



Arquitectura de comunicaciones Móviles

Fibras Ópticas

Ing. Anibal Pose

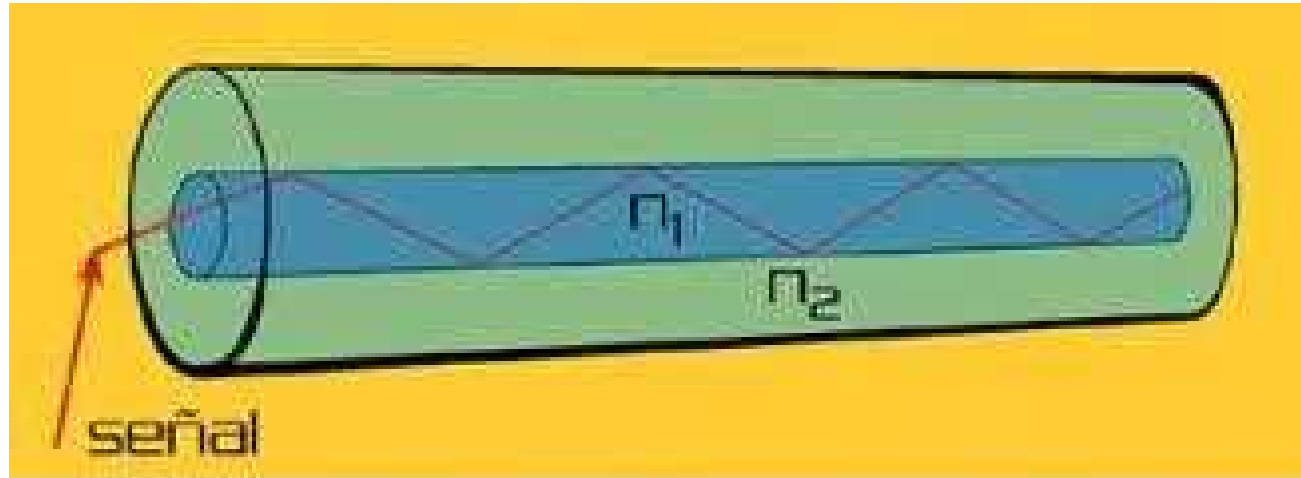
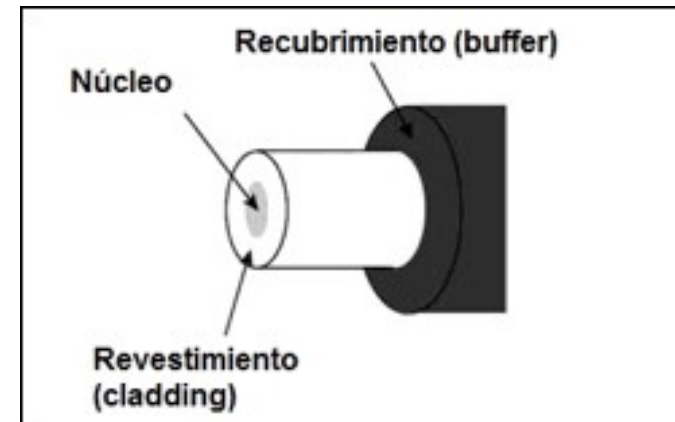
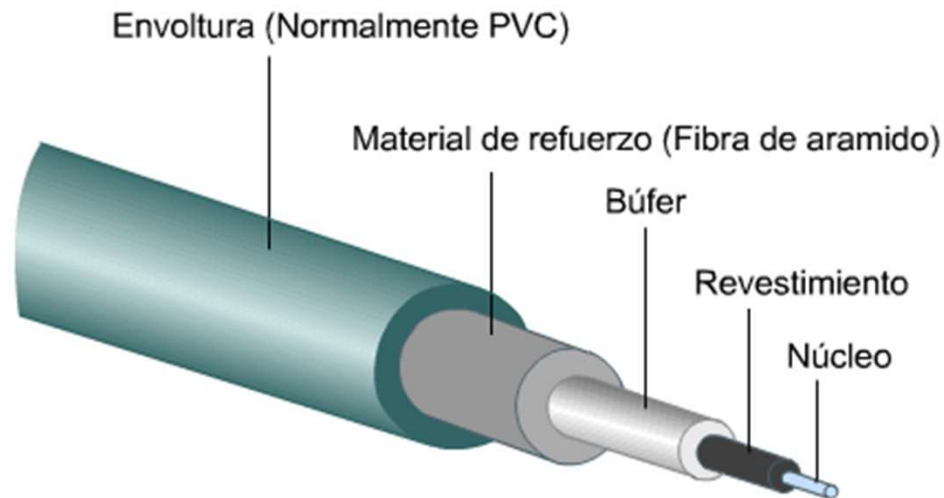
Fibras Ópticas



Una fibra óptica consiste en dos regiones concéntricas. La región interna es un filamento transparente llamado núcleo, cuyo diámetro suele estar comprendido entre 8 y 600 micras dependiendo del tipo de fibra óptica, y su índice de refracción es superior a la región externa. La región exterior consiste de un revestimiento de cuarzo o plástico al igual que el núcleo. Resultando que la luz inyectada en un extremo de la fibra, dentro de un determinado ángulo conocido como abertura numérica, es totalmente reflejada cada vez que incide en límite del núcleo/revestimiento. La luz continúa reflejándose múltiples veces a través de la fibra por esta reflexión interna total, hasta que sale por el otro extremo.

El revestimiento se encuentra rodeado de una tercera capa, la cubierta protectora, de material plástico.

Fibra óptica



El principio de operación de la fibra óptica esta basado en el principio de la reflexión interna total. En la figura, n =Índice de Refracción. Cuando $n_1 > n_2$, la fibra tiene Reflexión interna total.

Principio de la Propagación en Fibras Ópticas



- El principio que explica las comunicaciones a través de fibras ópticas es la “Ley de Snell”
- Cuando un haz de luz incide sobre la superficie de separación entre dos medios parte de la energía se “refleja” volviendo al mismo medio del cual provenía y parte de la energía se “refracta”
- La refracción es el fenómeno por el cual la energía ingresa al segundo medio pero el haz de luz sufre un cambio de ángulo.



Reflexión y Refracción

Ley de Snell

Normal

Onda incidente

θ_a

Medio a

Medio b

θ_b

Onda refractada

Elementos de la refracción

Fórmulas de la ley de Snell

$$\text{sen}\theta_a \times n_a = \text{sen}\theta_b \times n_b$$

n es el índice de refracción del medio

$$\frac{\text{sen}\theta_a}{\text{sen}\theta_b} = \frac{V_a}{V_b}$$

V es la velocidad de la onda en el medio

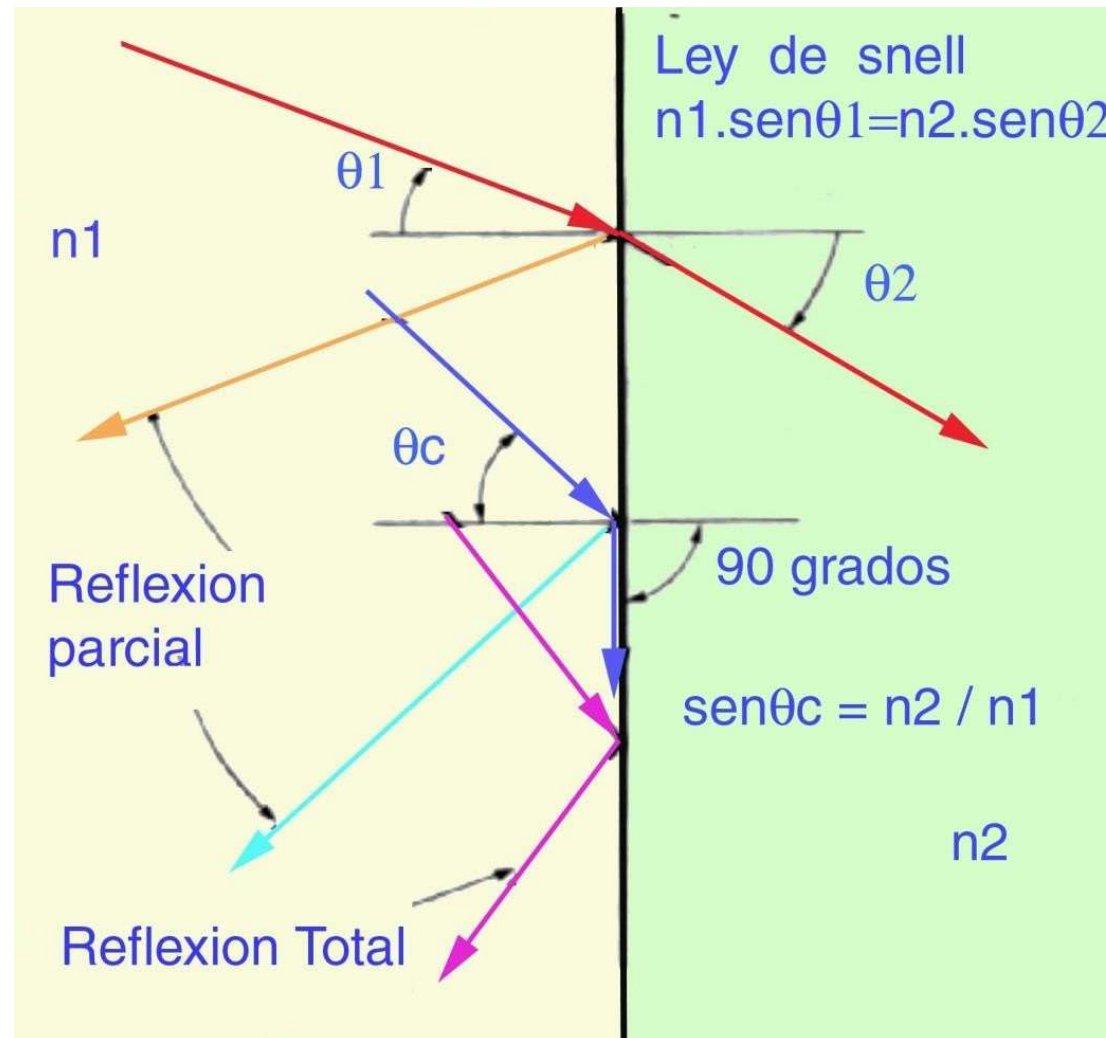
Índice de Refracción



- El índice de refracción es un número adimensional que mide la relación entre la velocidad de propagación de la luz en el vacío versus el medio considerado.

- Valores típicos :
 - Vacío = 1.0
 - Aire = 1.0003
 - Agua = 1.33
 - Vidrio = 1.5
 - Diamante = 2.0
 - Silicio = 3.4

Reflexión Parcial y Total



Apertura Numérica

Ángulo de Aceptación



- Los rayos dentro del alma de la fibra óptica pueden incidir en varios ángulos pero la reflexión interna total se produce exclusivamente para aquellos que inciden con un ángulo mayor que el crítico.

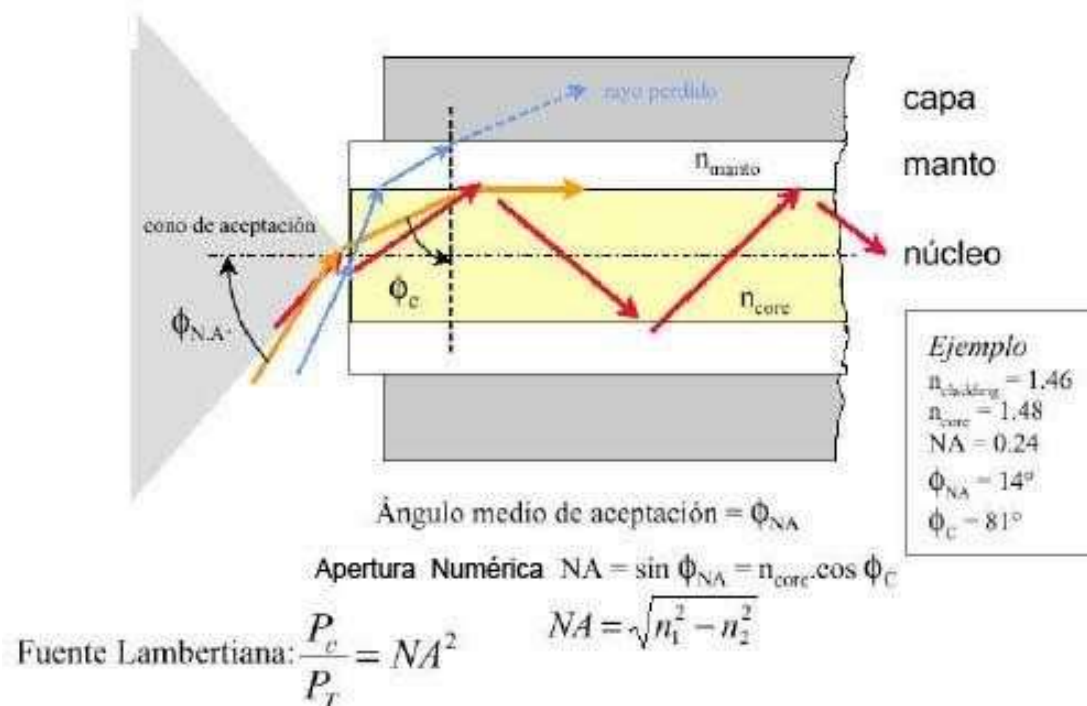
Este fenómeno evita que los rayos abandonen la fibra antes de llegar al extremo de la misma.



Apertura Numérica

Ángulo de Aceptación

- Angulo de aceptación es el ángulo máximo medido desde el eje de la fibra para el cual el rayo incidente experimenta reflexión total.
- apertura numérica es un número adimensional que esta dado por el seno del ángulo de aceptación



Modos de Propagación



- Dentro de los límites impuestos por la apertura numérica los rayos pueden propagarse en varios ángulos.
- Los que se propagan con bajos ángulos respecto al eje de la fibra se denominan modos bajos.
- Estos modos no existen en forma continua. Para una dada longitud de onda existen una serie de ángulos discretos en los cuales existe propagación.
- Fibra monomodo es aquella en la cual el área del núcleo y la apertura numérica son tales que permiten la propagación de un solo modo.

Modos Secundarios



- Modos secundarios sufren una alta atenuación y se extinguen antes de los 50 metros.
- La mayoría de ellos se vinculan con la propagación de energía a través de la capa superficial de la fibra (cladding).
- Pueden eliminarse rodeando la fibra desnuda con una cubierta cuyo índice de refracción sea mas elevado.

Fibras Ópticas

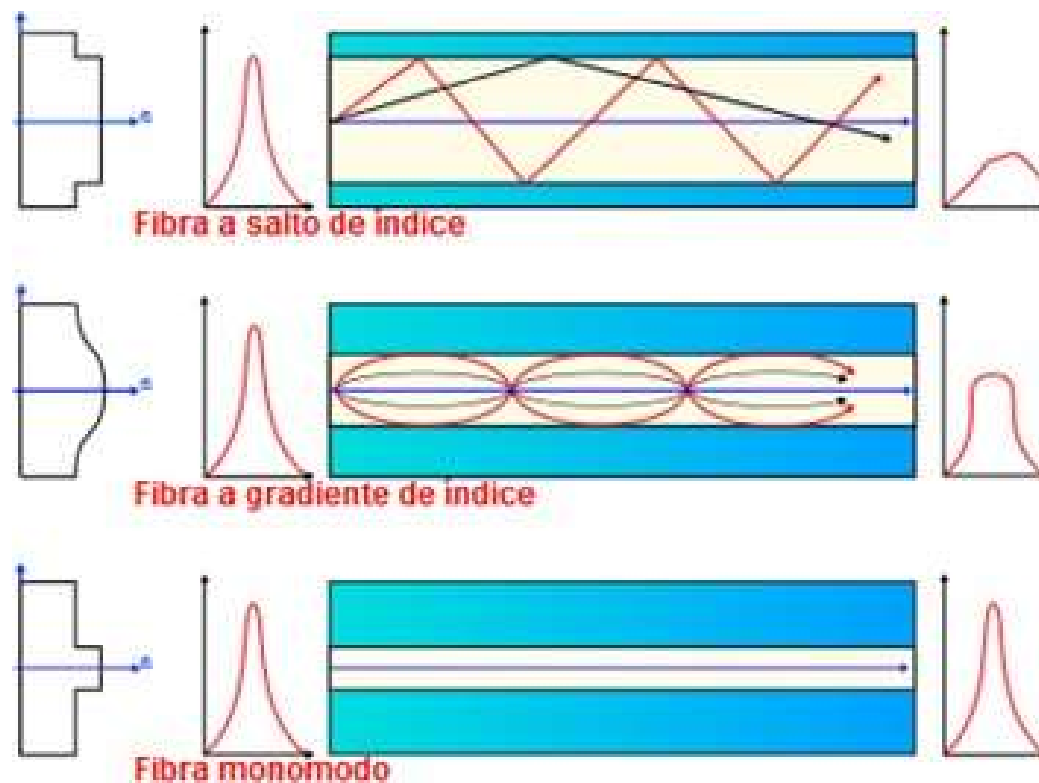
Diferentes tipos



- Según los modos de propagación :
 - Monomodo
 - Multimodo
- Según índices del refracción :
 - Escalonado
 - Gradual
- Según la dispersión cromática :
 - Standard, dispersión cero en 1310 nm
 - Dispersión desplazada (shifted), cero en 1550 nm
 - Non zero dispersion, optimizada para DWDM

Fibras Ópticas

Índice Gradual vs Escalonado



Atenuación en el cable de F.O.



- Los modos que se propagan por el centro de la fibra (core) sufren un proceso de atenuación.
- La atenuación se produce por :
 - Dispersión producida por materiales extraños.
 - Absorción molecular.
 - Irregularidades en la interface core-cladding.
- Las dos primeros mecanismos dependen de la distancia que debe recorrer el haz dentro de la fibra
- El último depende de la cantidad de reflexiones.
- Los modos de mayor orden sufrirán una mayor atenuación (mayor distancia y mas reflexiones)

Tipos de Pérdidas



- Pérdidas intrínsecas.
 - ❑ Son propias de la fibra
 - ❑ Dependen de su construcción
 - ❑ No se pueden eliminar

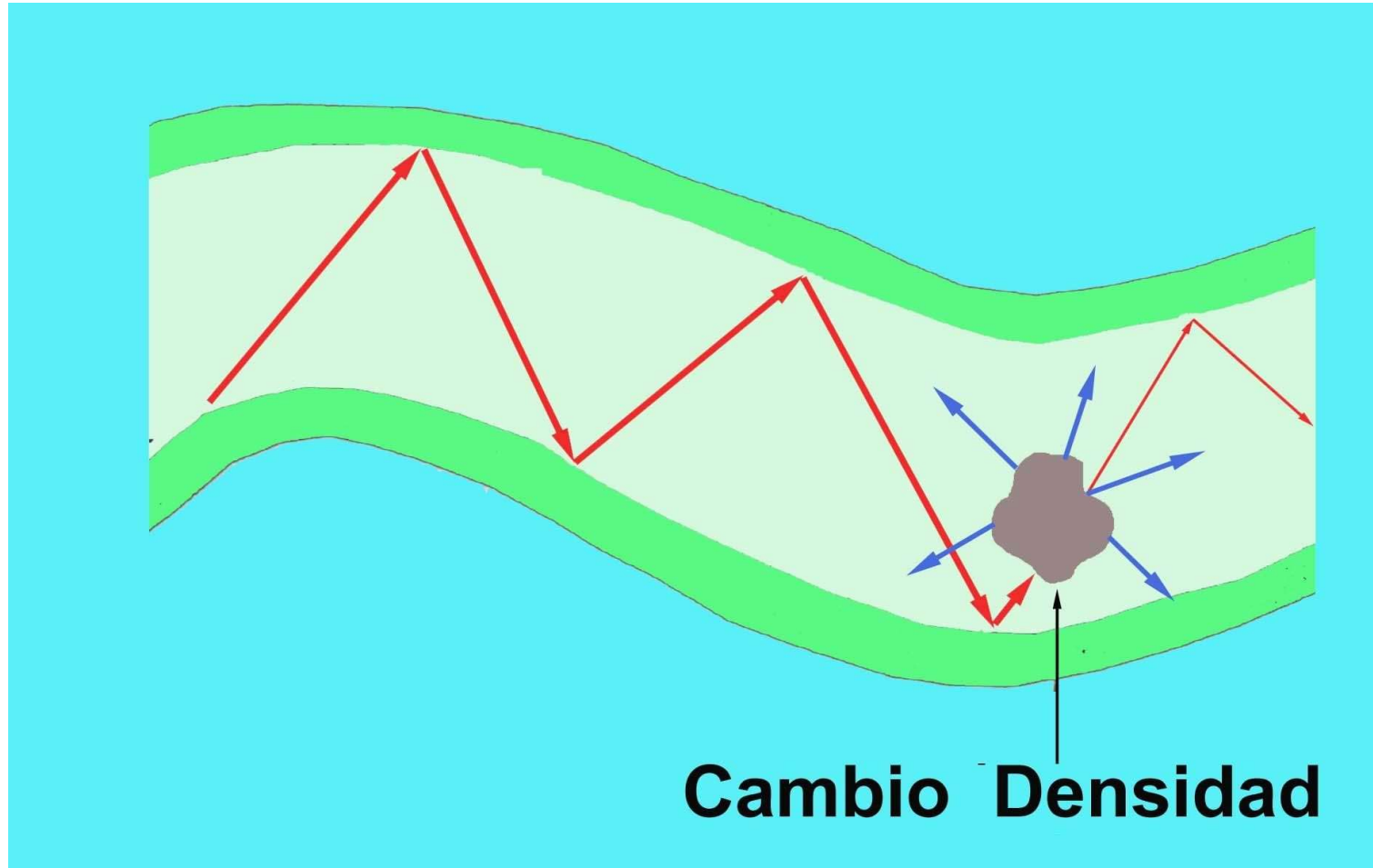
- Pérdidas extrínsecas.
 - ❑ No son propias de la fibra
 - ❑ Dependen del proceso de producción

Tipos de Pérdidas

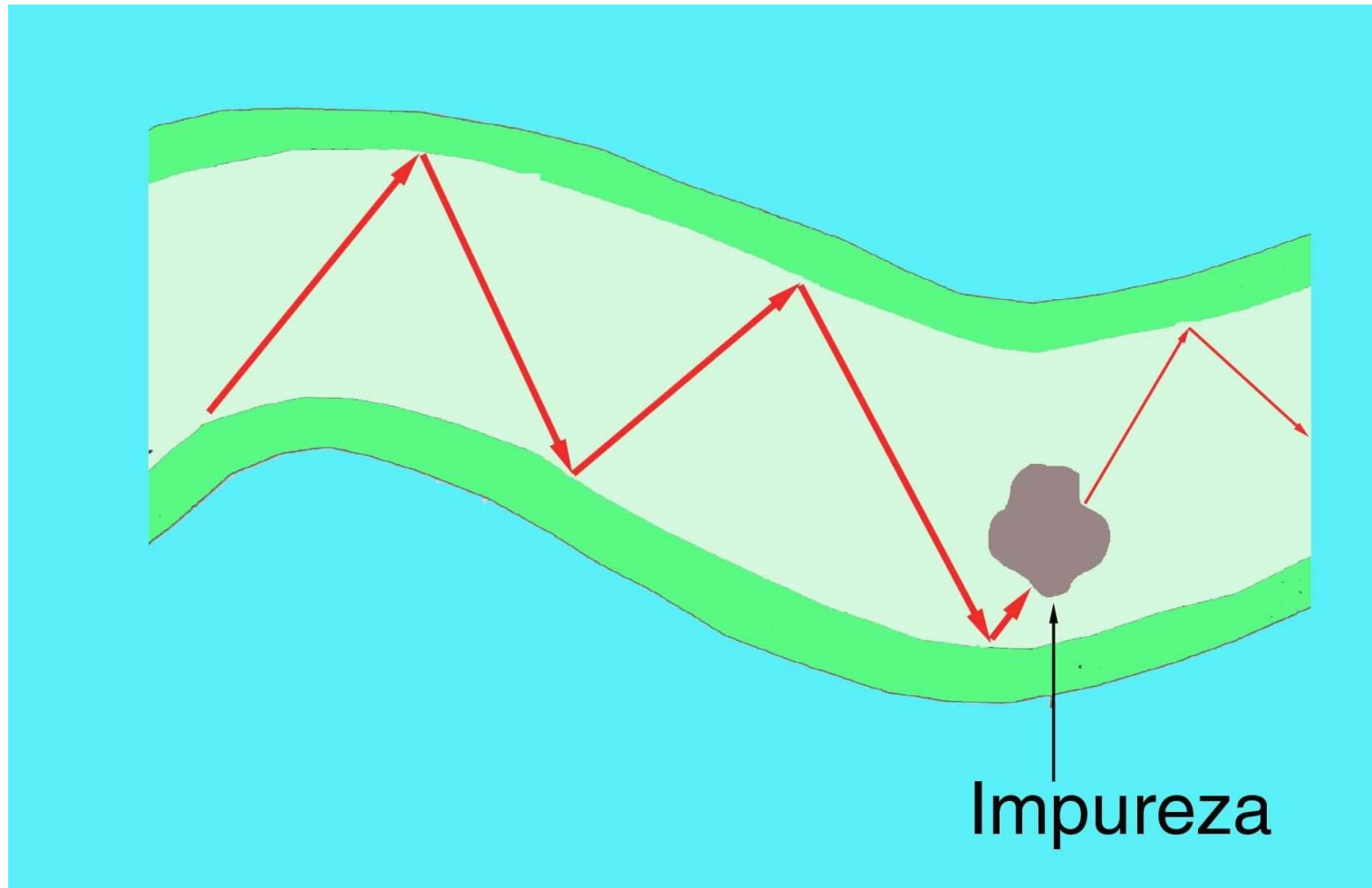


- Pérdidas intrínsecas.
 - ❑ Absorción por rayos UV e IR.
 - ❑ Scattering Rayleigh.
 - Fluctuaciones en el sición del vidrio, serán fluctuaciones en el índice de refracción originadas por la agitación térmica (serán del orden de la λ).
- Pérdidas extrínsecas.
 - ❑ Absorción por impurezas.
 - ❑ Curvaturas.
 - ❑ Microcurvaturas.
 - ❑ Atenuación por tendidos.

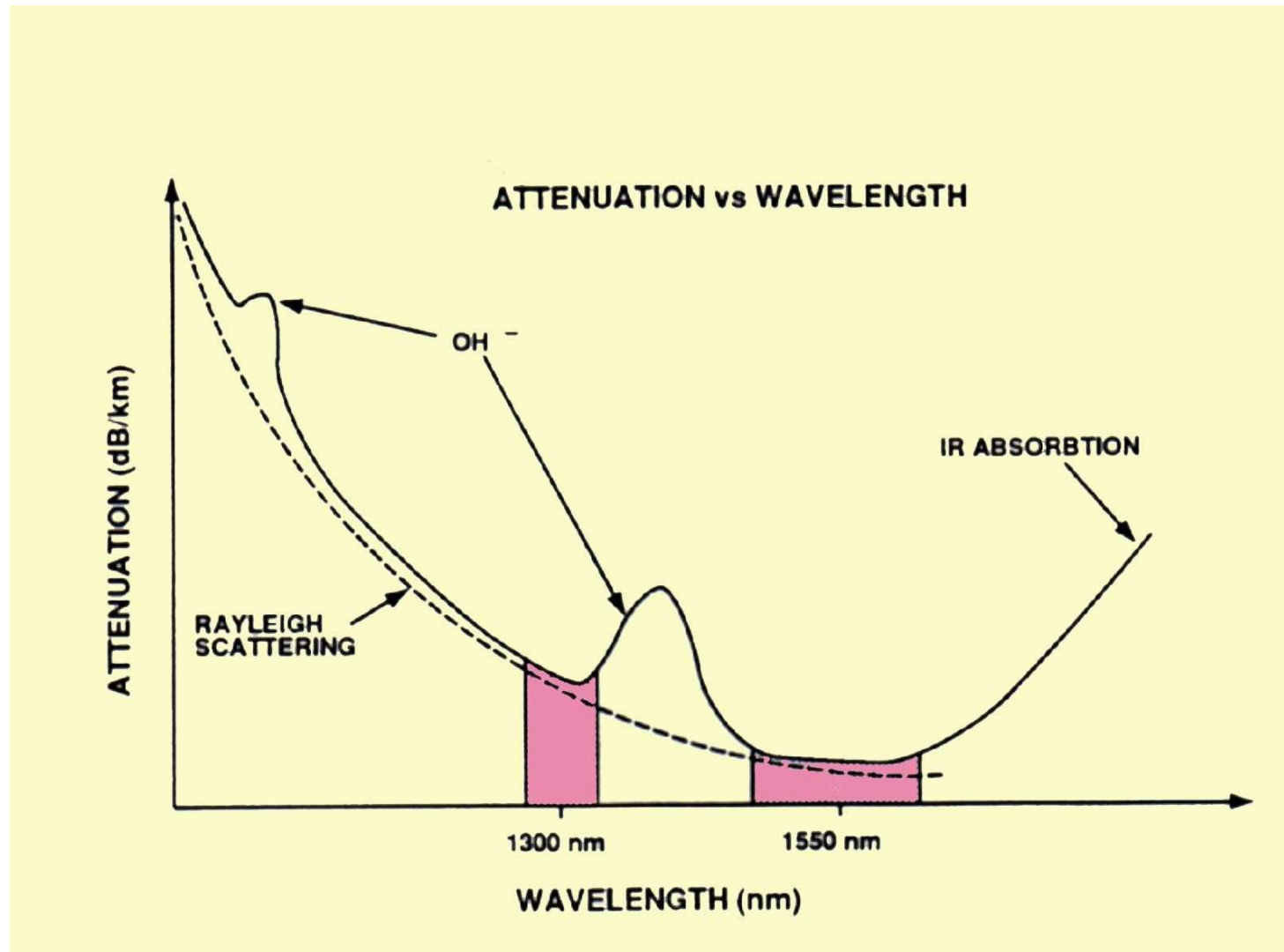
Atenuación por Dispersión (Scattering)



Atenuación por Absorción



Curva de Atenuación



Atenuación en las Interfaces de Acoplamiento



- Interfaces de acoplamiento pueden ser :
 - Entre dos fibras ópticas = conectores y empalmes
 - Entre dispositivo y fibra = TX-FO o RX-FO

- Los mecanismos que producen atenuación en las interfaces de acoplamiento son :
 - Vinculadas con valores de la apertura numérica.
 - Vinculadas con el área de los ports ópticos.
 - Pérdidas de tipo Fresnel (reflexión)
 - Provocadas por des-alineamientos y/o separación.

Perdidas vinculadas con la Apertura Numérica



- Pueden ignorarse siempre que la apertura numérica del dispositivo receptor (RX o FO) sea mayor que la del dispositivo transmisor (TX o FO).
- En caso contrario :

$$\text{Pérd. Ap. Num.} = 20.\log \frac{\text{Ap. numérica Fuente}}{\text{Ap. numérica Receptor}}$$

Perdidas Vinculadas a la Diferencia de Áreas



- Pueden ignorarse siempre que el área del dispositivo receptor resulte mayor que la del dispositivo transmisor.
- En caso contrario debe computarse :

$$\text{Pérdida Dif. Área} = 20 \log \frac{\text{Diámetro Fuente}}{\text{Diámetro Receptor}}$$

El diámetro a considerar es el del núcleo de la fibra

Diferencia de Áreas

Pérdida de Empaquetamiento



- En el caso de tener un manojo de fibras debe agregarse una pérdida adicional que es la que corresponde a la fracción de empaquetamiento :

$$\text{Pérdida Empaquetamiento} = 20 \log \frac{\text{Área Activa}}{\text{Área Total}}$$

Perdidas Tipo Fresnel (Reflexión)



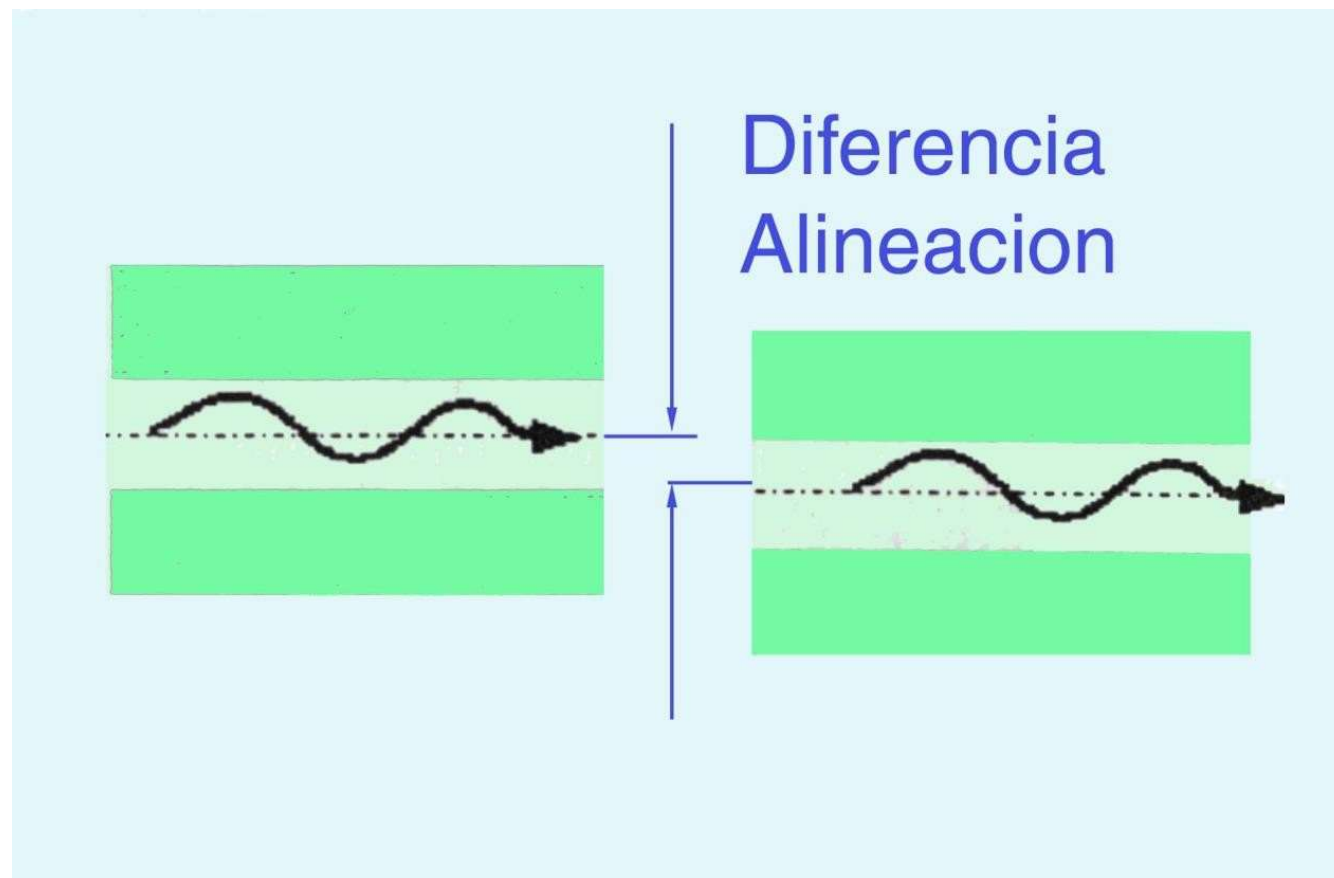
- Se produce siempre que el haz de luz pasa de un medio a otro de índice de refracción diferente ya que parte de la energía se refleja.
- Esta dada por :

$$\text{Pérdida Fresnel} = 10 \cdot \text{Log} \frac{2 + \frac{n_1}{n_2} + \frac{n_2}{n_1}}{4}$$

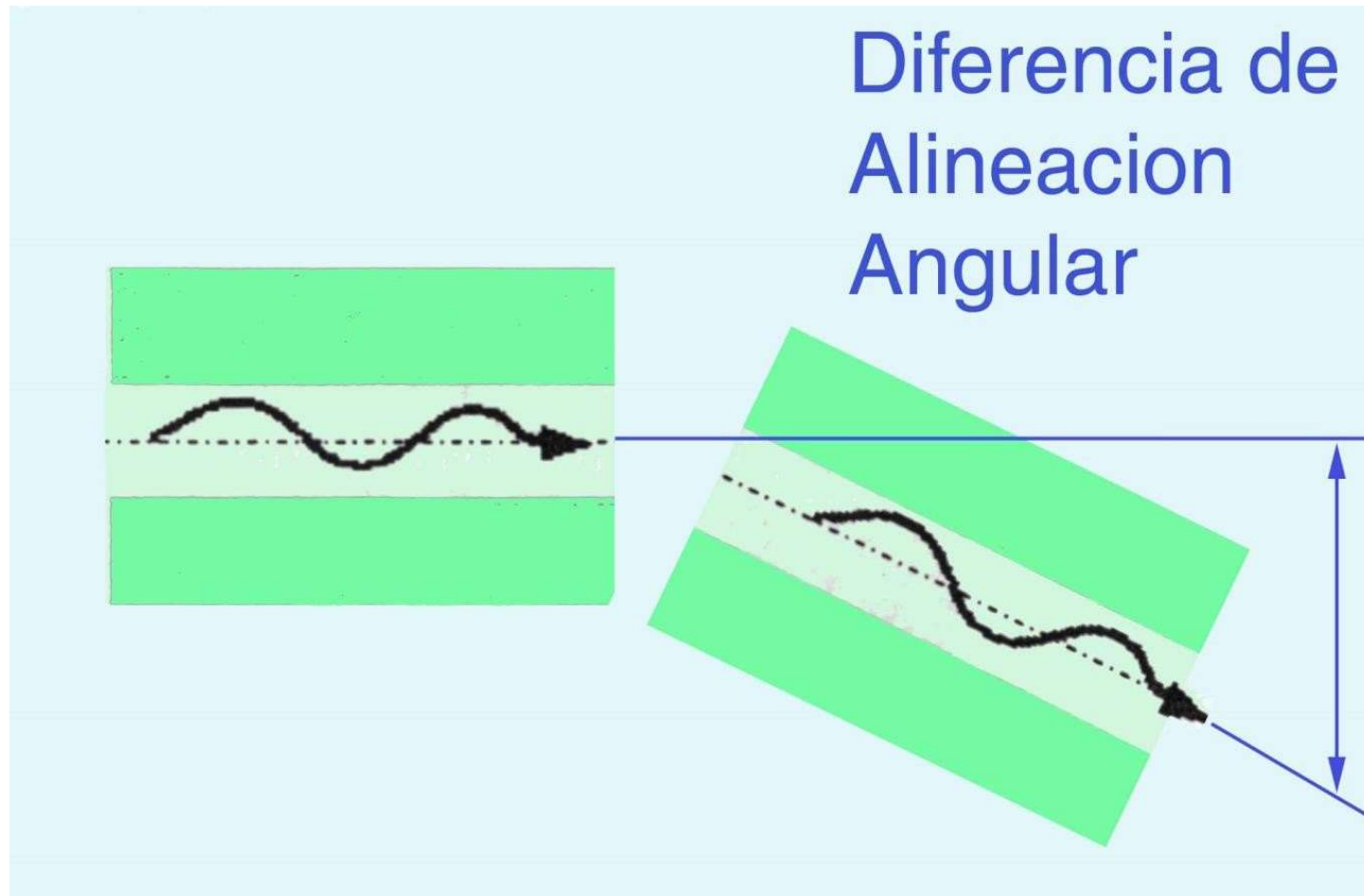
Cuando $n_1 = n_2$ la pérdida tipo fresnel es cero
Se introduce gel para adaptar los índices de refracción y reducir las pérdidas.



Pérdidas por Desplazamiento lineal del Núcleo



Perdidas por Desplazamiento Angular



Conectores de Fibra Óptica

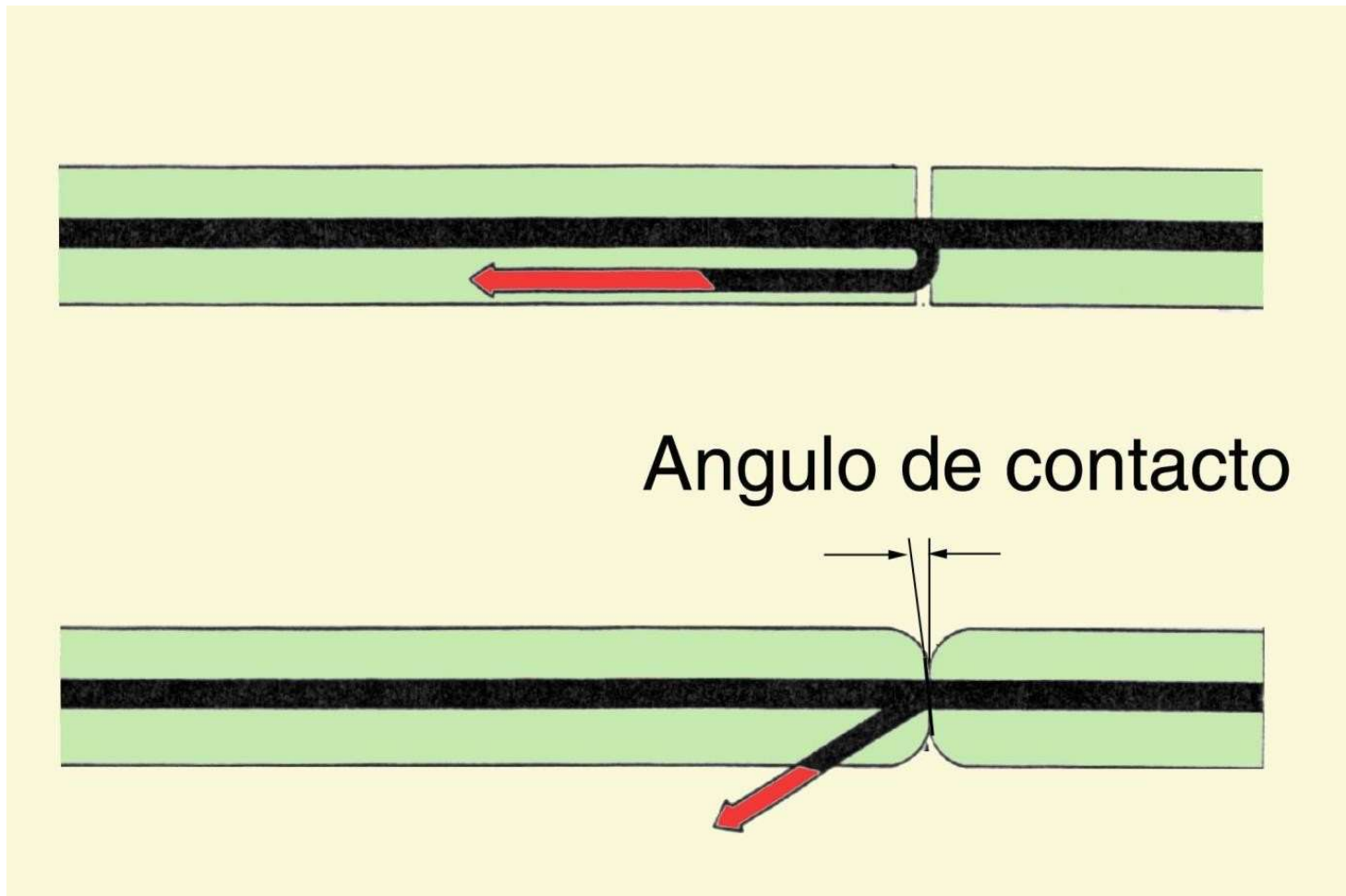
(Según la terminación del Ferrule)



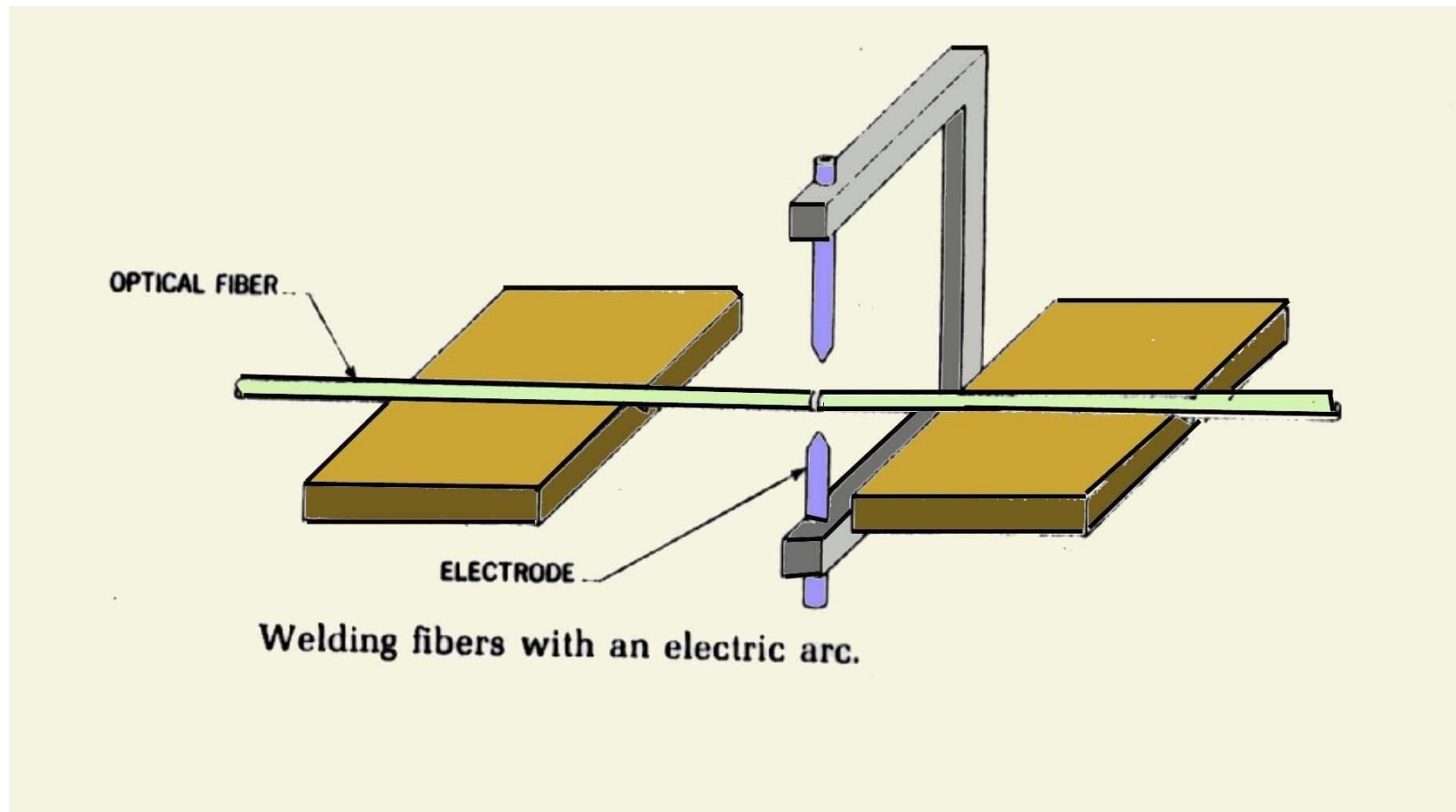
- Primeros conectores con terminaciones planas enfrentadas que no entraban en contacto (air gap)
- Conectores tipo PC (physical contact) eliminan el gap de aire de la interfase de fibra.
Perdida de retorno igual a 30 dB
- Conectores Super PC mejora el pulido de las superficies y llega a pérdida de retorno de 45 dB.
- Conectores ultra PC con bordes redondeados mejora el contacto y pérdida de retorno de 55 dB.
- Conector APC (angle physical contact) frente pulido en ángulo refleja hacia fuera, retorno 60 dB

Conectores de Fibra Óptica

Pérdida de Retorno



Empalmes de Fusión



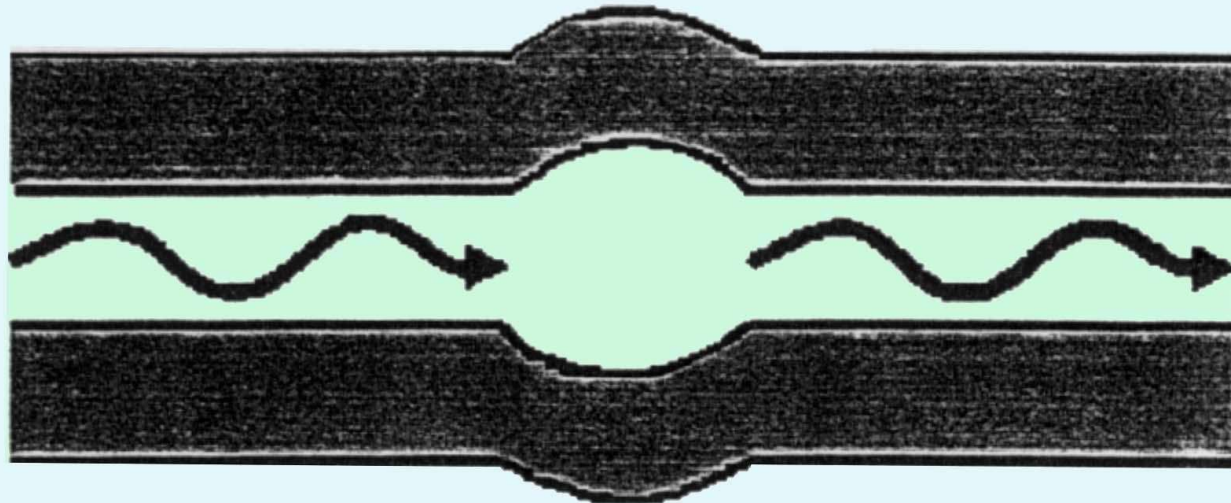
Empalmes de Fusión



Fusionadores de fibra óptica

Empalmes de Fusión

Deformación del núcleo

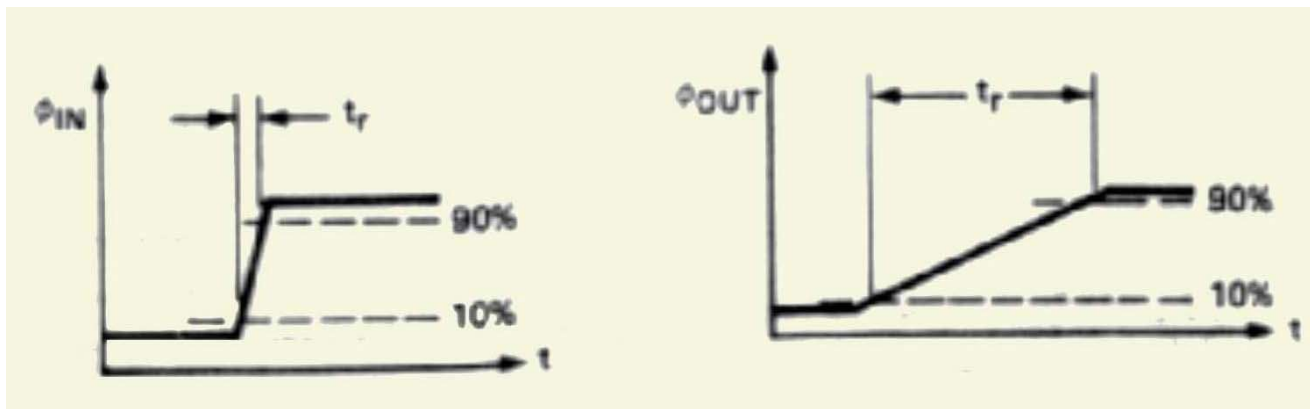


Deformacion del nucleo

Dispersión



- Dispersión es el fenómeno por el cual un pulso luminoso bien conformado aparece en la salida como un pulso mas ancho y con flancos graduales.



- Dos tipos de dispersión :
 - Dispersión modal.
 - Dispersión cromática

Dispersión Modal



- Los diferentes modos recorren distintos caminos antes de llegar al extremo remoto de la fibra.
- Los modos mas bajos recorren distancias mas cortas y llegan antes.
- La dispersión modal se acota con un valor menor de apertura numérica .
- Como la dispersión limita el ancho de banda las fibras multimodo se utilizan solo para distancias cortas o velocidades bajas.

Dispersión Cromática



- Las diferentes longitudes de onda se propagan a distintas velocidades por el interior de la fibra .
- La única manera de combatir los efectos negativos de la dispersión cromática es tratar de trabajar con una fuente de luz lo mas pura posible (luz compuesta por una sola longitud de onda)
- La relación entre n y la longitud de onda aproximadamente esta dada por

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4}$$

Donde A, B y C son constantes del material

PMD (Polarization Mode Dispersion)



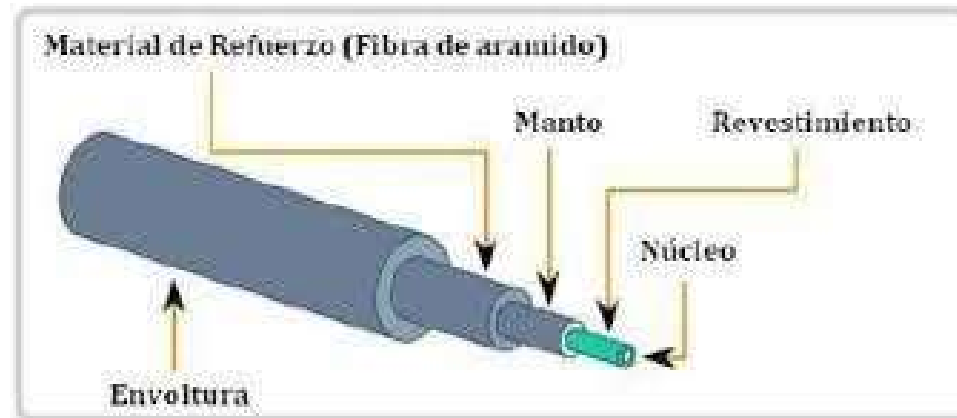
- Un haz de luz puede considerarse como un frente de onda de energía electromagnética con polarización circular que puede descomponerse en dos señales con polarización lineal a 90 grados.
- La fibra puede tener preferencias dimensionales en su estructura que hacen que la velocidad resulte mayor en una polarización que en la otra.
- Valores especificados del PMD estan por debajo de $0.5 \text{ ps}/(\text{km})^{-2}$ a 1310 nm y con estos valores mayormente no contribuyen a la distorsión total .

Fuentes de Luz Laser vs Led

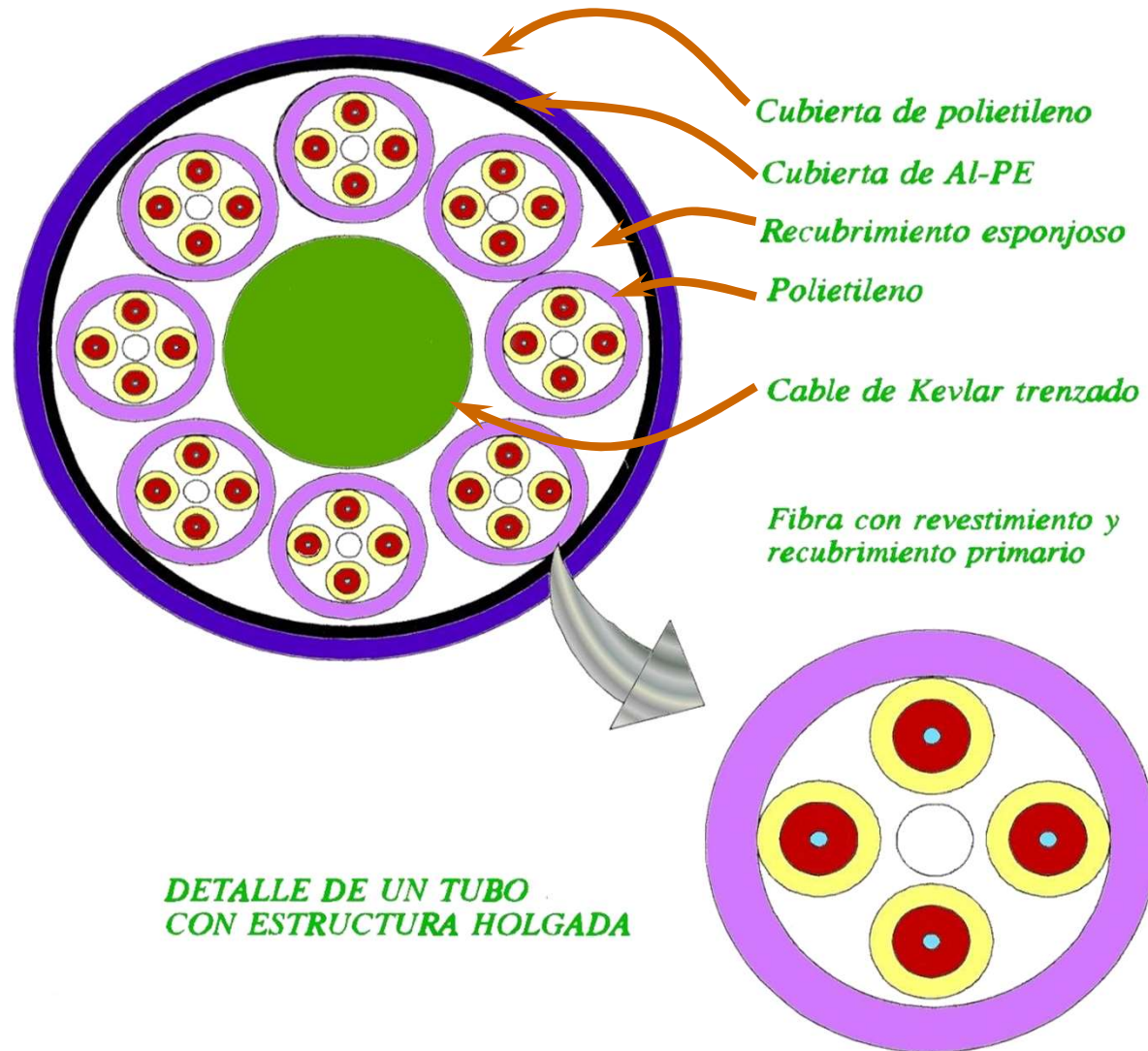


- Fuente de señal óptica es el elemento generador de energía dentro del espectro visible o infrarojo.
- La mayoría de las fuentes de señal óptica generan un espectro de diferentes longitudes de onda y la fase no es uniforme (luz incoherente).
- Los LED (Light Emitting Diode) son la fuente de señal óptica mas económica, se utiliza en TX pulsantes (on-off) y no emiten una señal pura.
- Los LASERS (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), se utilizan en tanto en TX pulsantes como analogicos, emiten una señal mas pura y tienen una cavidad resonante.

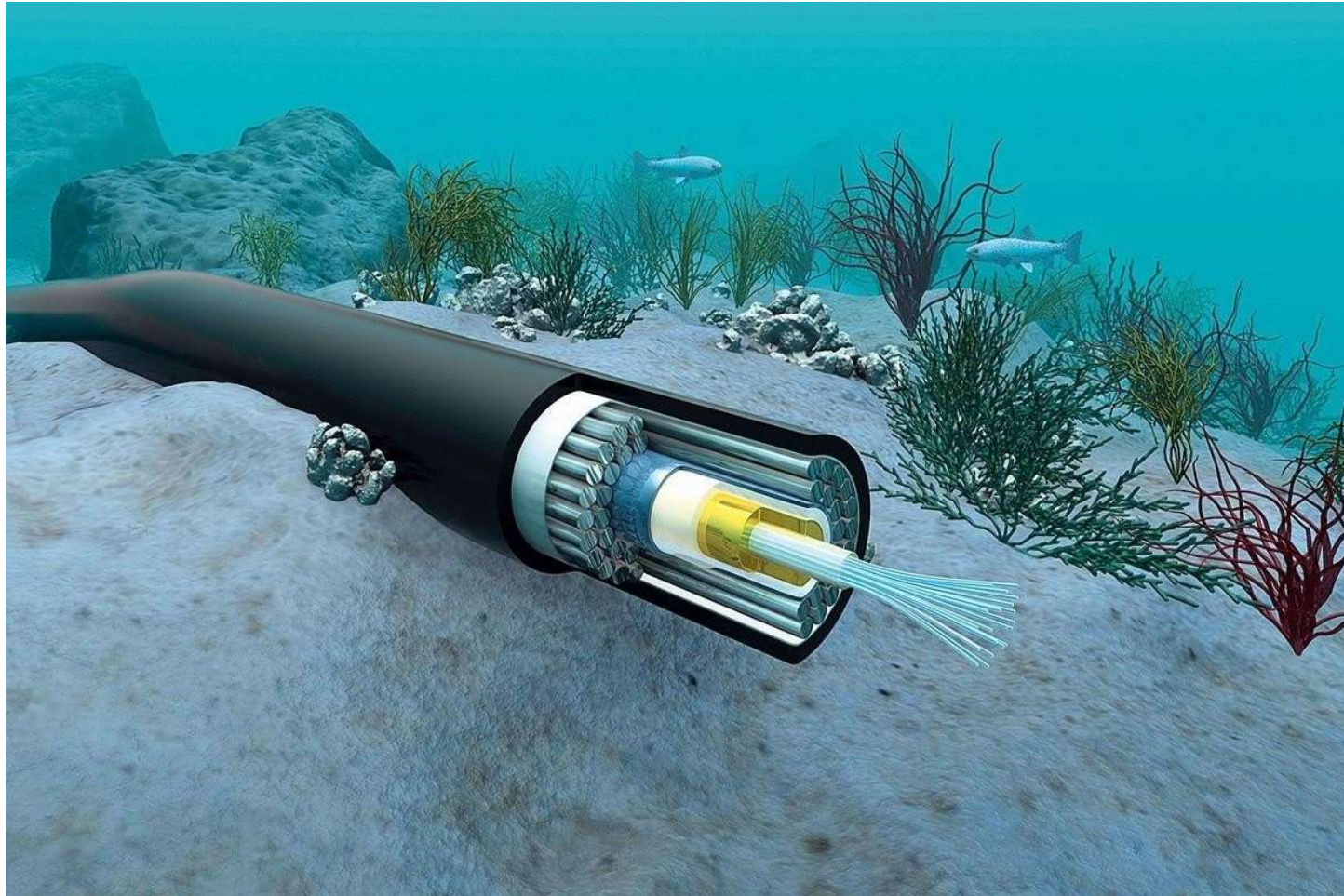
Estructura De Los Cables



Estructura De Los Cables



Cables submarinos



Conectores de fibra óptica



LC



SC



FC



ST