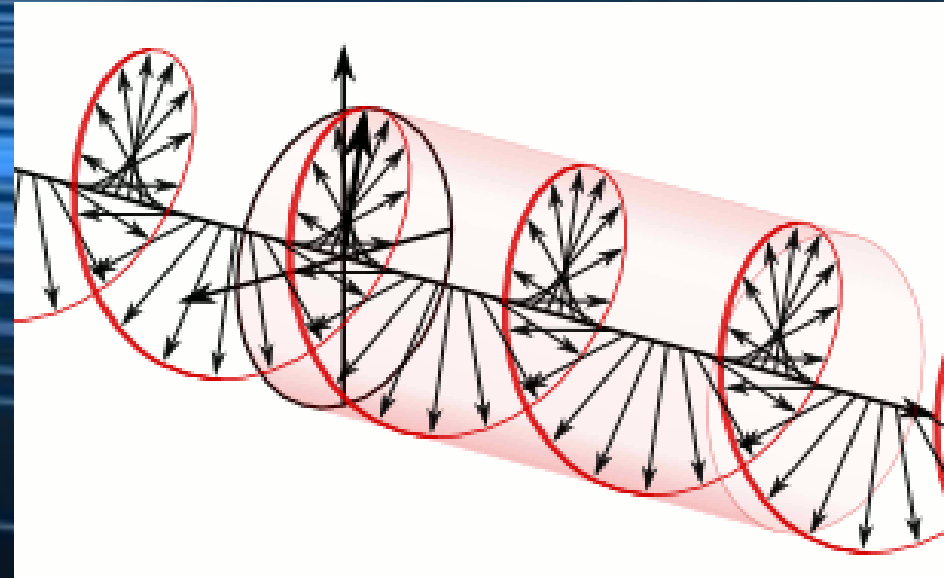
Tipos de polarizaciones



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

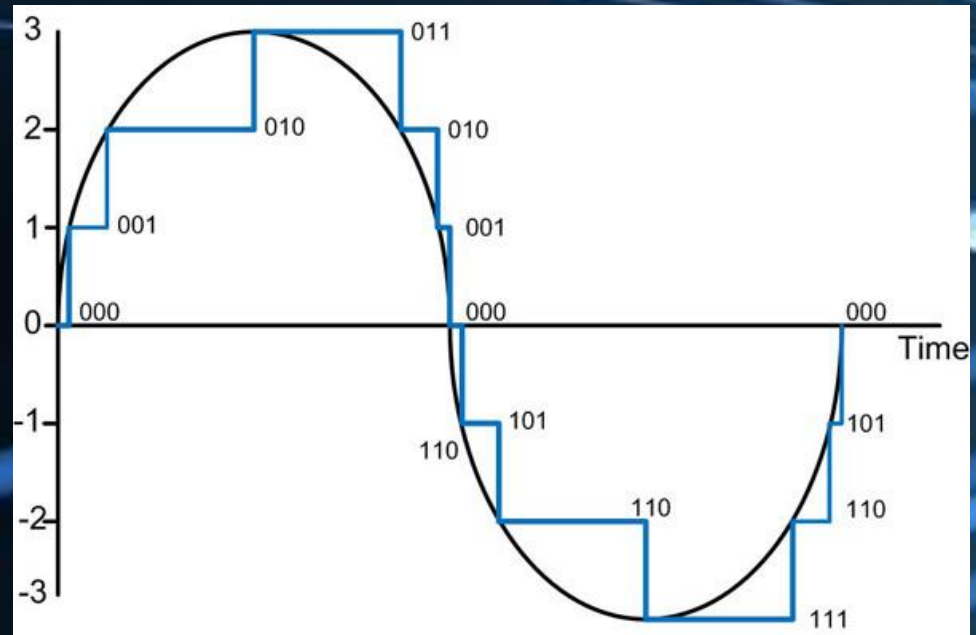


digital signal

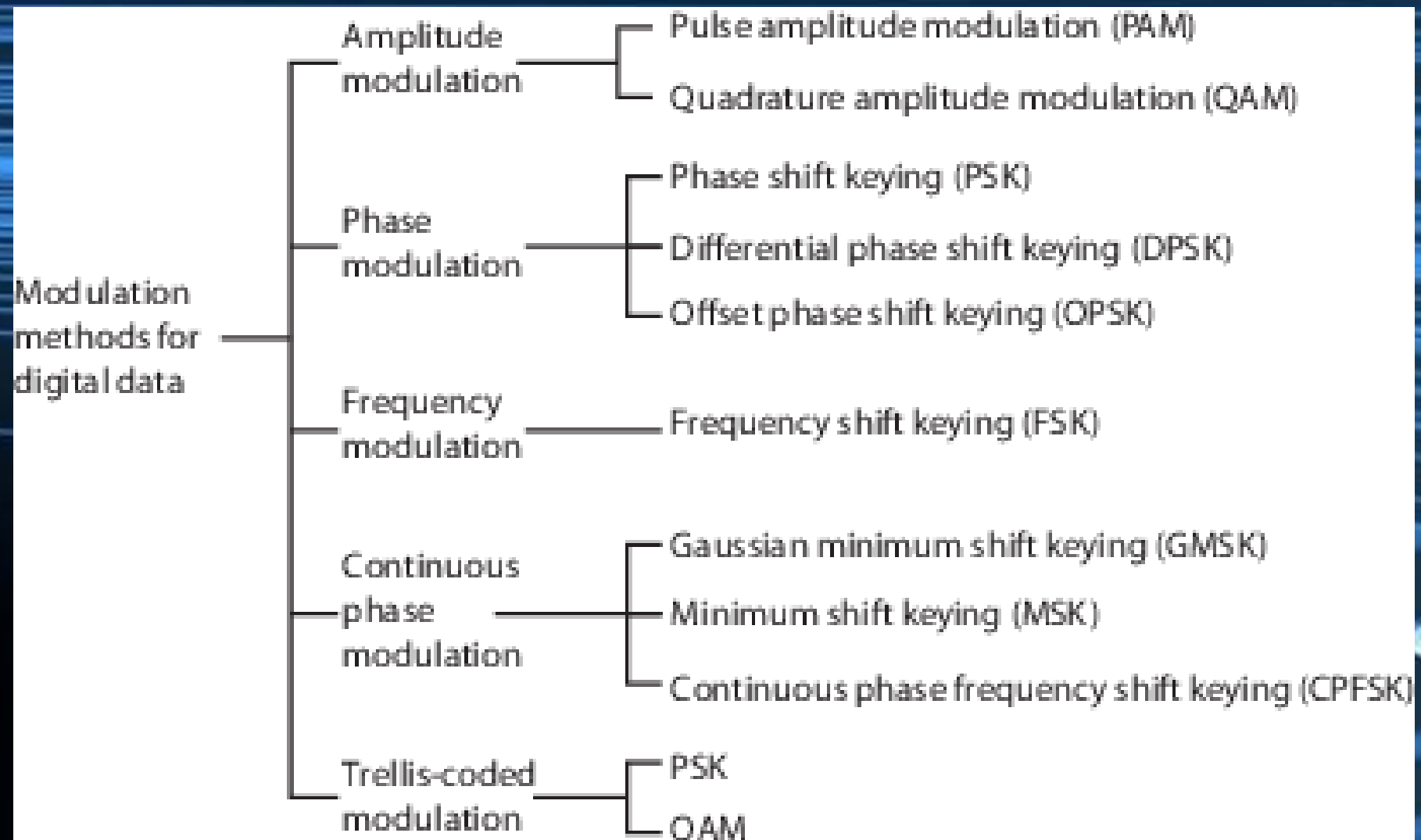


Señal Analógica:
Puede tomar cualquier valor dentro de los límites de una señal.

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

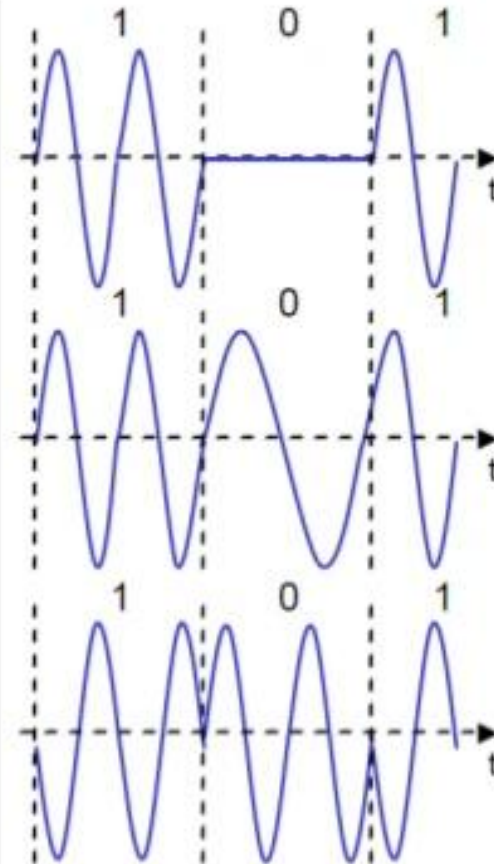


Técnicas de Modulación



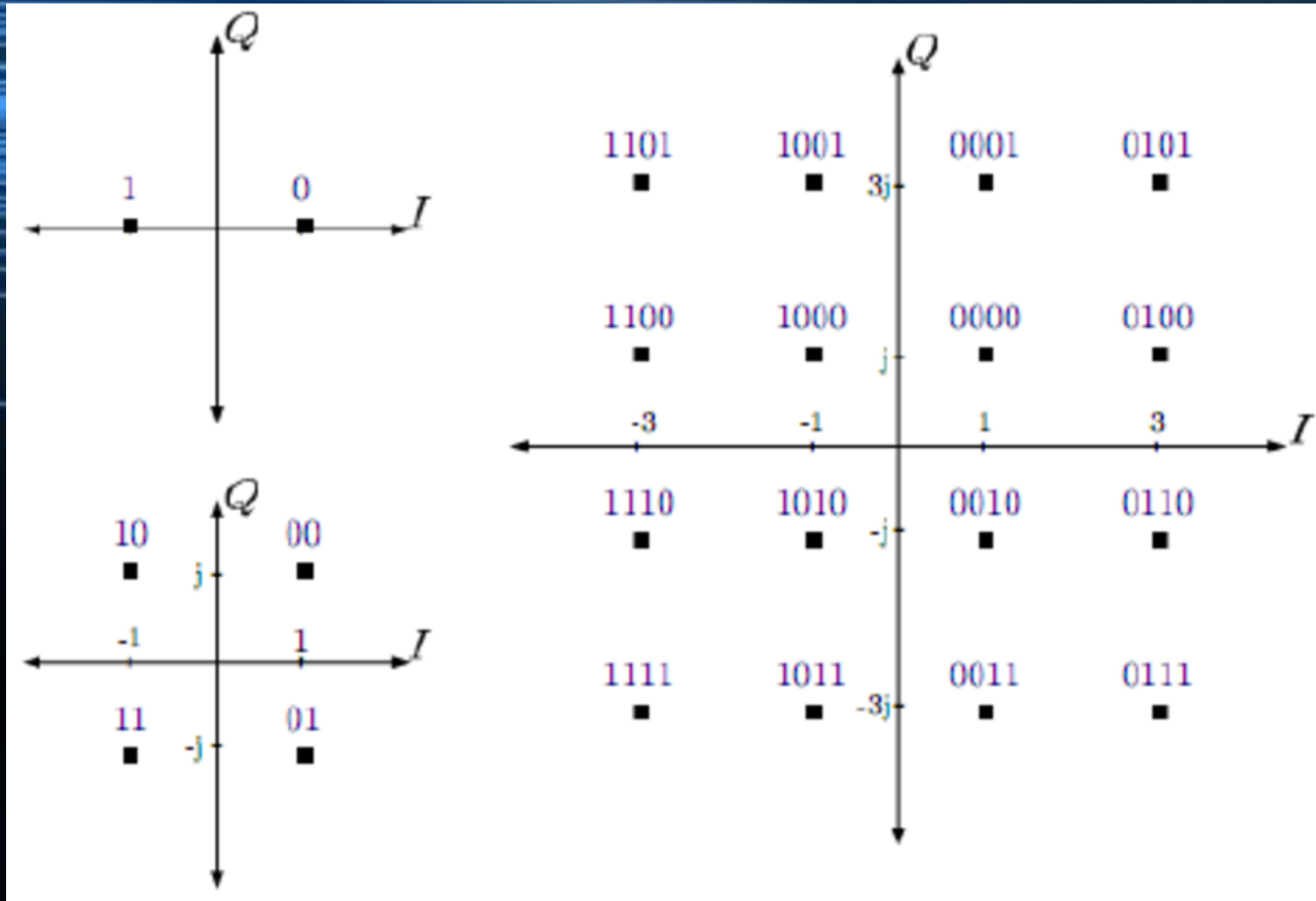
Digital modulation techniques

- 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

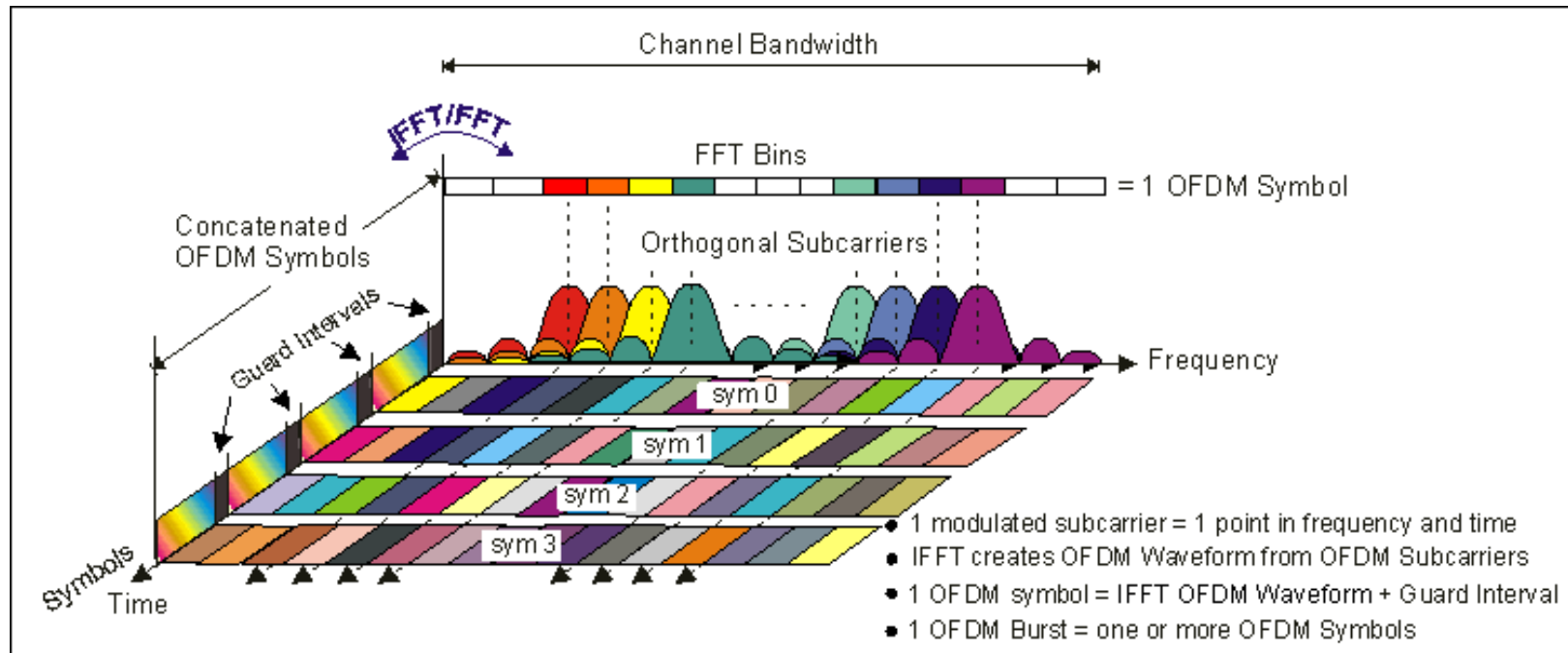


Técnicas de Modulación

Modulaciones avanzadas → n-QAM



Modulaciones avanzadas → OFDM



Frequency-Time Representative of an OFDM signal

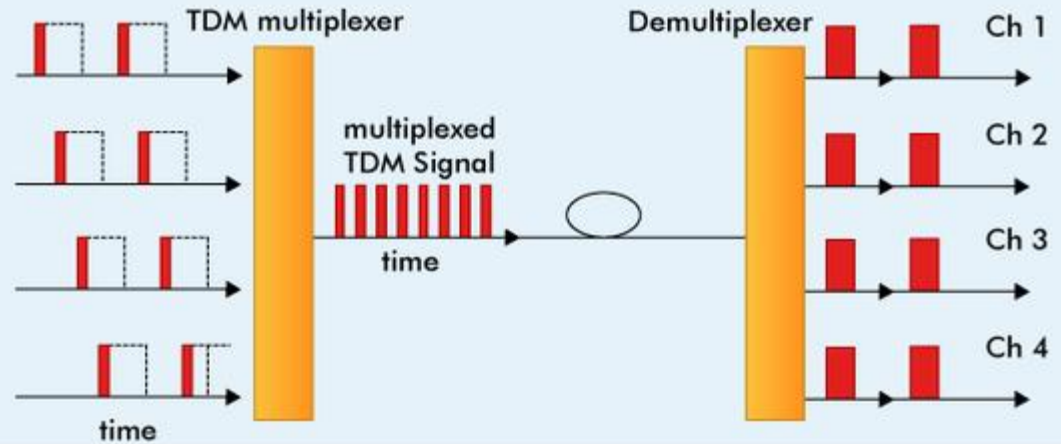
Multiplexación y Demultiplexación

la **multiplexación** es la técnica de combinar dos o más señales, y transmitirlas 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

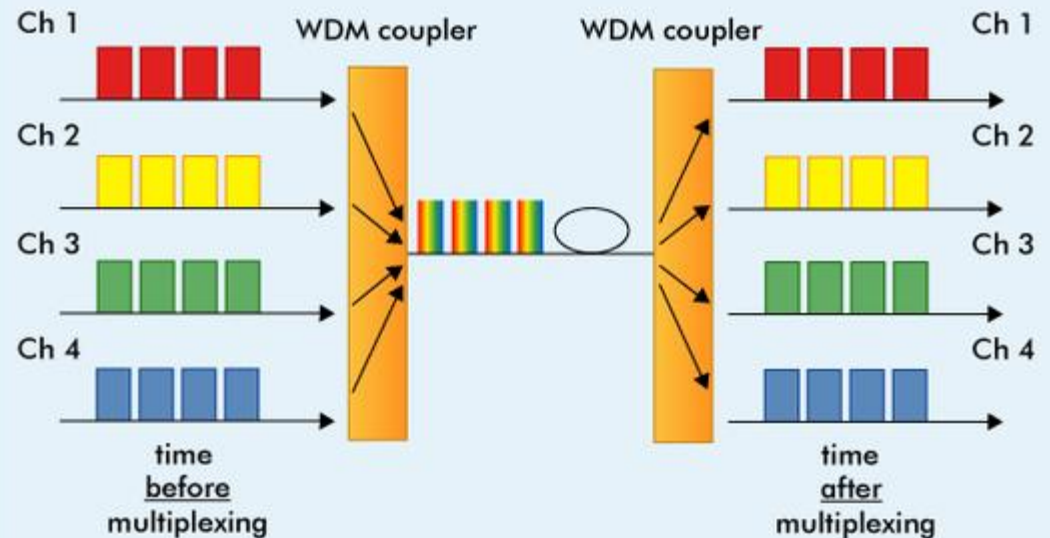
Multiplexación por división de tiempo (TDM)

TDM (Time Division Multiplexing)



Multiplexación por división de frecuencia (FDM)

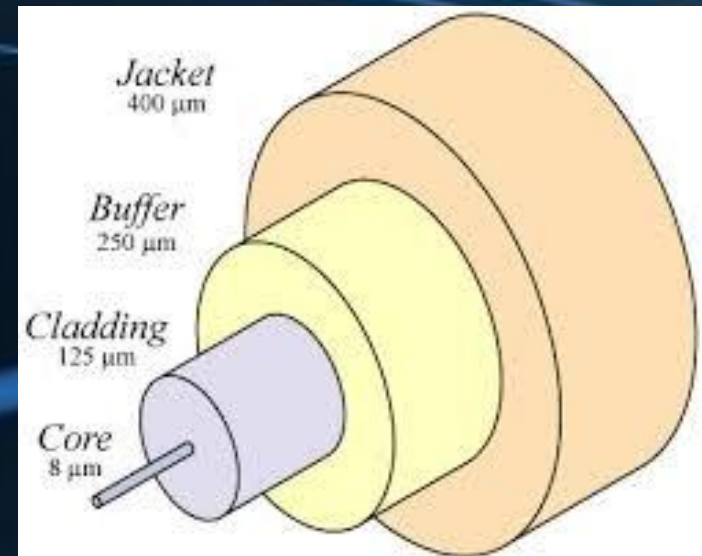
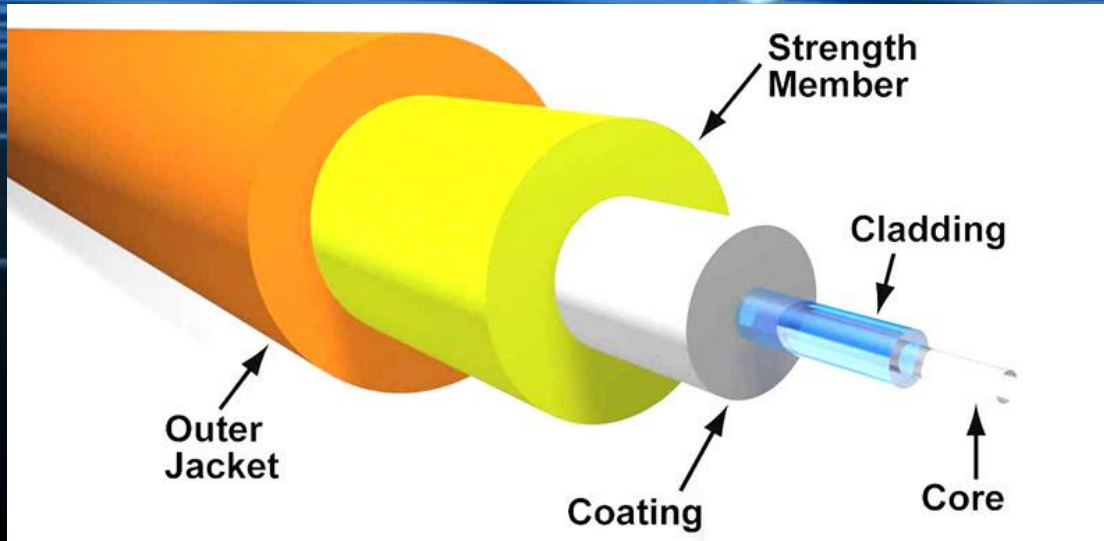
WDM (Wavelength Division Multiplexing)



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”



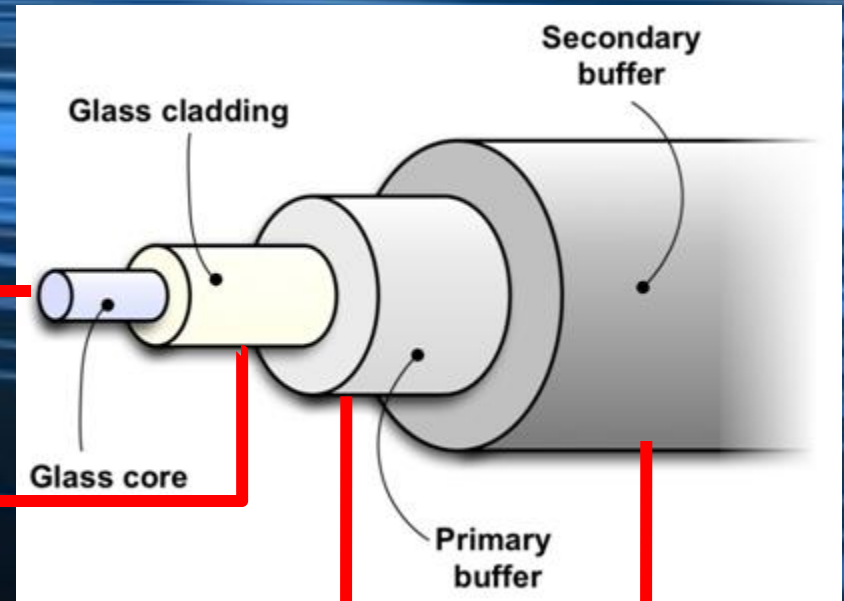
Estructura de la Fibra Óptica

Core (Núcleo) (entre 8 y los 70 μm):

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

Cladding (recubrimiento) (entre 110 y los 140 μm):

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



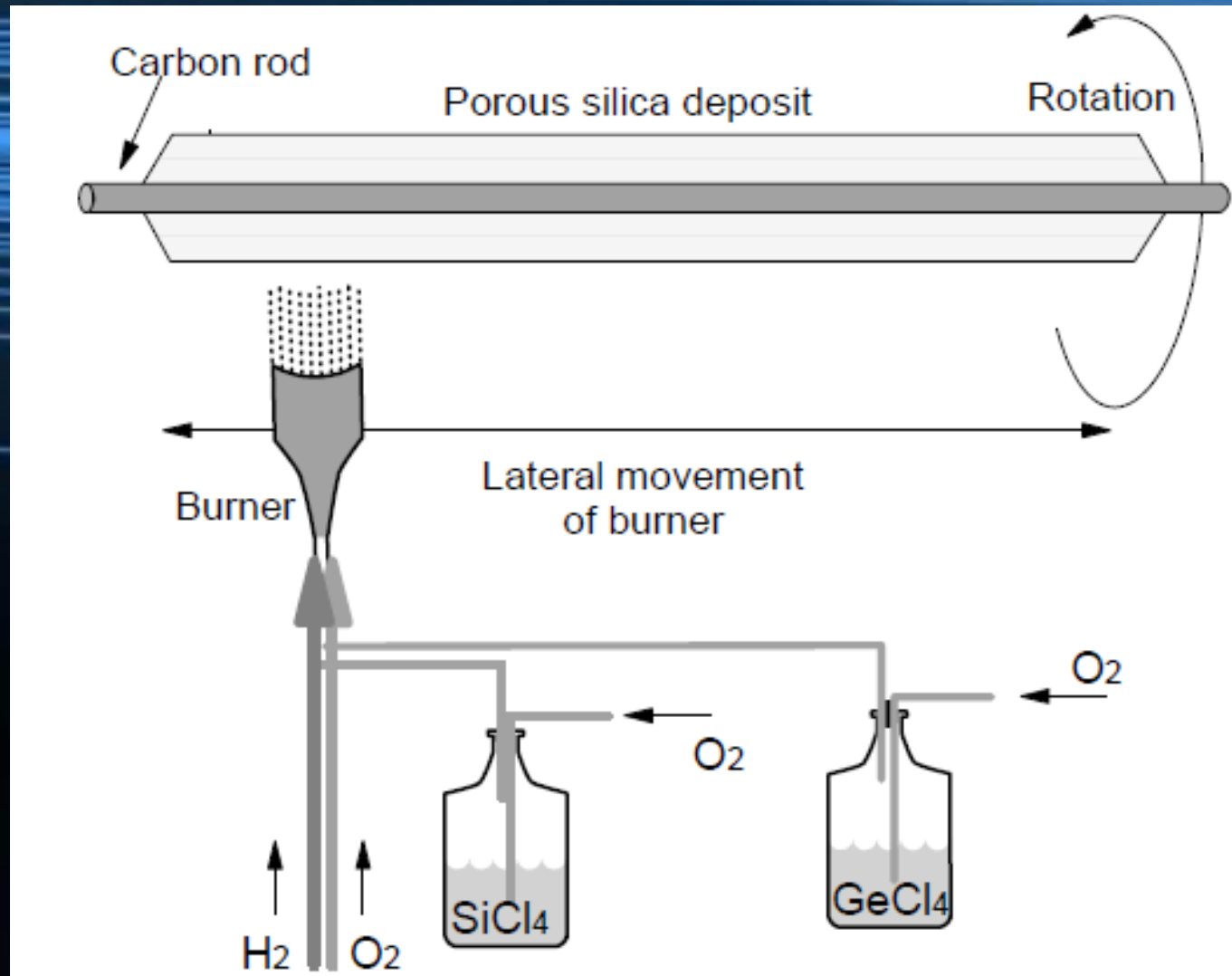
2. Estiramiento de la Fibra



3. Agregado de recubrimientos

Conformación de la Preforma

OVD: Outside Vapor Deposition



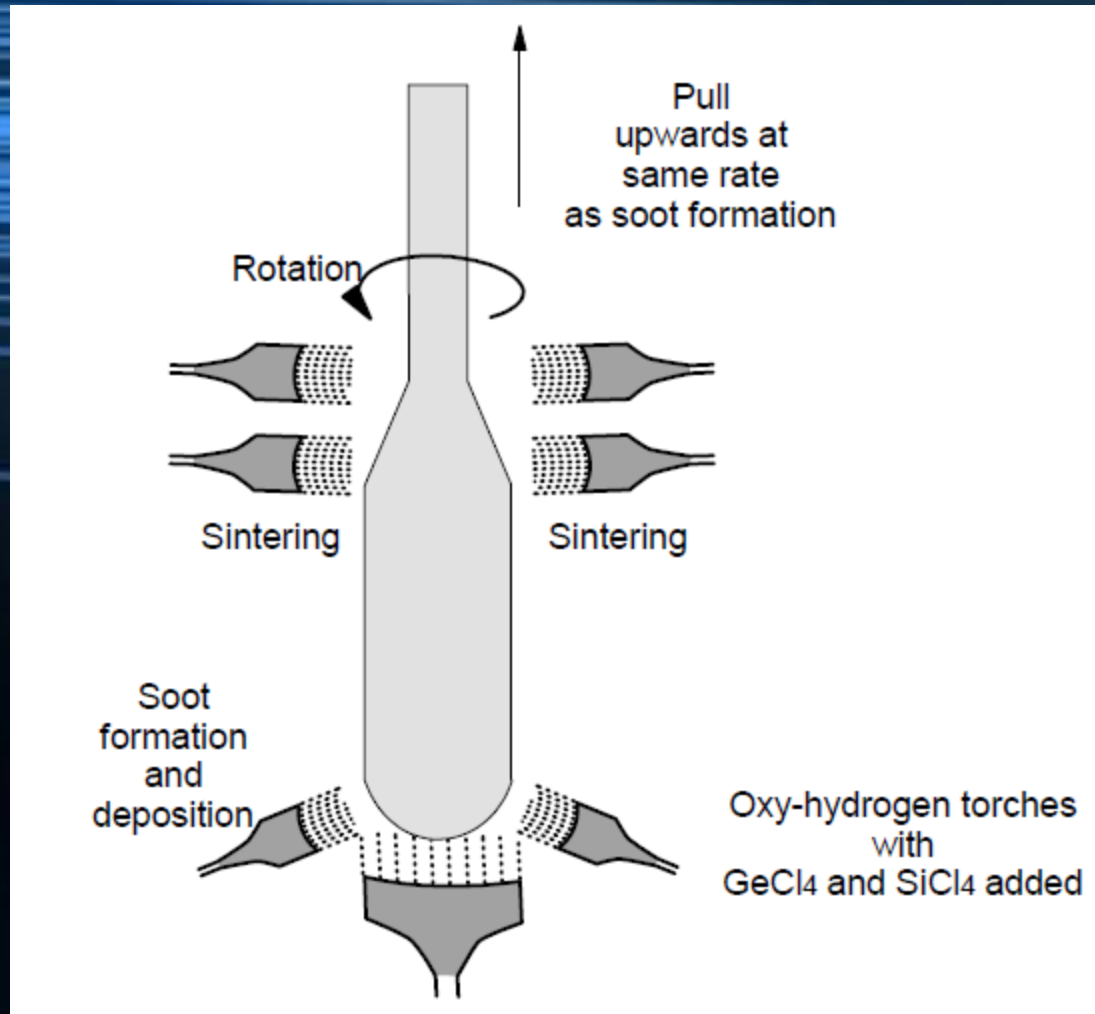
Conformación de la Preforma

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

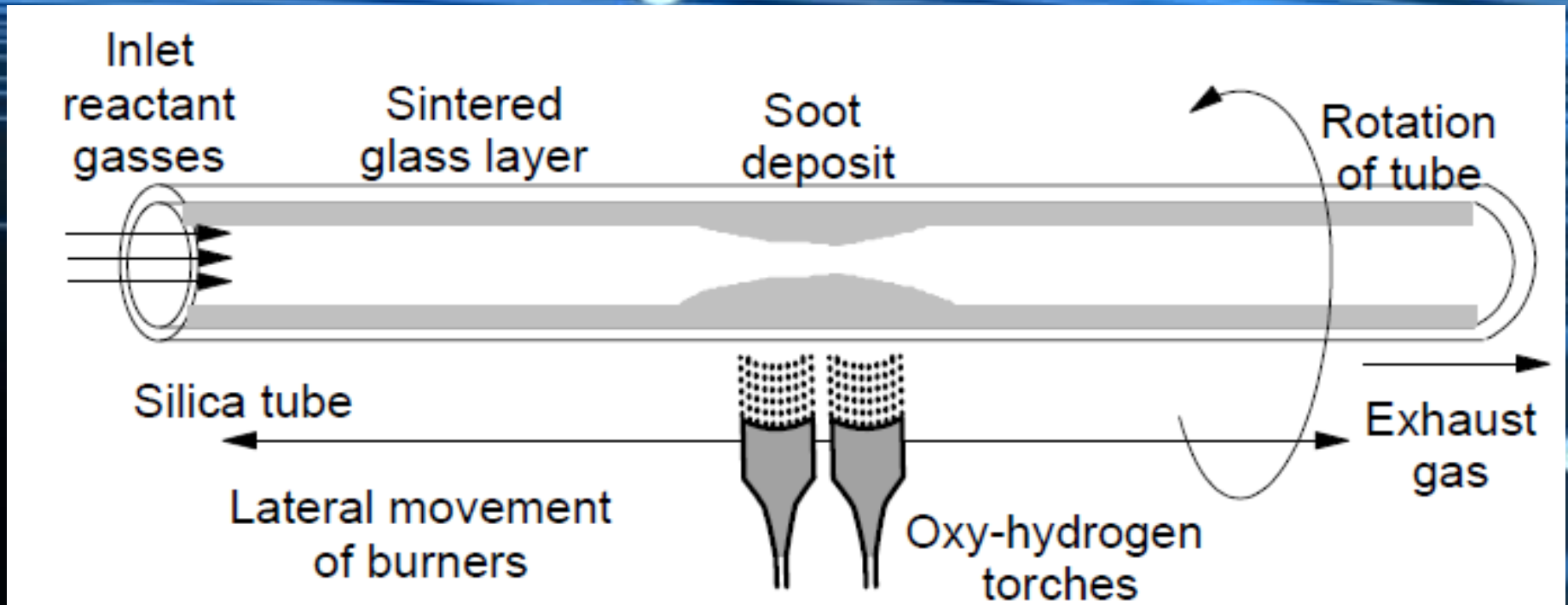


Conformación de la Preforma

IVD: Inside Vapor Deposition

MCVD: Modified chemical vapor deposition

PCVD : Plasma-Activated Chemical Vapour Deposition

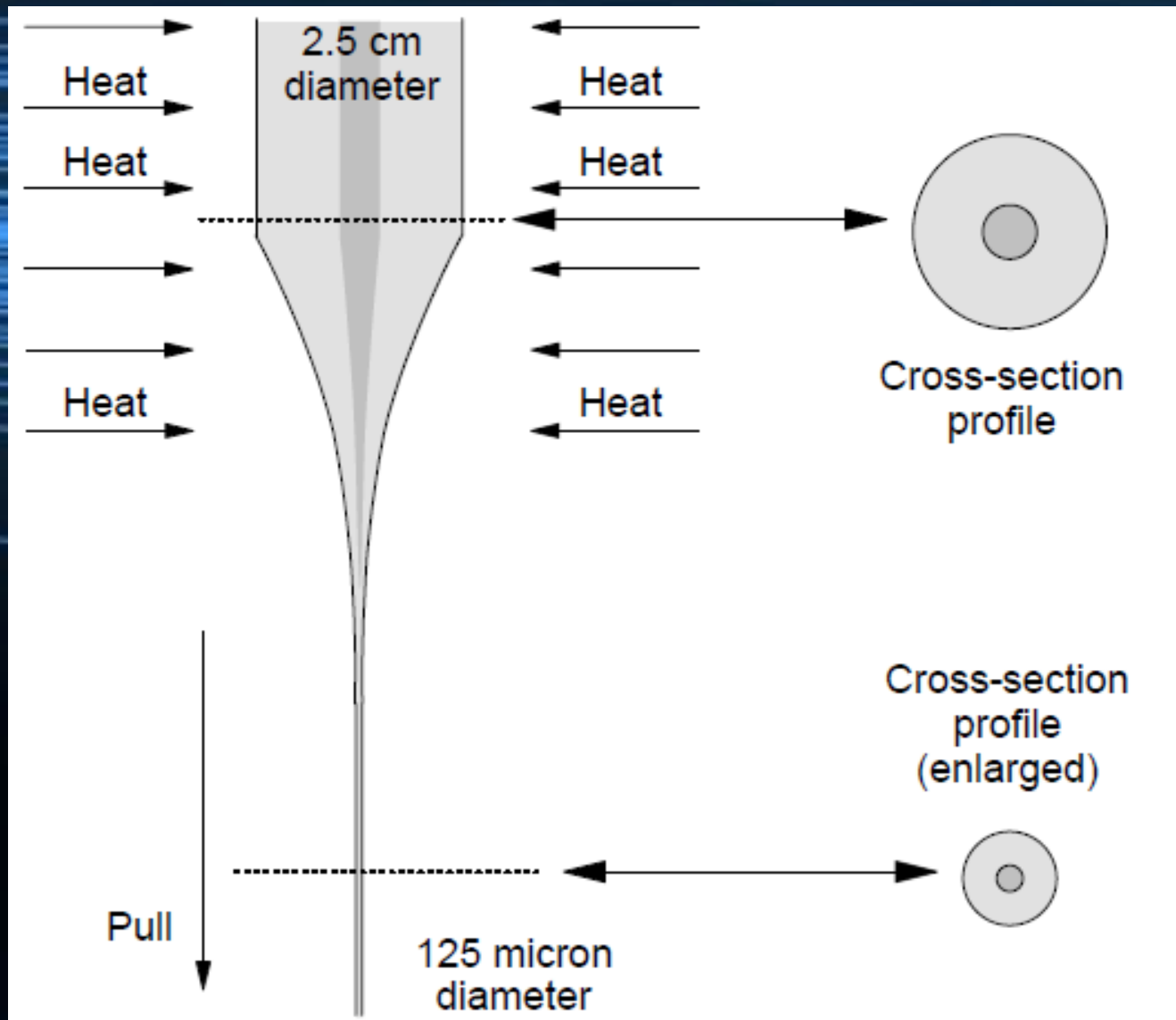


Conformación de la Preforma

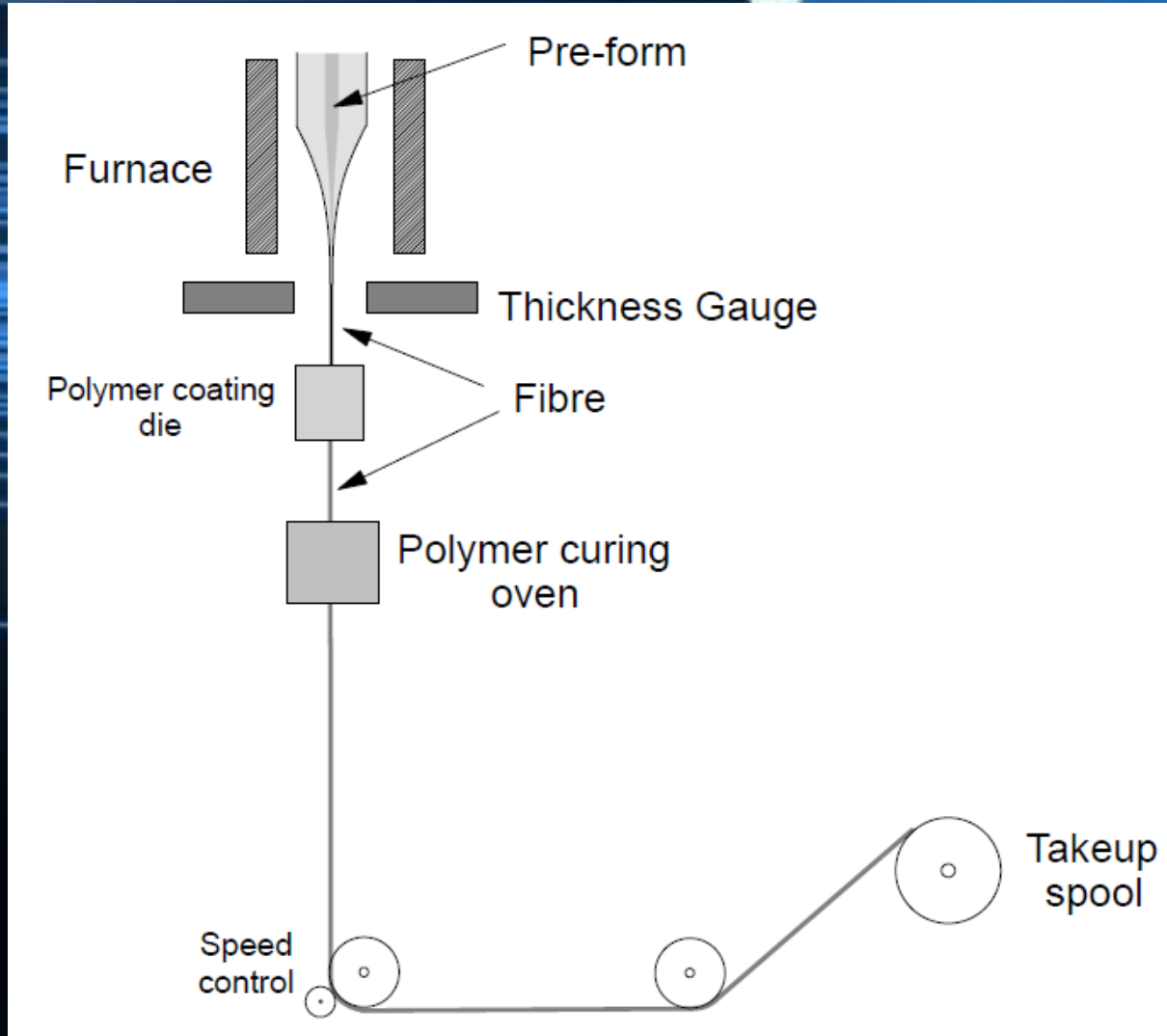
Ventajas del MCDV

- ❖ 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

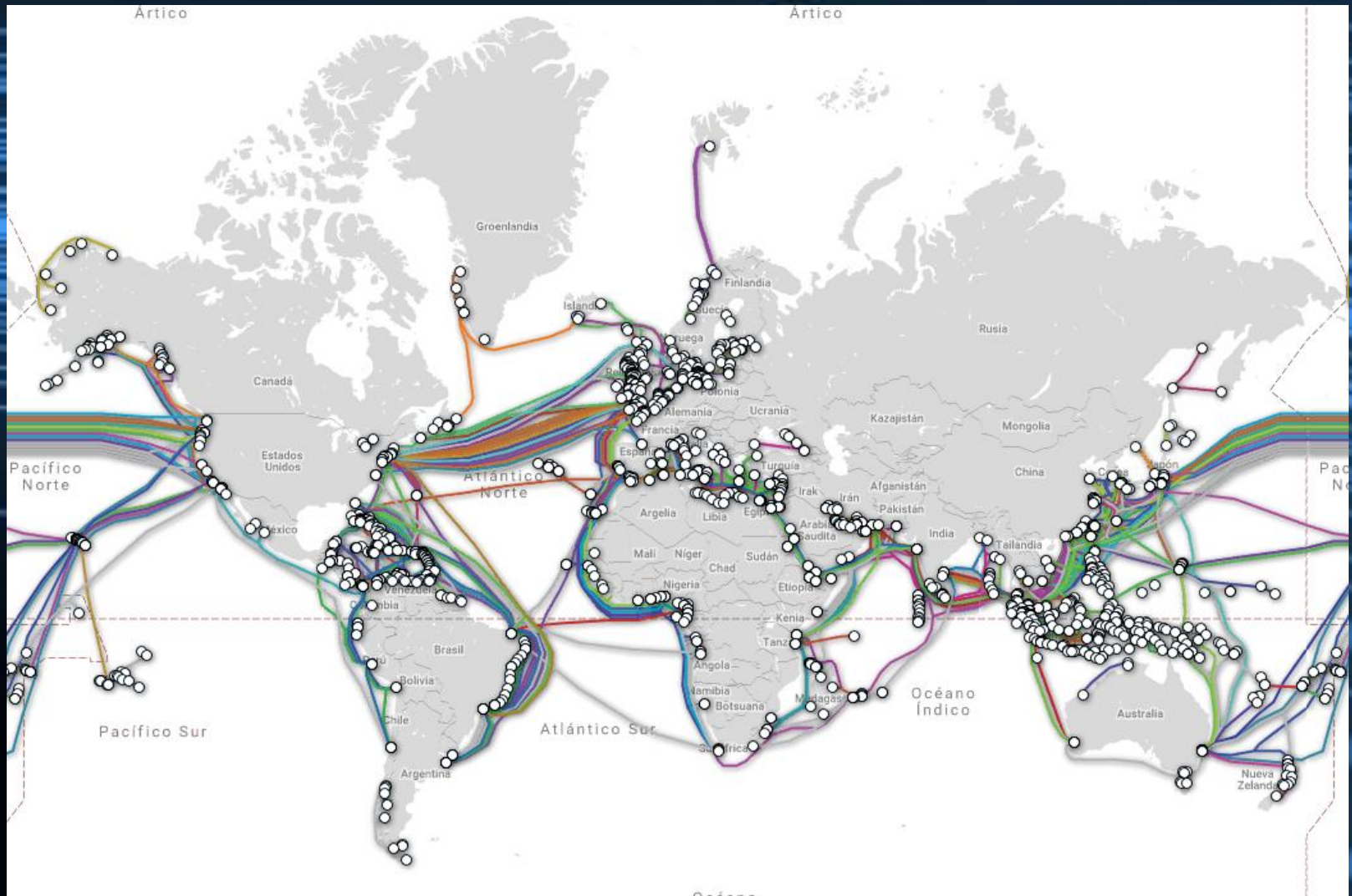


Estiramiento de la fibra



- <https://www.youtube.com/watch?v=crZjy9nGj-k&t=0s&list=WL&index=2>
- https://www.youtube.com/watch?v=ZWPLa_4G0l4

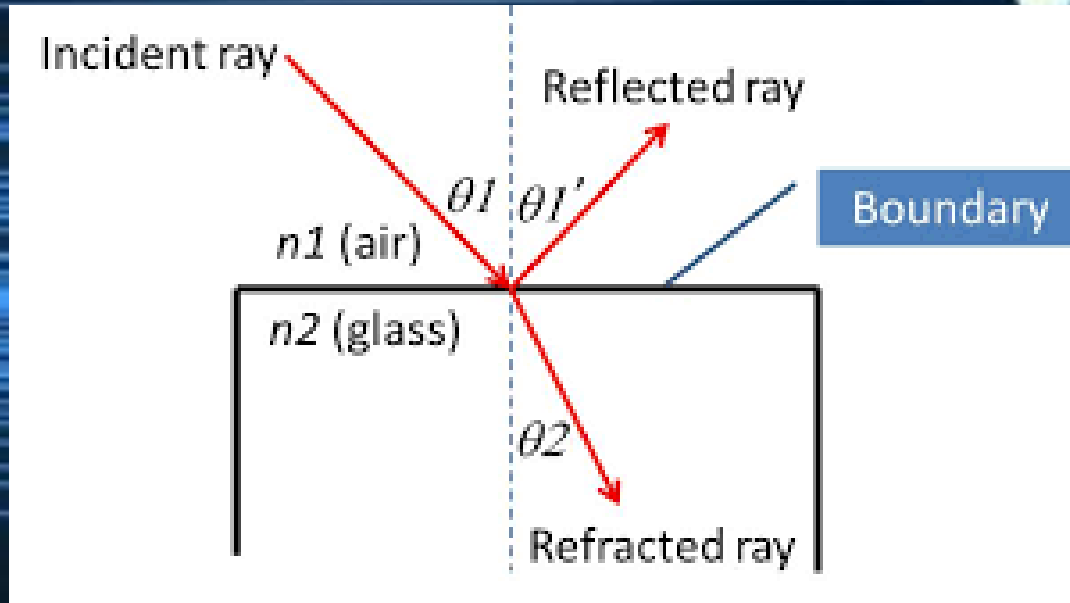
Cables submarinos



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

Propagación de señales en la FO

Principios de funcionamiento de la FO



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

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

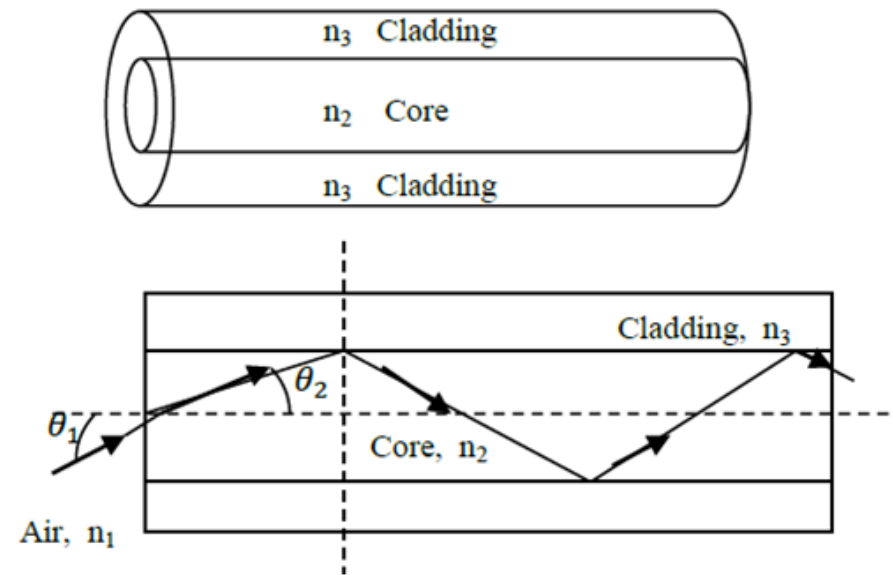
Ley de Snell (o de refracción)

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

n : índice de refracción del medio en cuestión

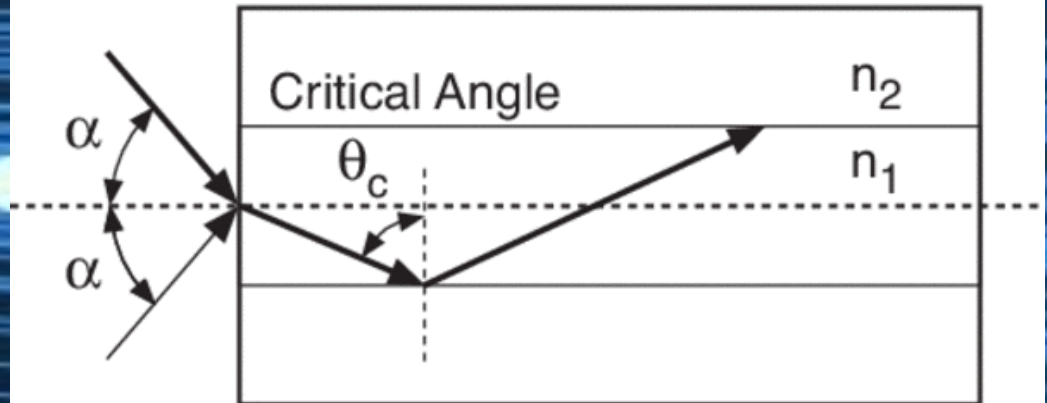
C_0 : velocidad de la luz en el vacío (3×10^8 m/s)

v : velocidad de la luz en el medio en cuestión



Principios de funcionamiento de la FO

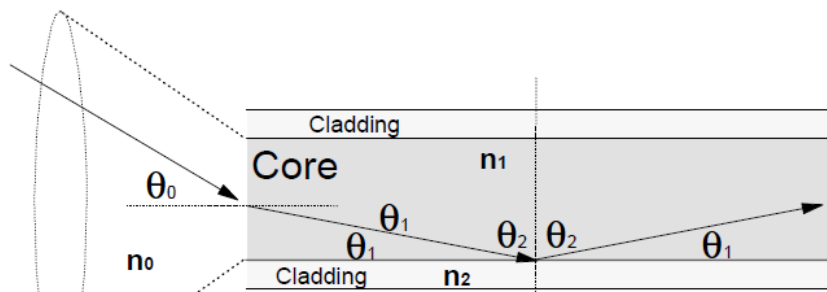
Numerical Aperture



**Apertura
numérica**

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

Full Acceptance Angle = 2α

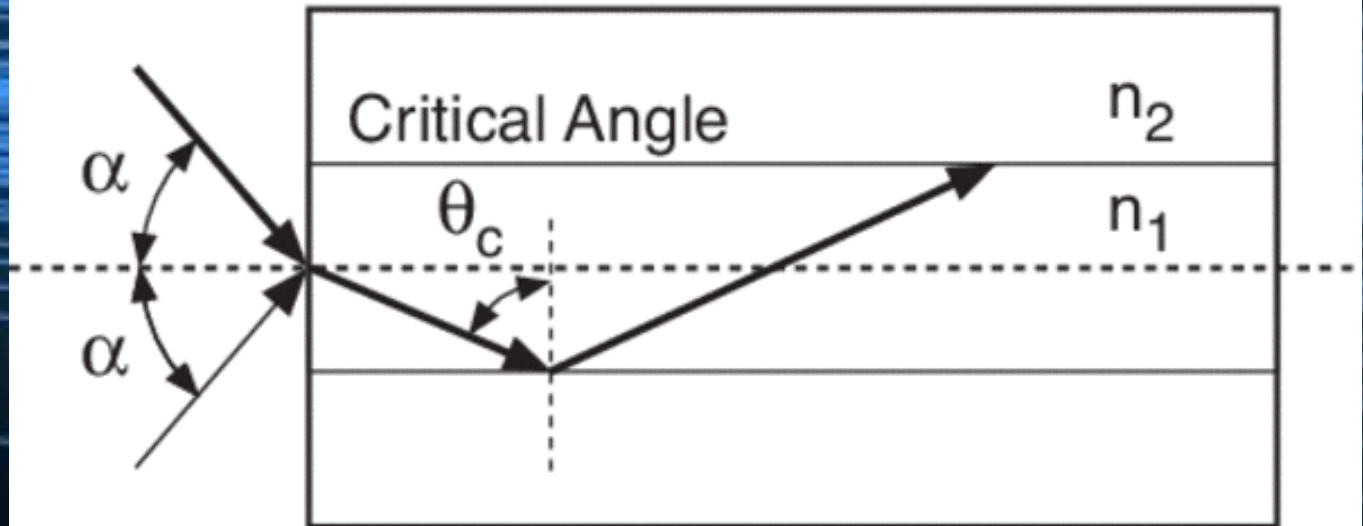


n_0 = refractive index of air (= 1)
 n_1 = refractive index of core
 n_2 = refractive index of cladding

**Cono de
aceptación**

Principios de funcionamiento de la FO

Numerical Aperture

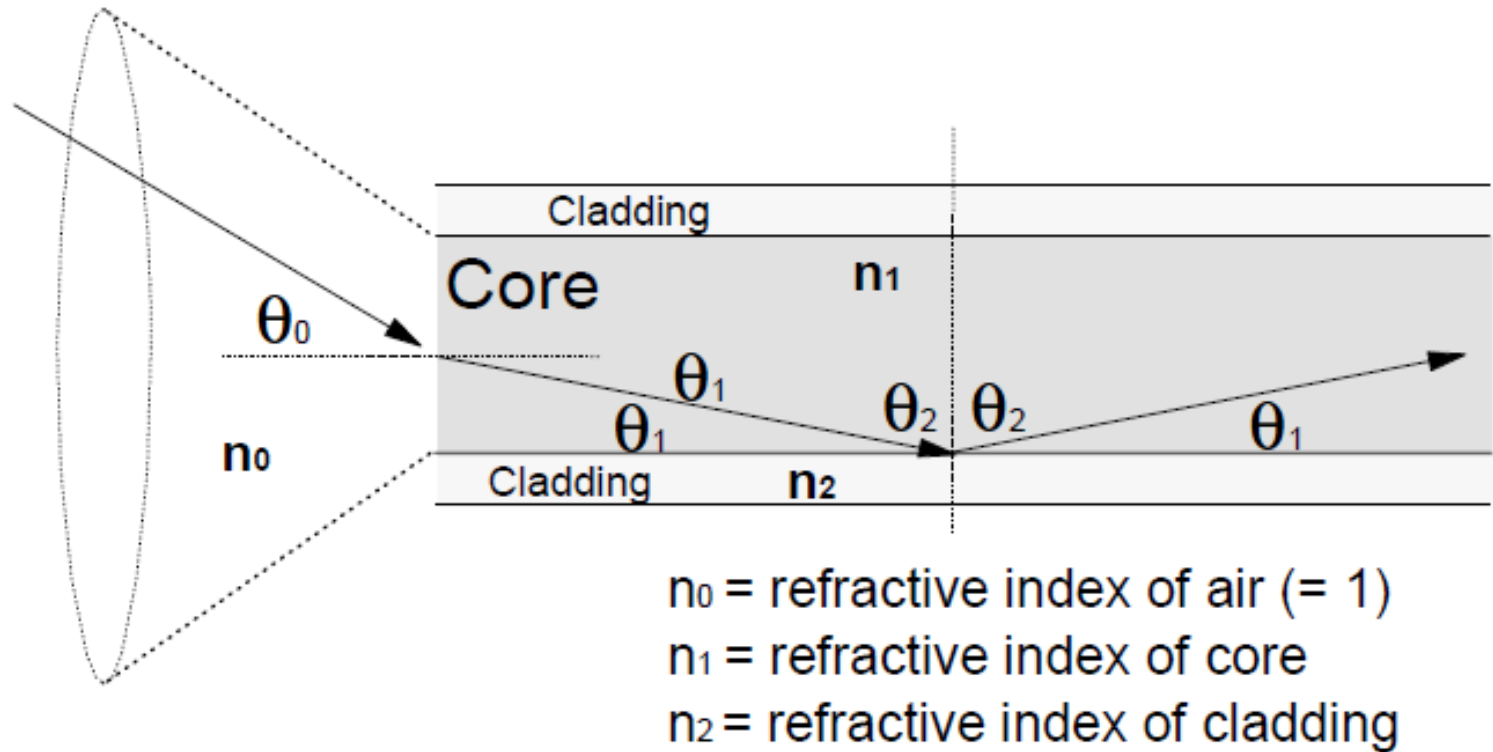


**Apertura
numérica**

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

Full Acceptance Angle = 2α

Principios de funcionamiento de la FO



***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



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

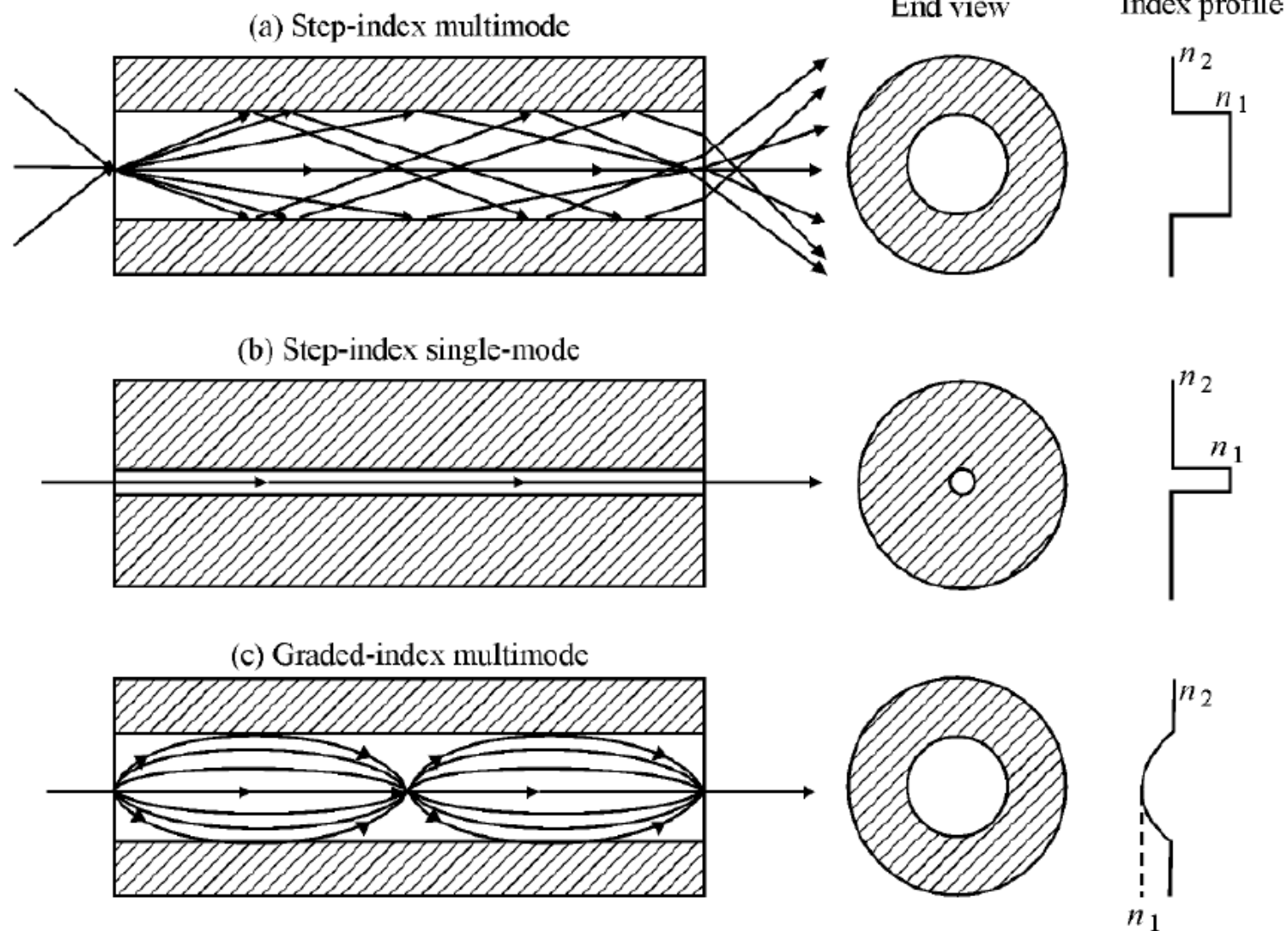
Clasificación según los materiales constructivos

- 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)**

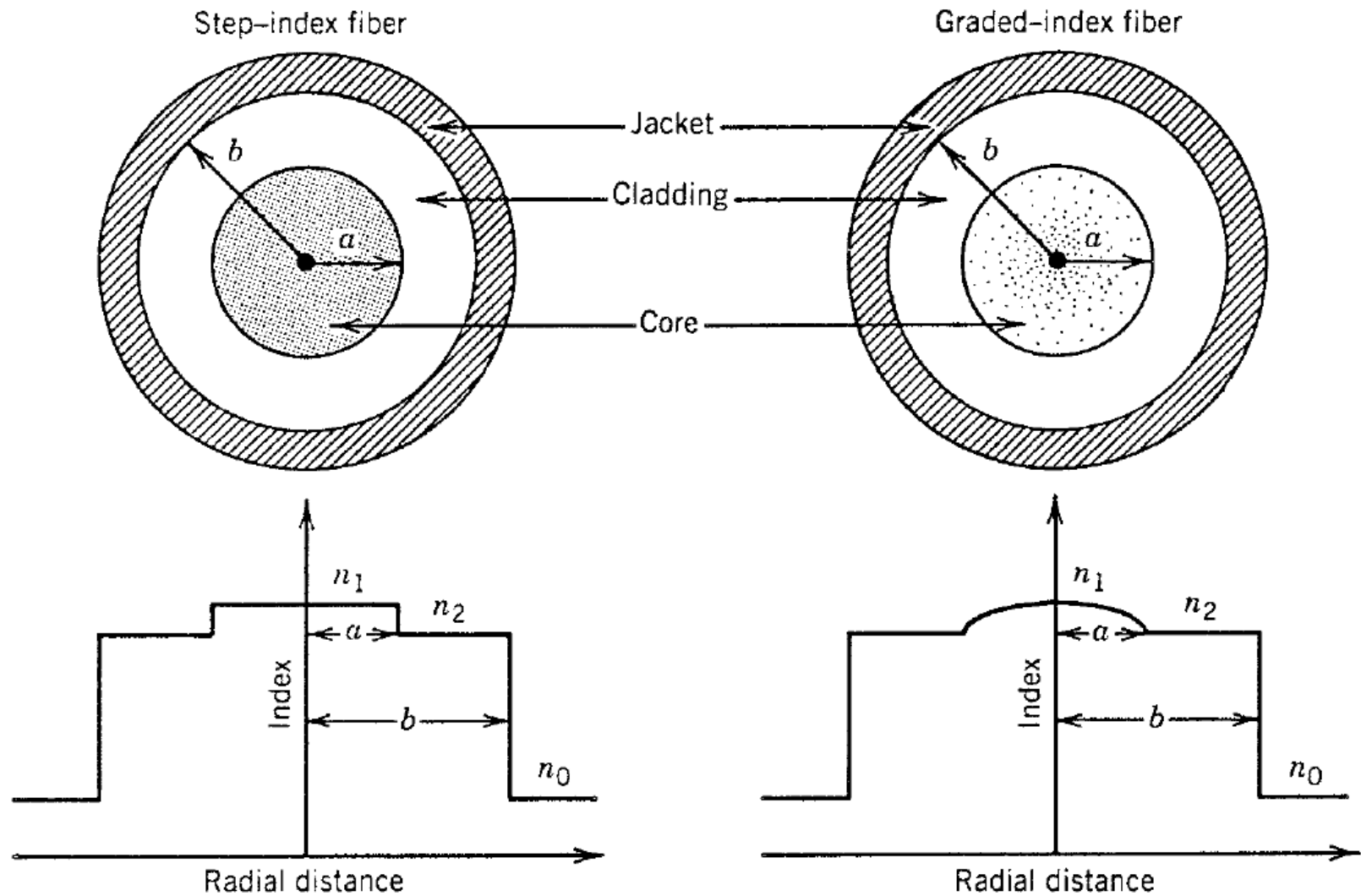
Clasificación según los modos de propagación

- 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

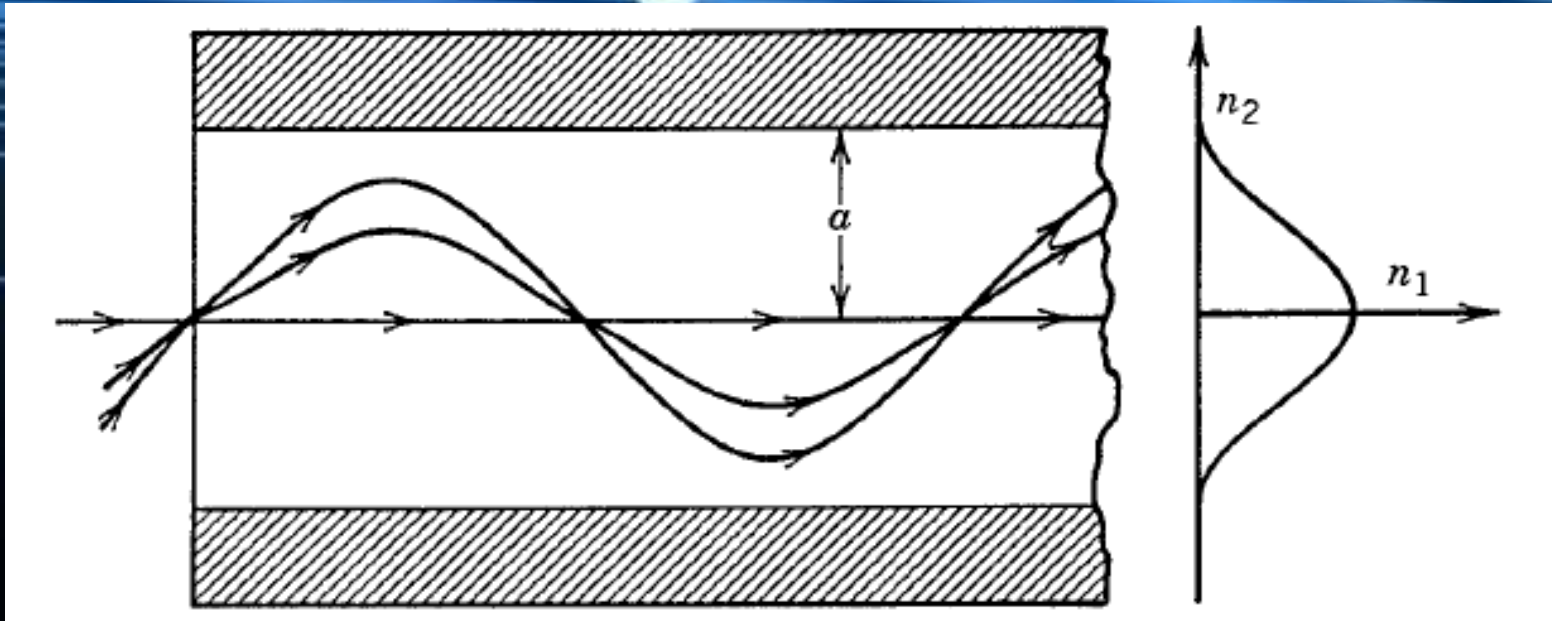


Tipos de Fibra óptica



Tipos de Fibra óptica

Fibra con perfil graduado → Menor incidencia de la dispersión modal

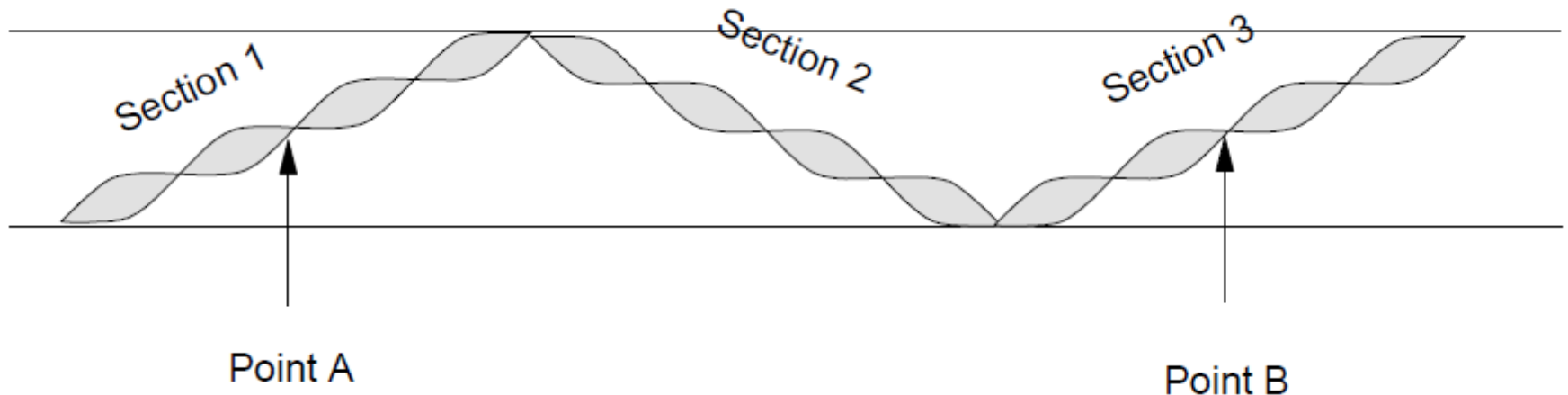


En este ejemplo se observan 3 modos diferentes, los cuales recorren la fibra a diferentes velocidades.

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.

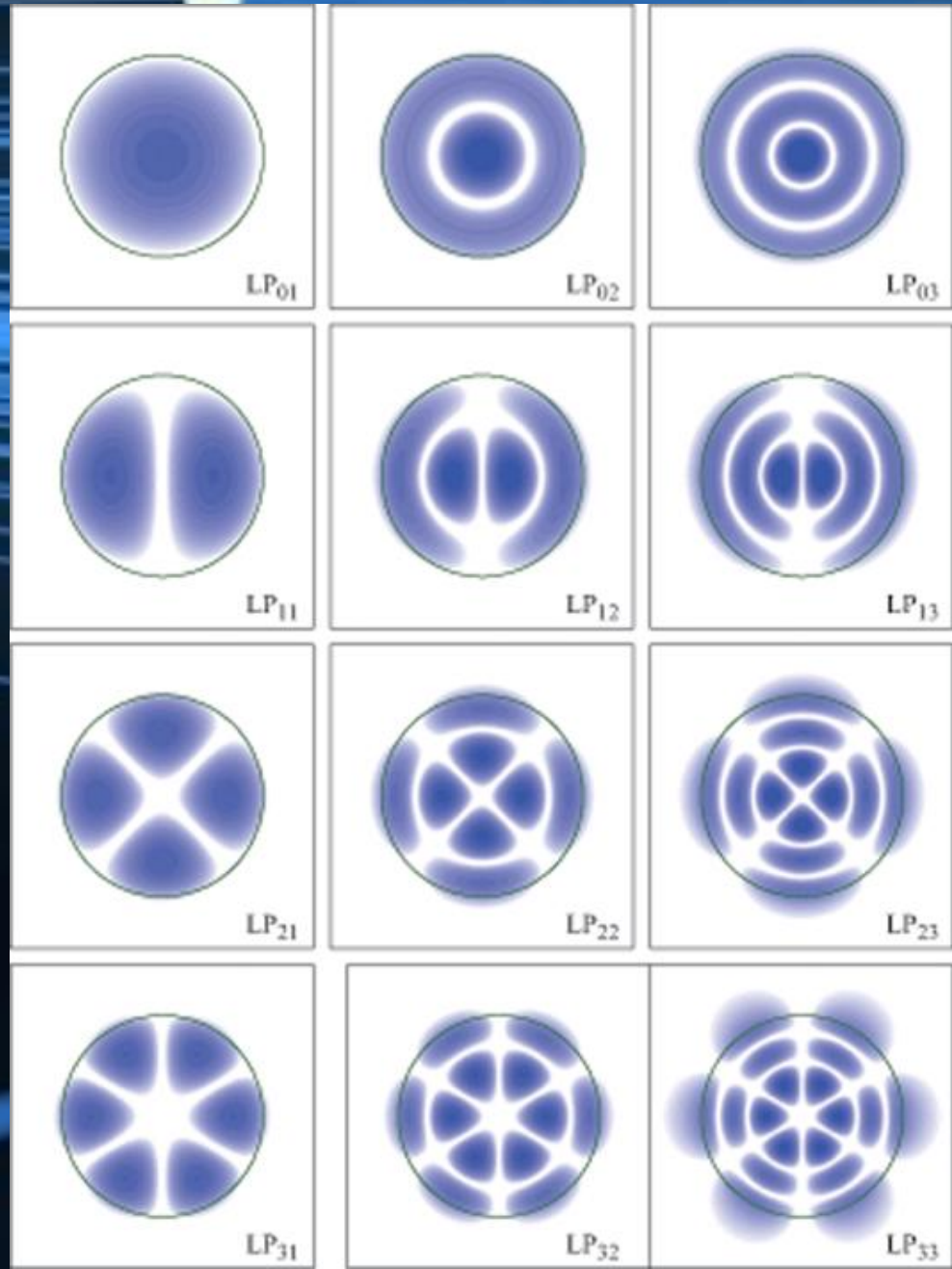


Modos de propagación

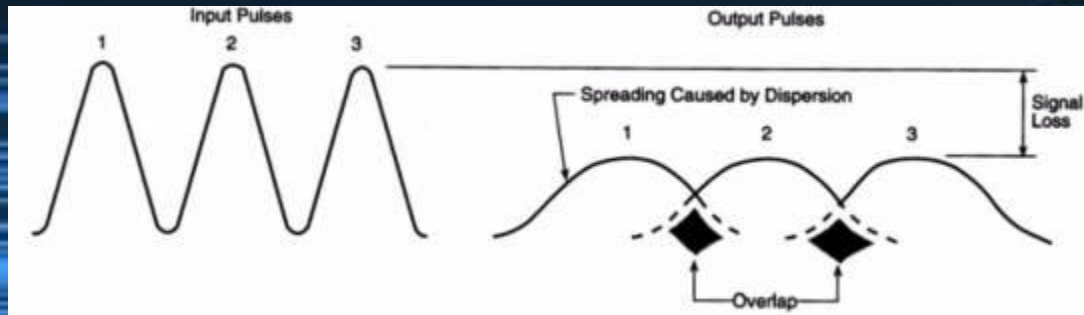
*Diferentes modos de la luz
en una fibra multimodo*



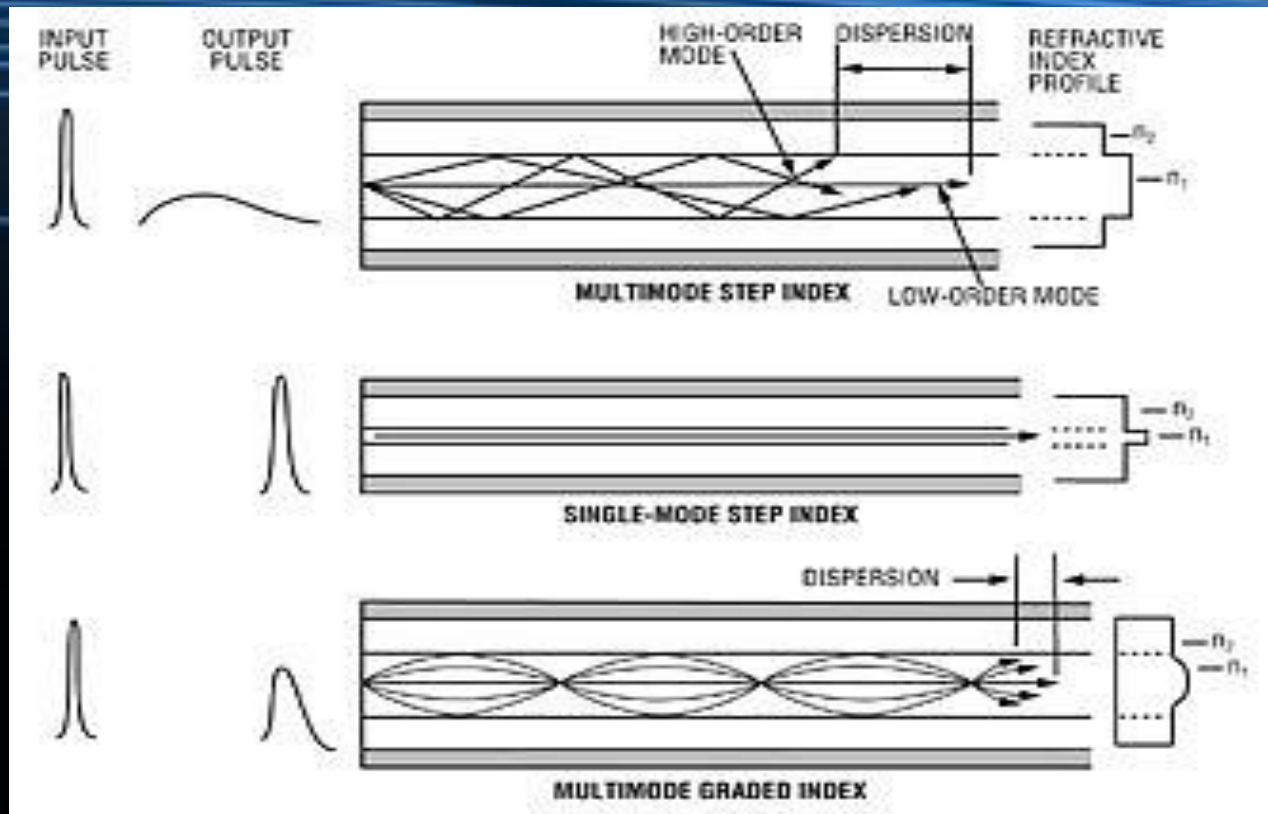
Modos helicoidales



Modos de propagación

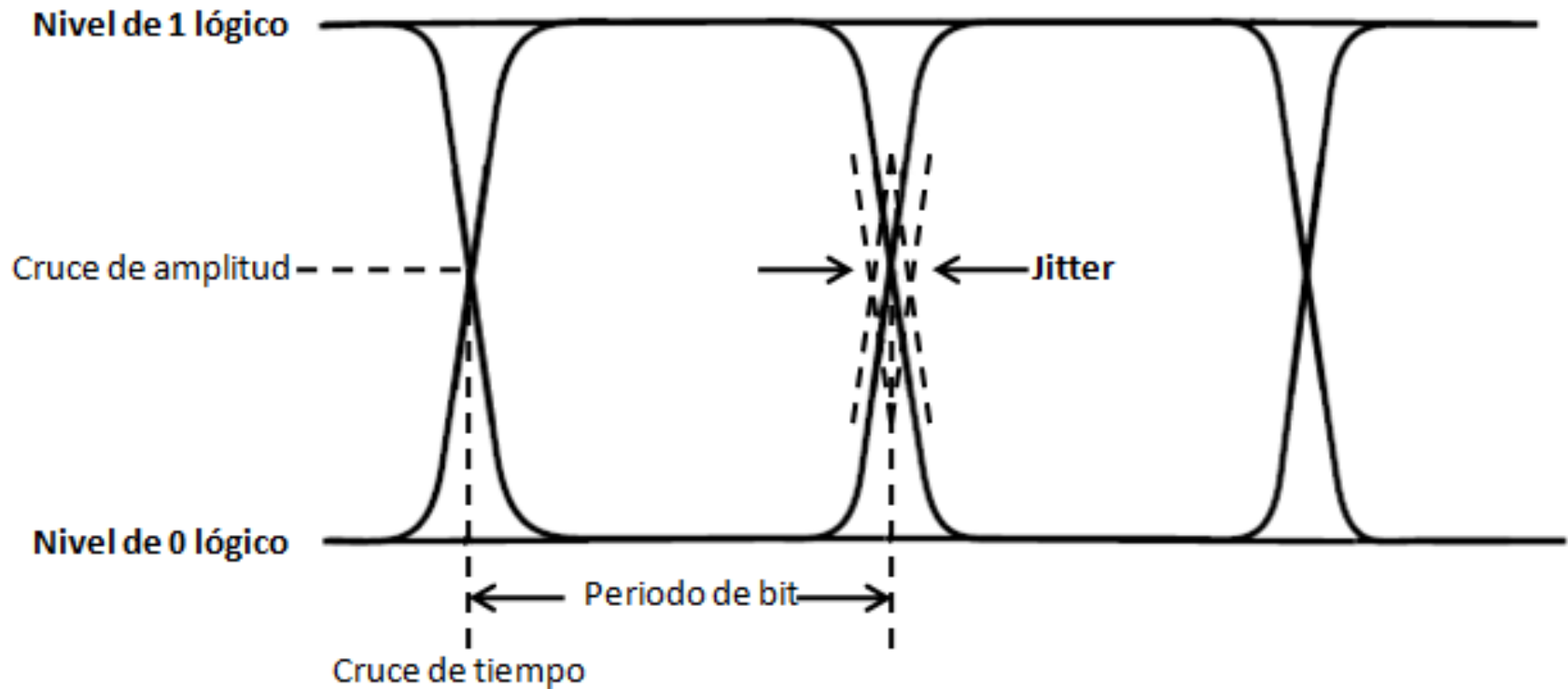


Señales afectadas por la dispersión modal

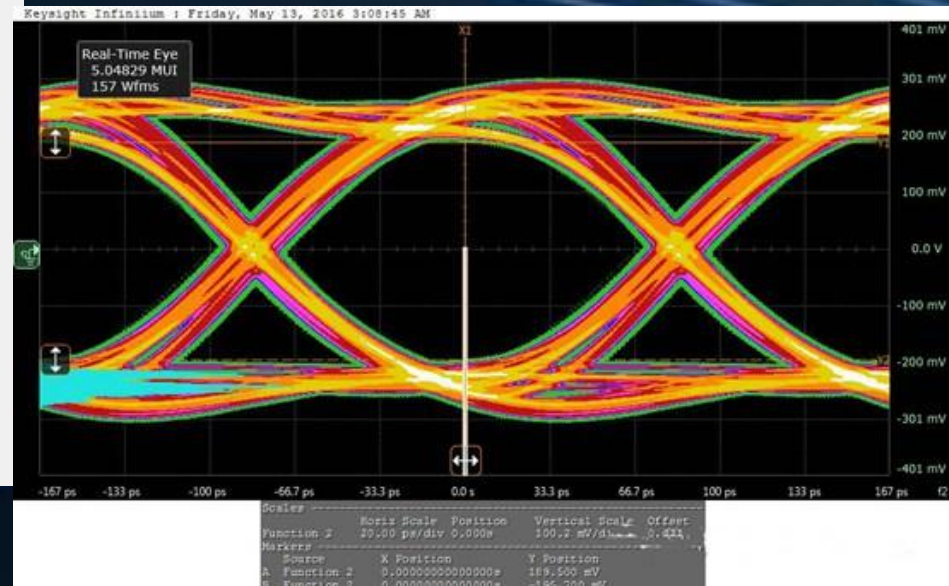
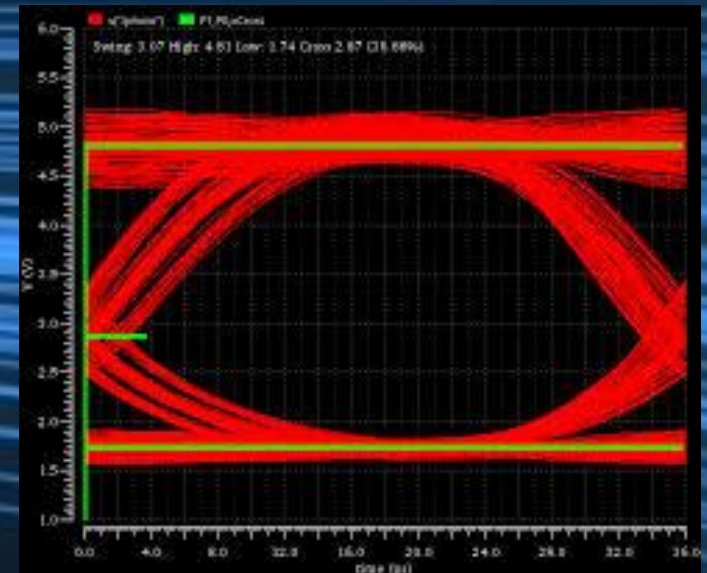
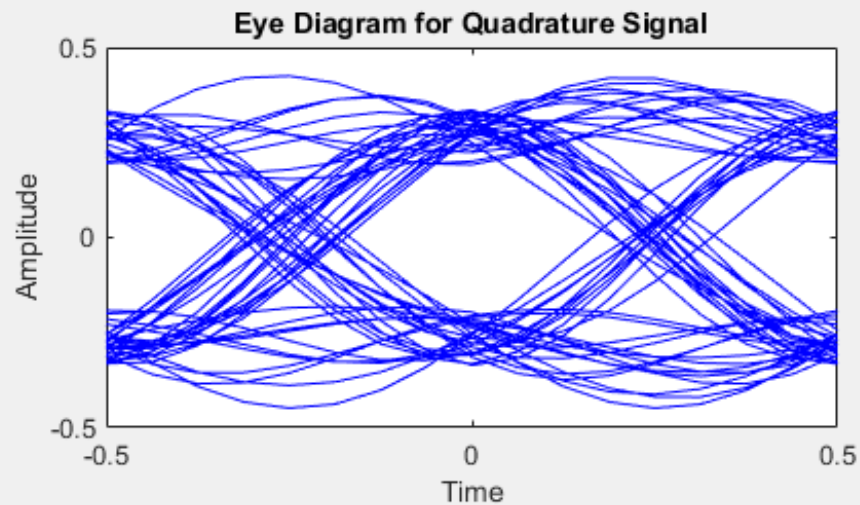
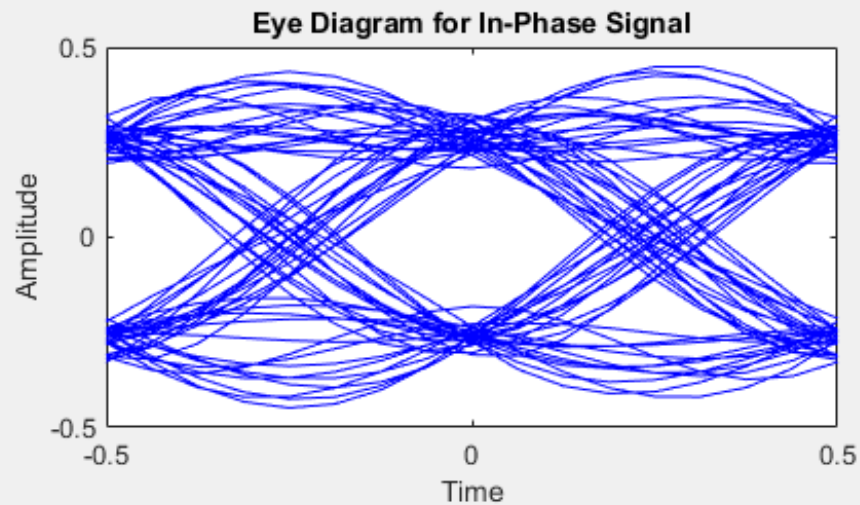


Modos de propagación

Diagrama de OJO



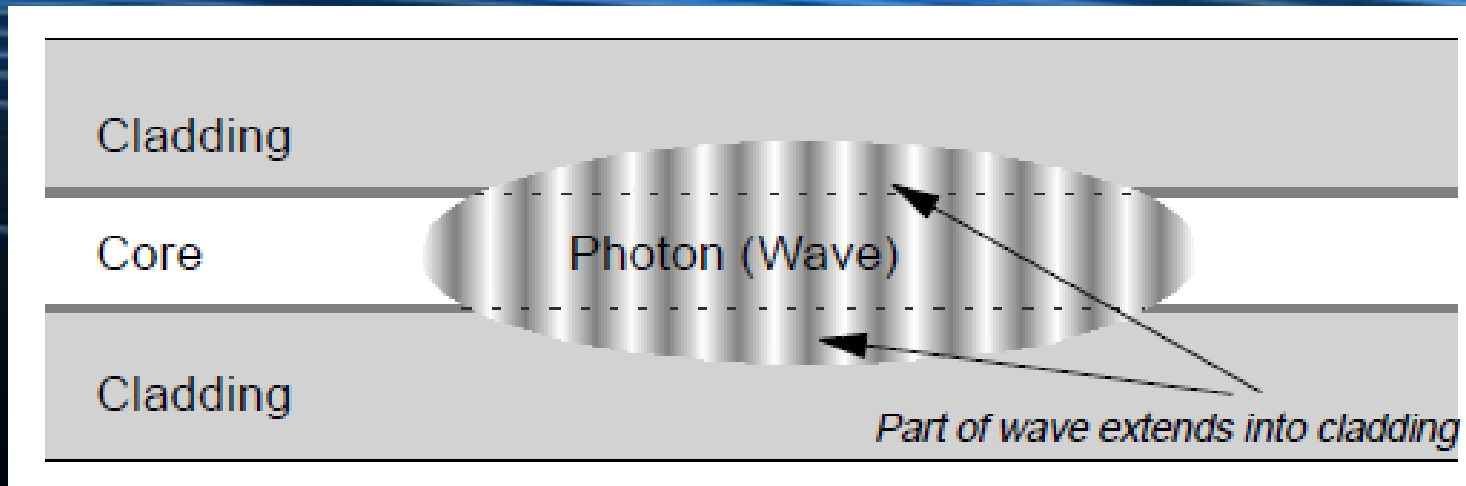
Modos de propagación



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.



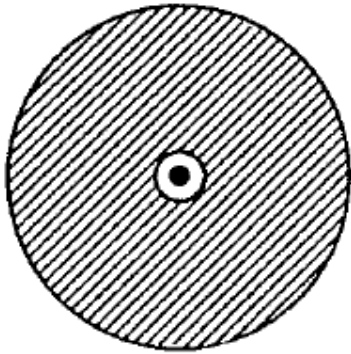
La longitud de onda de corte es la longitud de onda más corta en la que la fibra se comportara como monomodo. Las longitudes de onda más cortas que el límite viajarán en modos múltiples mientras que las longitudes de onda más largas que el límite viajarán en un único modo.

Cables y conectores de FO

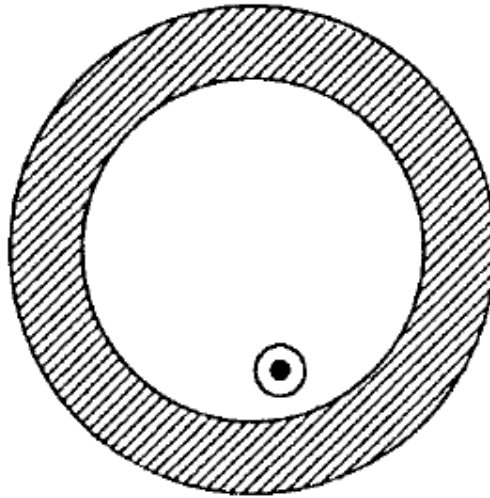
Cables de fibra óptica

Cables Indoor	
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.

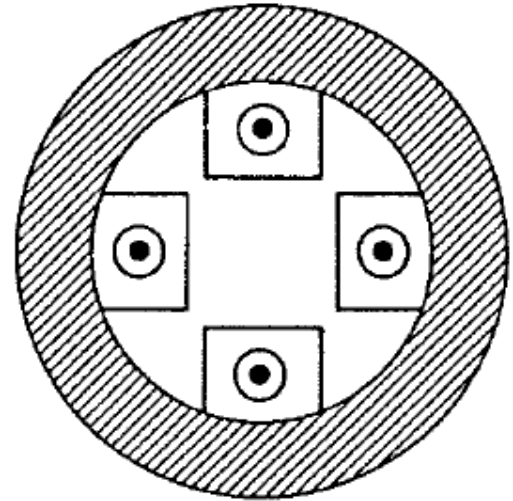
Cables light-duty



Tight jacket



Loose tube

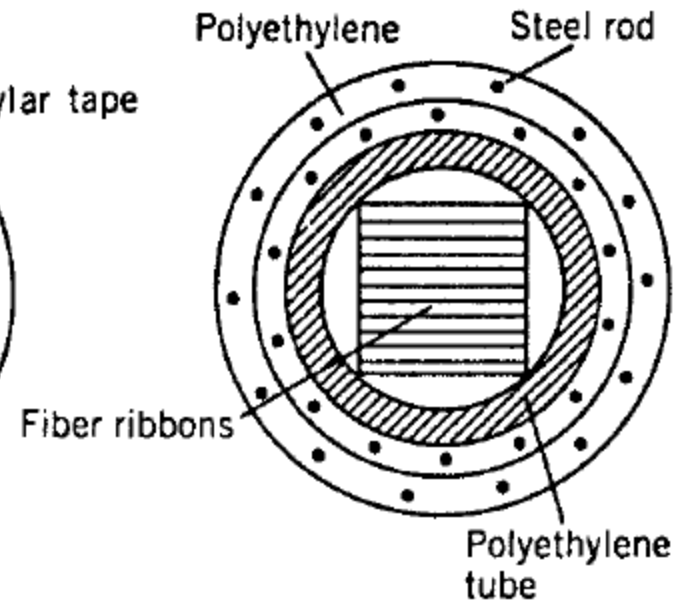
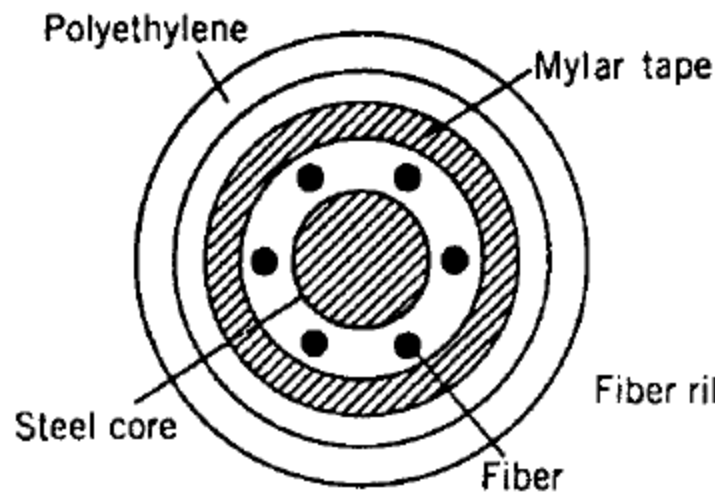
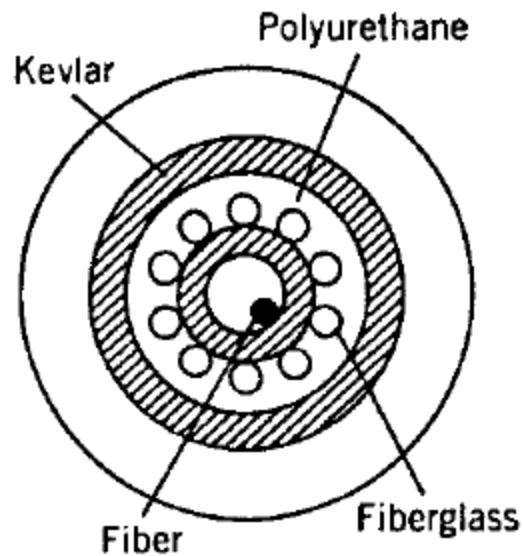


Slotted tube

Cables de fibra óptica

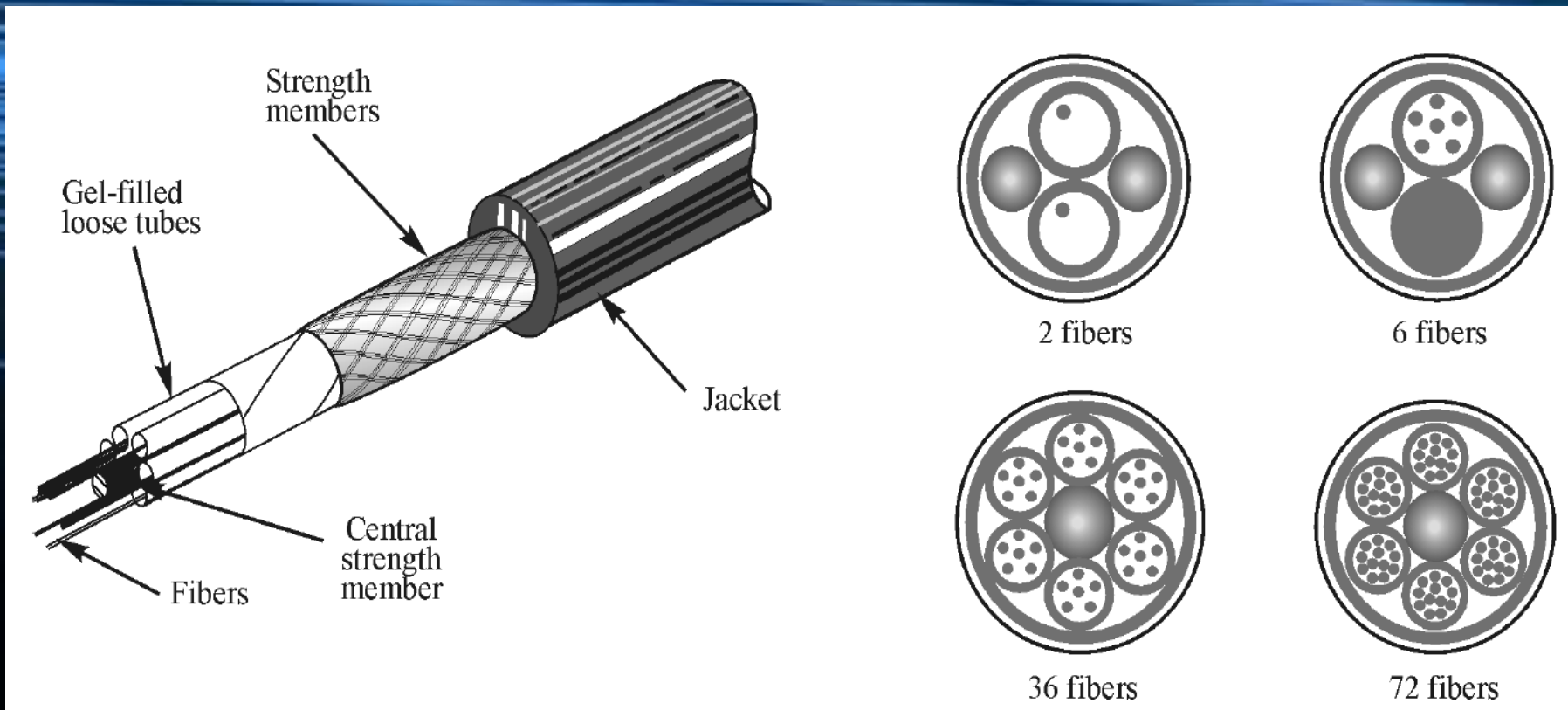
Cables Outdoor	
Overhead	Cables sostenidos sobre las líneas eléctricas o telefónicas.
Subterráneos directos	Cables enterrados en un trinchera o canal directo.
Subterráneos indirectos	Cables diseñados para alojarse en ductos.
Submarinos	Cables adaptados para soportar las condiciones extremas del fondo submarina.

Cables heavy-duty



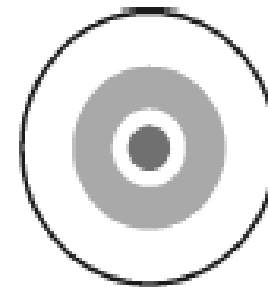
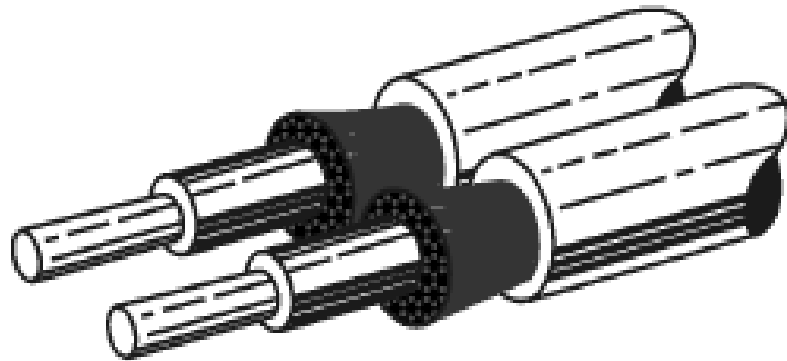
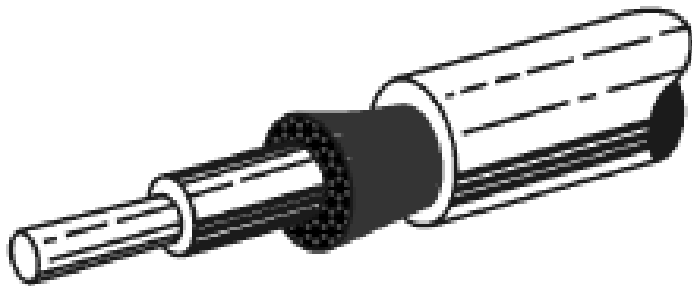
Cables de fibra óptica

Cables tipo buffer suelto

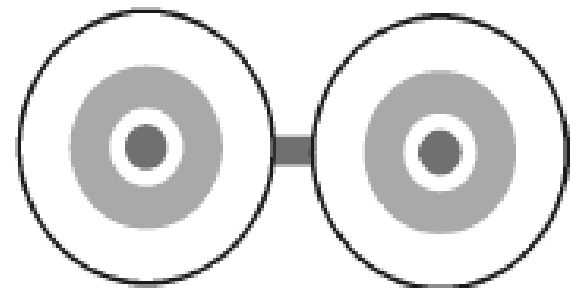


Cables de fibra óptica

Cables tipo buffer ajustado

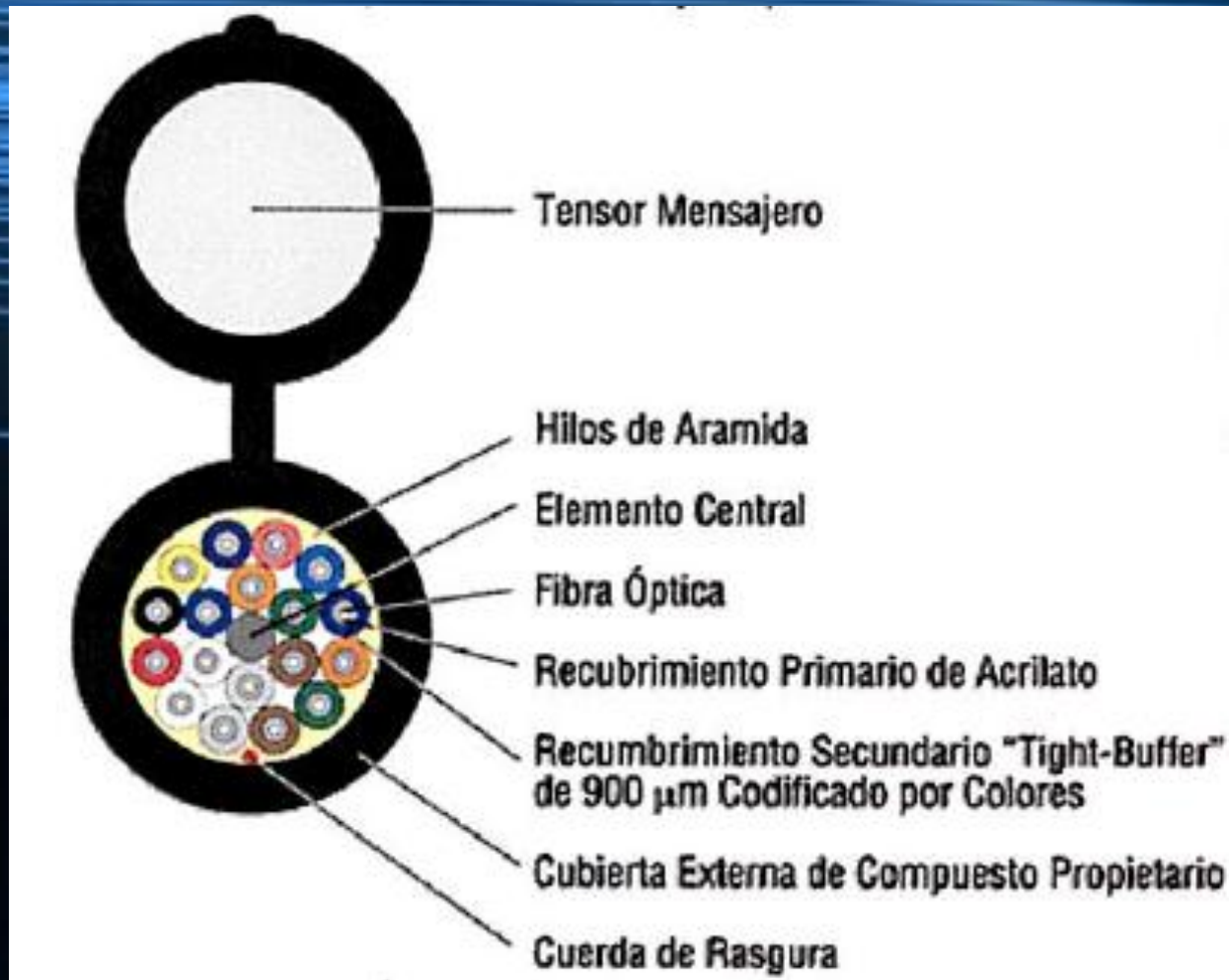


Simplex

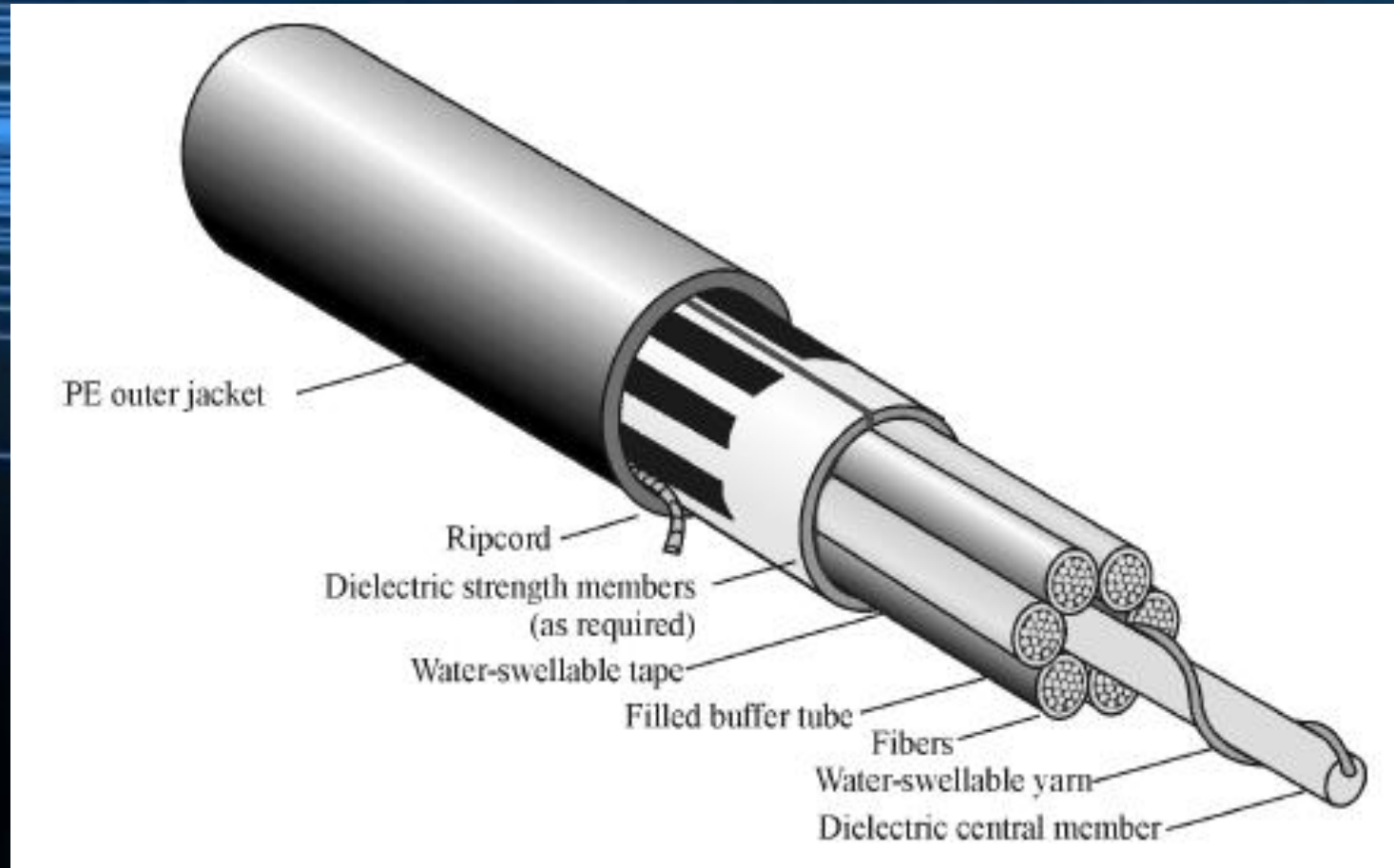


Zipcord

Cables de fibra óptica



Cables de fibra óptica



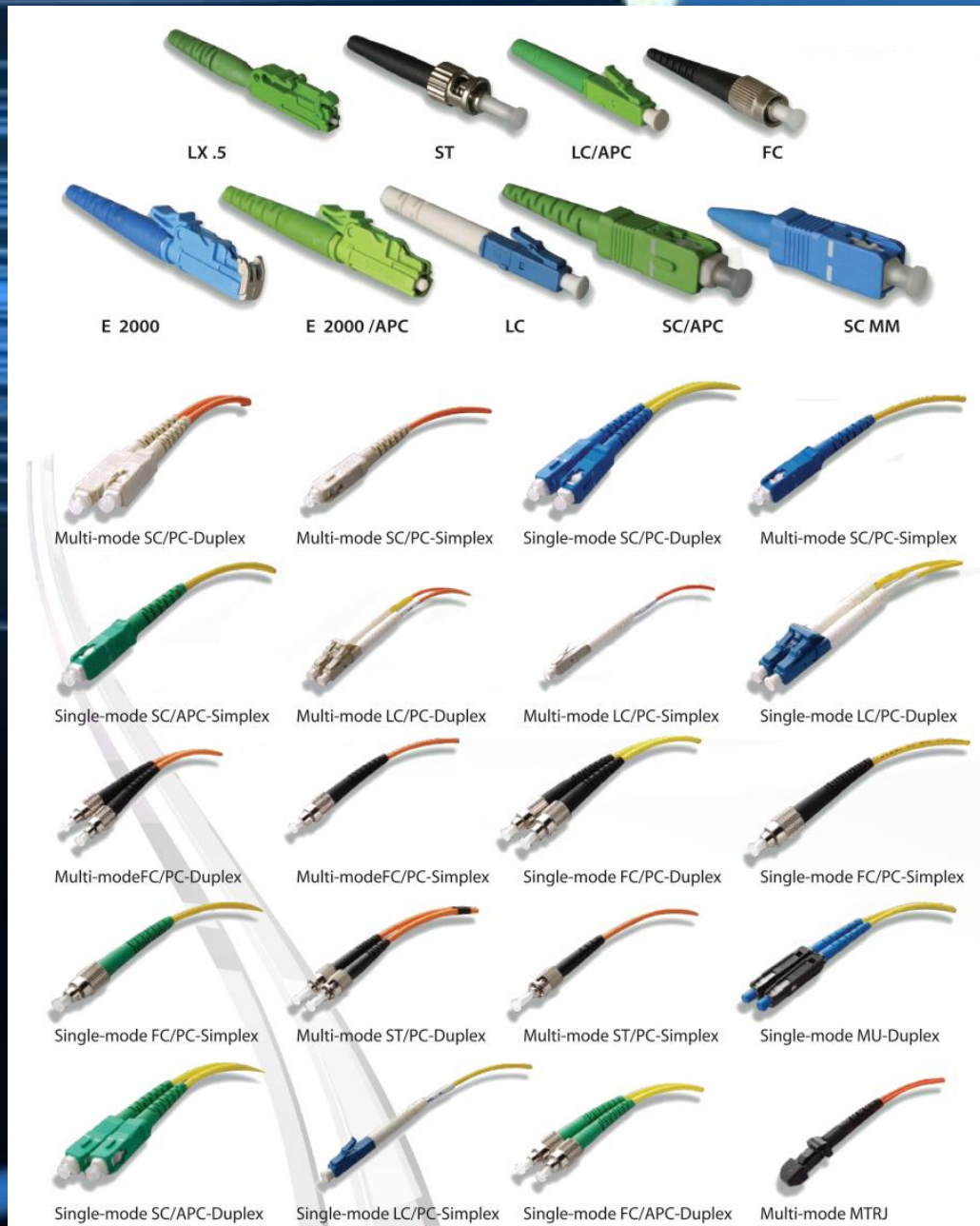
Cables de fibra óptica

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

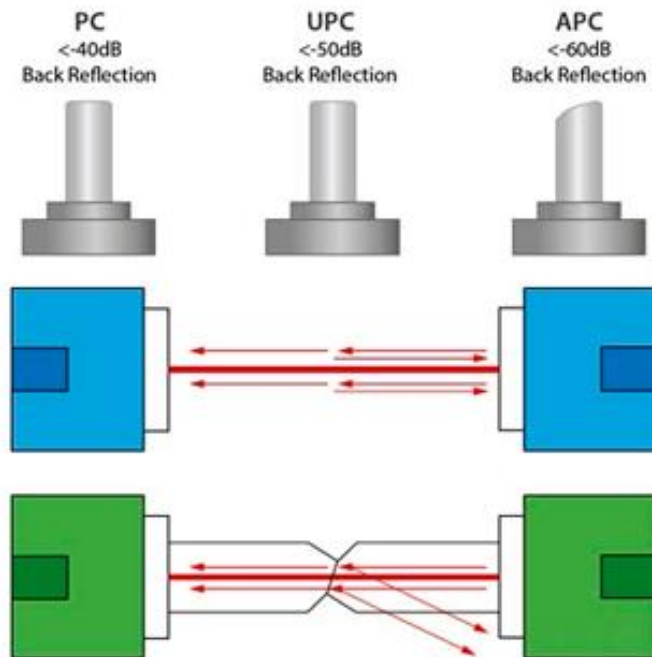
Conectores de fibra óptica



Conectores de fibra óptica

	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



Tipos de Pulido

