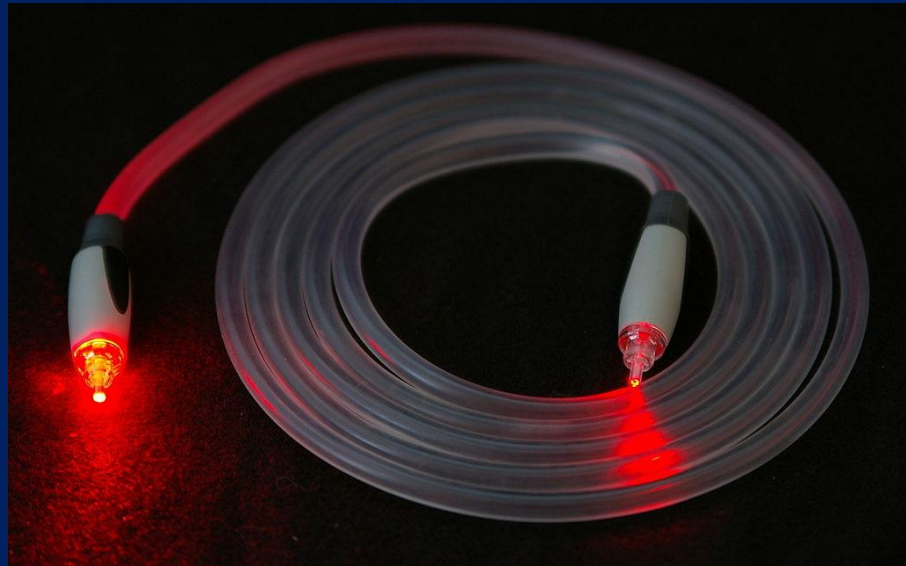
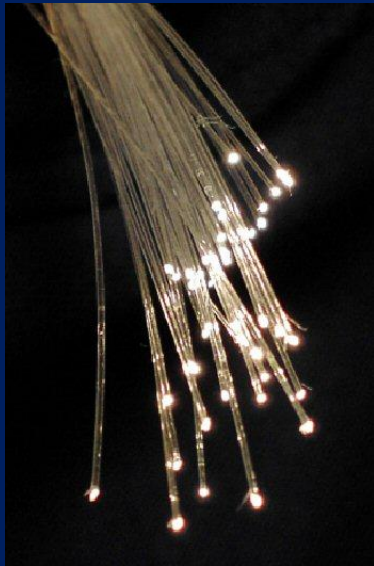


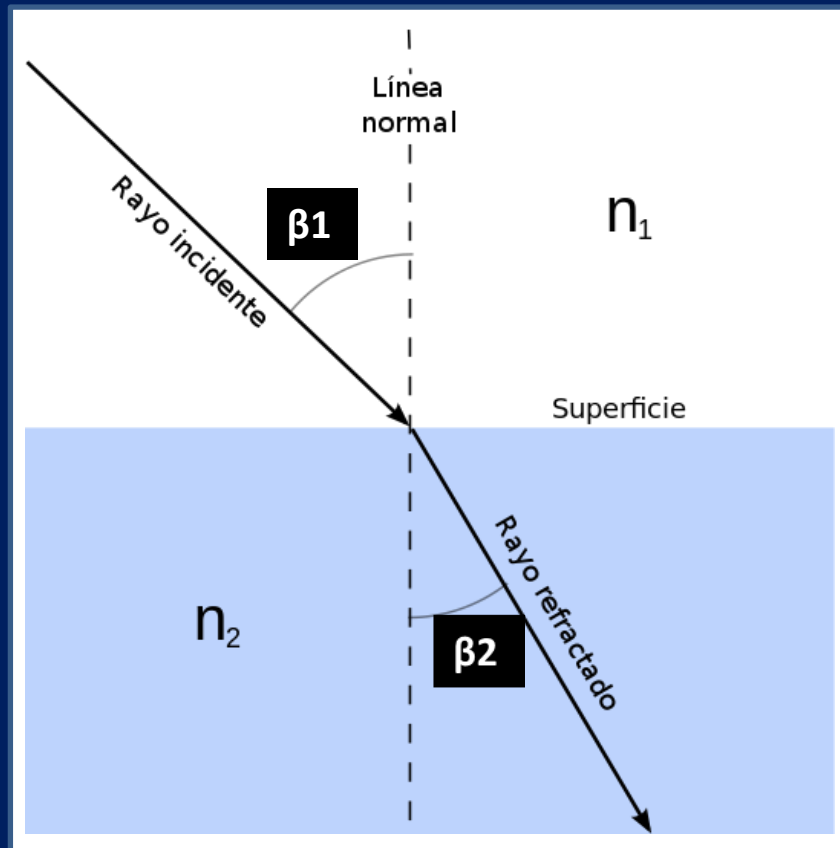
5.	Fibra Óptica	<ul style="list-style-type: none">5.1. Principios básicos de funcionamiento.5.2. Construcción.5.3. Características de fibras monomodo y multimodo.<ul style="list-style-type: none">5.3.1. Ancho de banda, Atenuación, Dispersión.5.4. Enlaces de fibra óptica para transmisión de información.
----	--------------	--

UNIDAD 5. FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica es un medio de transmisión, empleado habitualmente en redes de datos y telecomunicaciones, consistente en un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir.

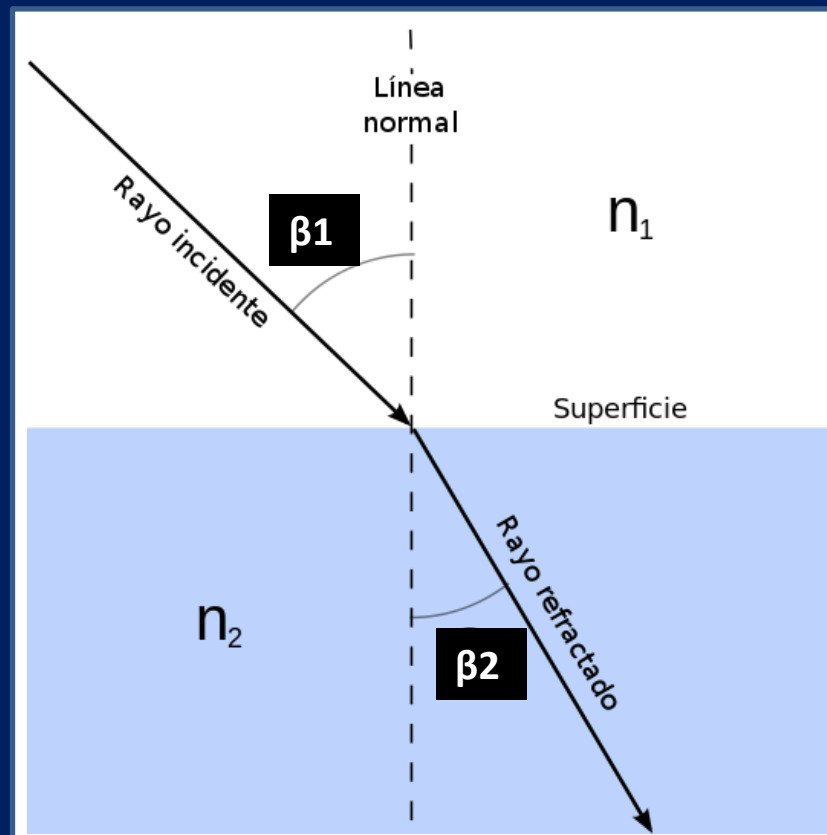


El haz de luz queda completamente confinado y se propaga por el interior de la fibra con un ángulo de reflexión.



Consideremos dos medios caracterizados por índices de refracción n_1 y n_2 (tómese en cuenta que ambos medios tienen diferente densidad) separados por una superficie S.

Los rayos de luz que atraviesan los dos medios se refractan o sea, cambian su dirección de propagación dependiendo del cociente entre los índices de refracción de n_1 y n_2 .



REFRACCIÓN: Es un fenómeno particular de la luz, el cual radica en que cuando la luz que está en el vacío penetra a un medio diferente, experimentará un cambio tanto en la velocidad como en la dirección.

A la relación de este cambio de velocidad se denomina **INDICE DE REFRACCIÓN**.

—

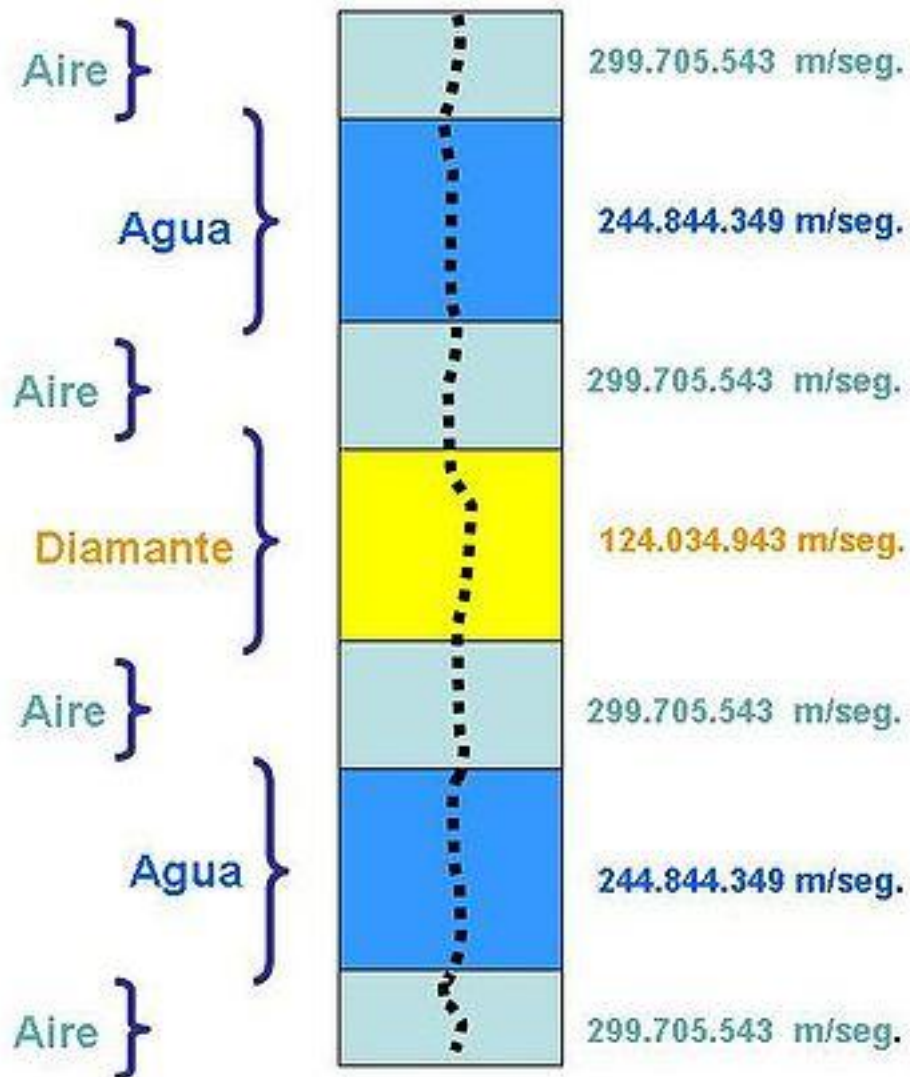
Donde:

n = Índice de refracción.

c = Velocidad de la luz en el vacío.

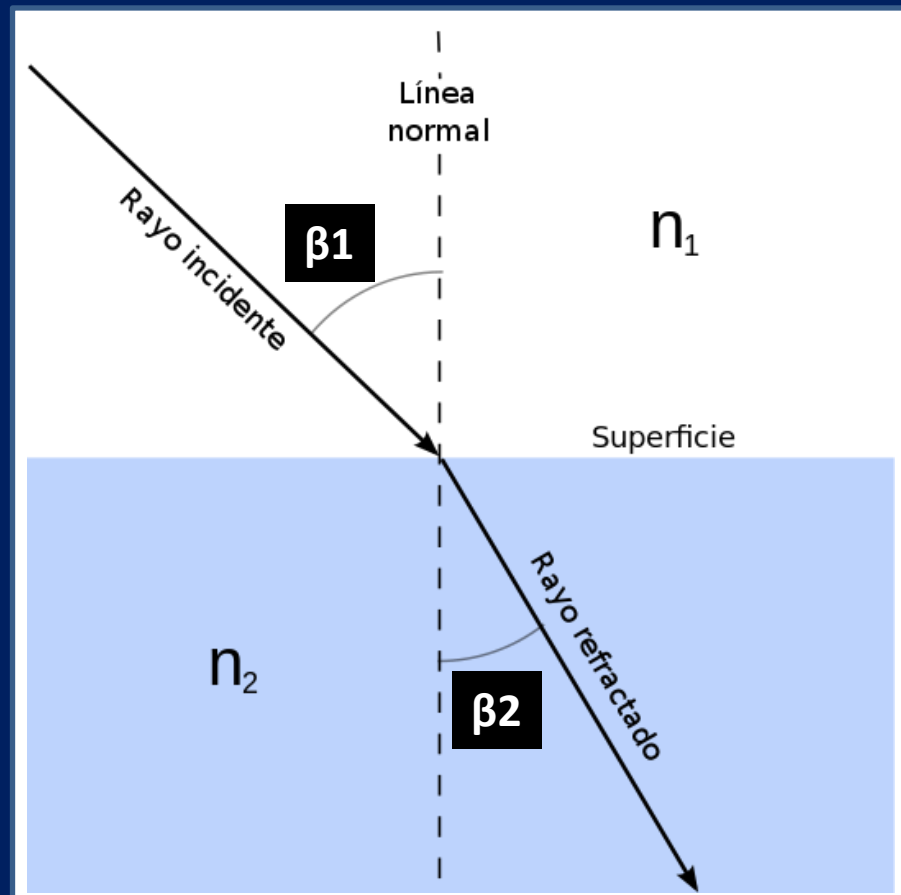
v = Velocidad de la luz en el medio.

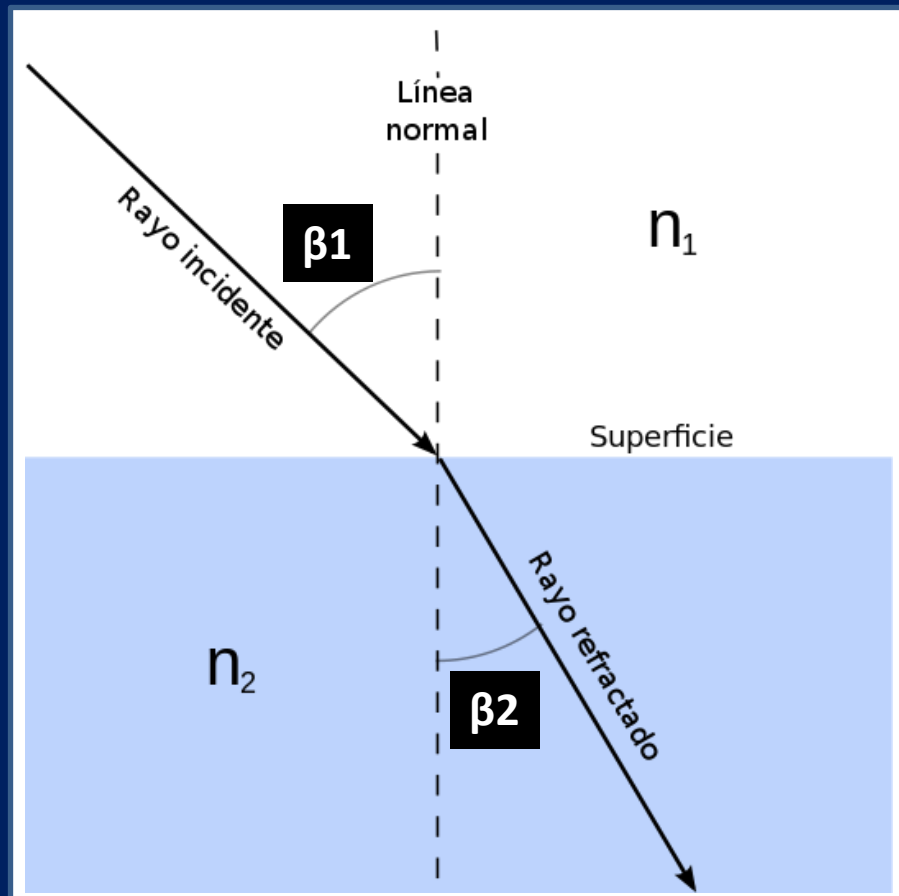
299.792.458 m/seg. ↓ **Fotón**



299.792.458 m/seg. ↓ **Fotón**

Para un rayo de luz con un ángulo de incidencia β_1 en el primer medio, ángulo entre la normal a la superficie y la dirección de propagación del rayo, tendremos que el rayo se propaga en el segundo medio con un ángulo de refracción β_2 cuyo valor se obtiene por medio de la ley de Snell:

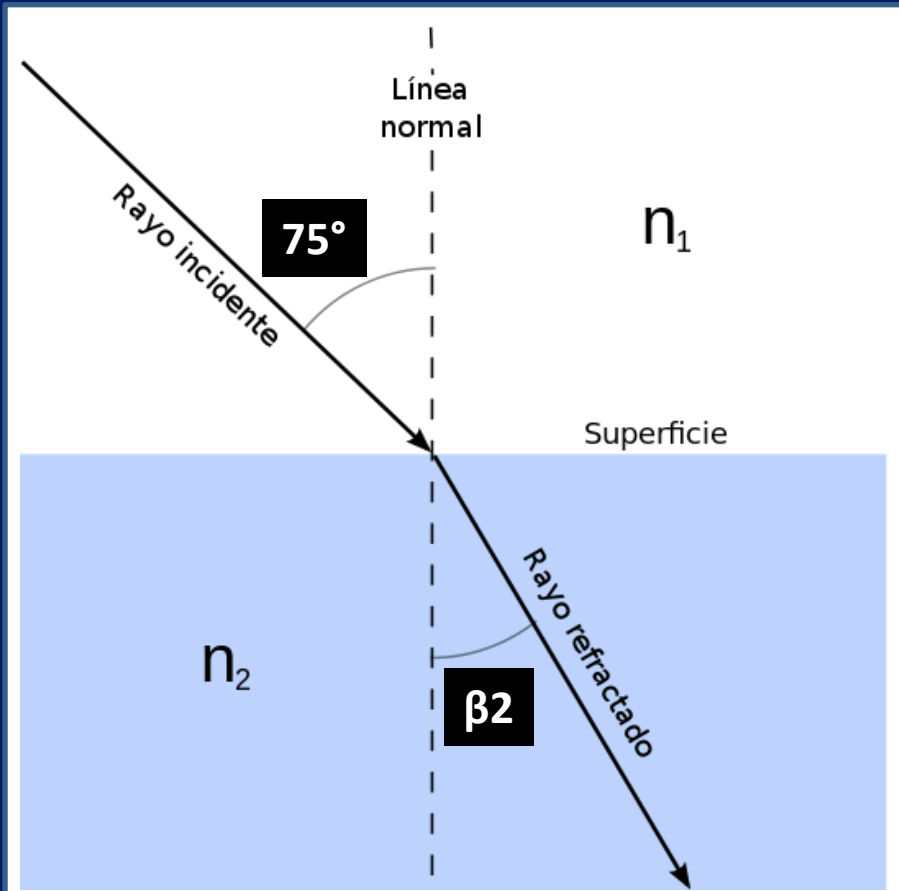




$$n_1 \text{ Sen } \beta_1 = n_2 \text{ Sen } \beta_2$$

Problema:

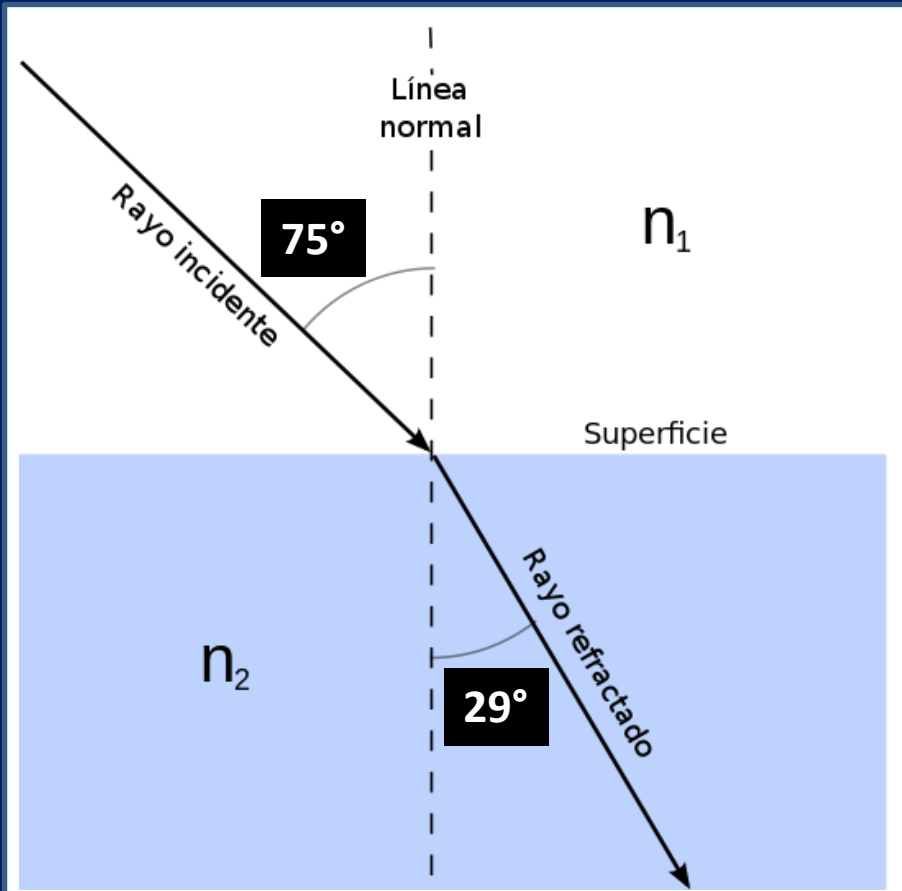
Calcular el ángulo de reflexión de un rayo laser que entra del agua (Velocidad de la luz = 245,000 km/seg) a una fibra óptica de diamante (Velocidad de la luz = 124,035 km/seg), el ángulo de incidencia del rayo es de 75° sobre la normal.



Según la ley de Snell:

$$n_1 \text{ Sen } \beta_1 = n_2 \text{ Sen } \beta_2$$

$$(1.2145) \text{ Sen } 75^\circ = (2.4187) \text{ Sen } \beta_2$$



La fuente de luz puede ser un rayo Laser o un diodo Led.

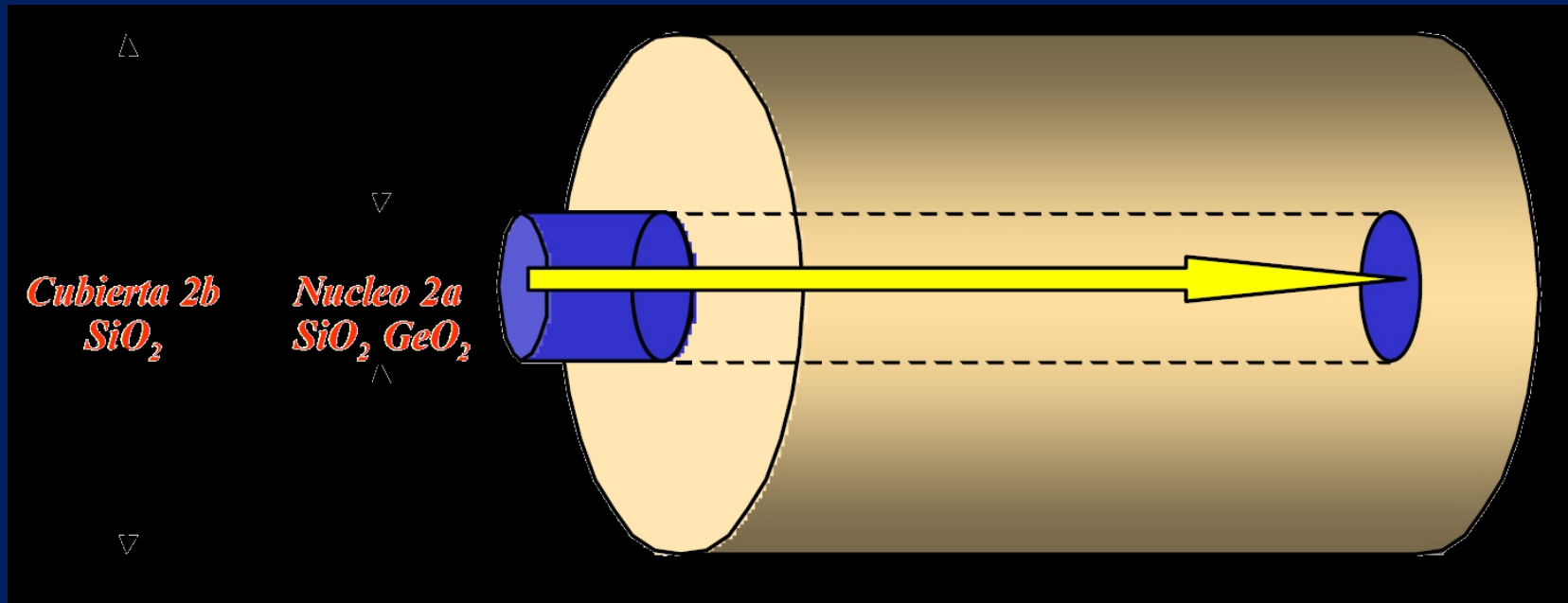
Las fibras se **utilizan ampliamente en telecomunicaciones**, ya que permiten enviar gran cantidad de datos a una gran distancia, con velocidades similares a las de la radio y **superiores a las de un cable convencional**.



Son el medio de transmisión por cable más avanzado, al ser inmune a las **interferencias electromagnéticas**, y también se utilizan para redes locales donde se necesite aprovechar las ventajas de la fibra óptica sobre otros medios de transmisión.

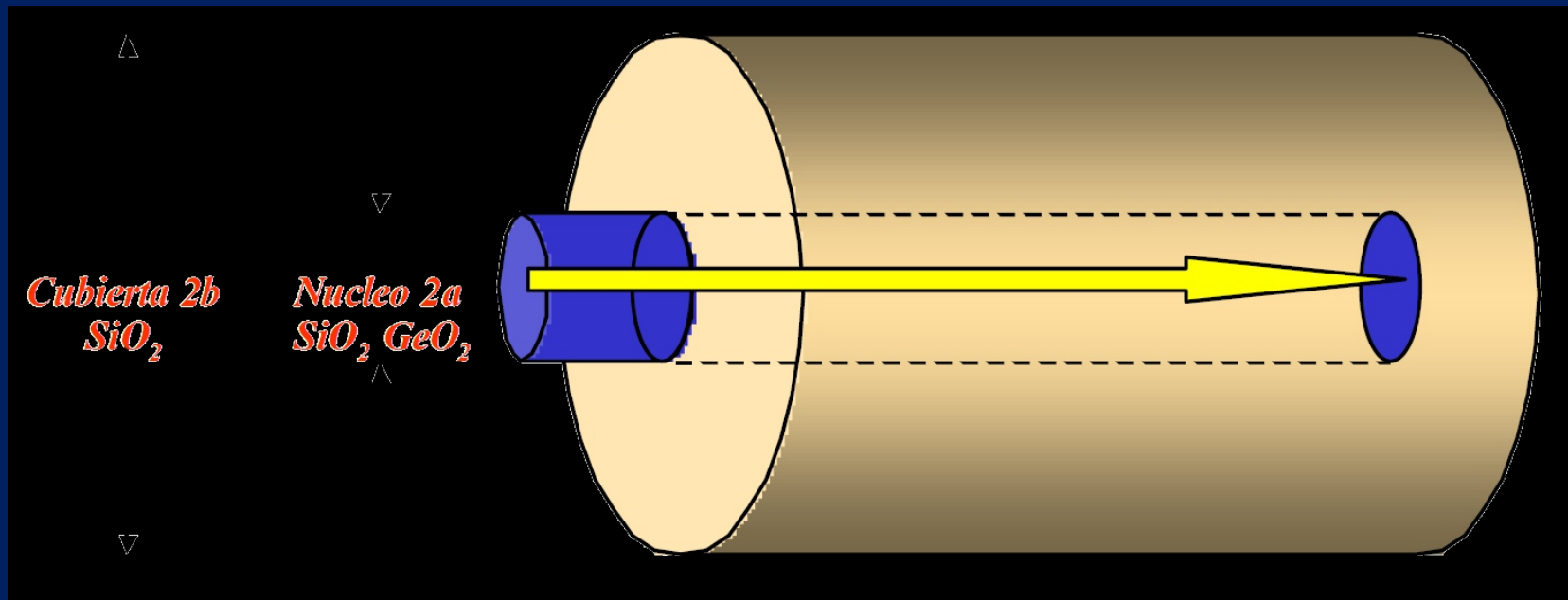
¿Como esta conformada una fibra óptica?

Está formada por dos cilindros concéntricos, el interior llamado núcleo (se construye de elevadísima pureza con el propósito de obtener una mínima atenuación) y el exterior llamado revestimiento que cubre el contorno (se construye con requisitos menos rigurosos).



Estructura de una fibra óptica.

- **Cubierta:** Dióxido de Silicio SiO_2
- **Núcleo:** Cristal(Dióxido de Silicio SiO_2 y Dióxido de Germanio GeO_2)
- **Índice de refracción del núcleo mayor que el de la cubierta** (ejemplo: 1.471 en el núcleo, 1.457 en la cubierta)

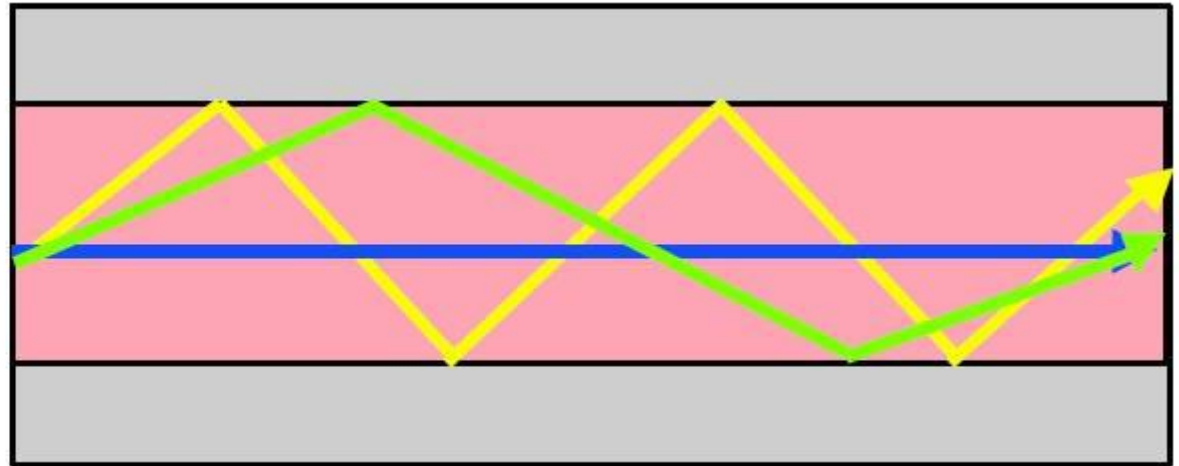
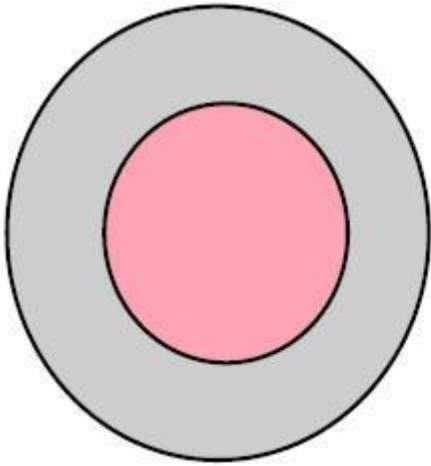


PROPIEDADES DE LA FIBRA ÓPTICA

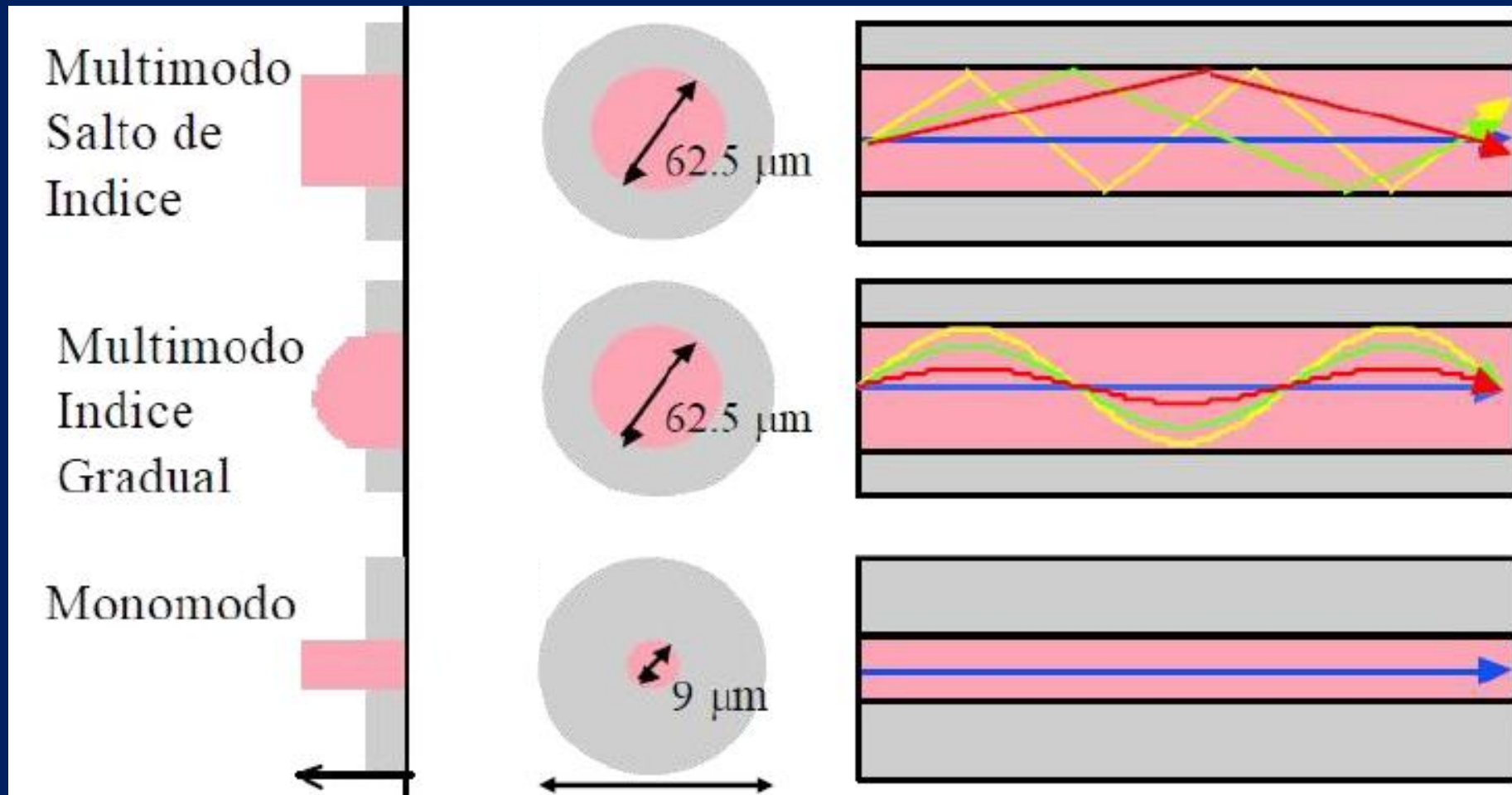
- Gran ancho de banda.
- Atenuación de la fibra independiente de la velocidad de transmisión.
- Inmune al ruido y las interferencias.
- Imposibilidad de detección.
- Dimensiones y peso menor.
- Más económica.

Guiado de rayos: MODOS

- A cada rayo guiado con un ángulo de inclinación diferente se le denomina MODO



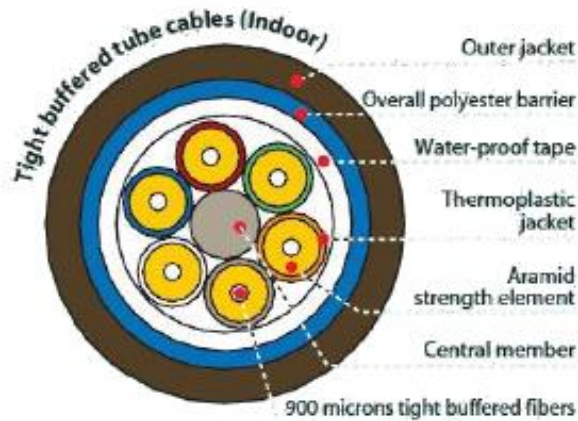
Tipos de fibras



- Cada modo recorre una distancia diferente a una velocidad prácticamente igual. Diferente retardo: **Dispersión intermodal**

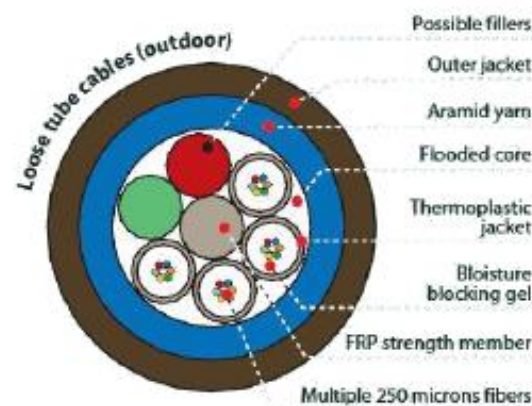
Cables

- La fibra óptica se suele instalar en cables que contienen varias fibras
- ¡¡Hasta 3000 fibras por un solo cable!!



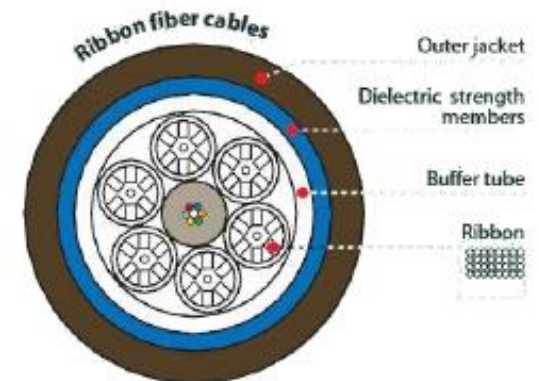
Applications: Computer rooms, telecommunications central offices, tunnel and confined areas, riser shafts.

Tight buffered tube cable can hold from 1 to 12 fibers per tube (up to 200 fibers in one cable).



Applications: Building interconnections, telecommunications and, data trunk, long haul networks, ducts between buildings.

Applications requiring moisture and weather resistant. Loose tube cable can hold from 1 to 12 fibers per tube (up to 200 fibers in one cable).



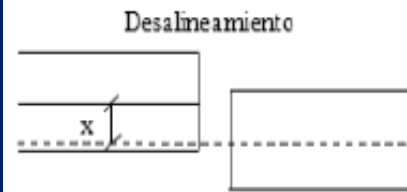
Typical applications: equipment interconnect, high speed data transfer, premise network...

Ribbon cables can hold 204 fibers in a 0.5-inch cable. This picture shows a 3000 fiber underground cable.

Empalmes y conexión de fibras ópticas

- Para la instalación de sistemas de fibra óptica es necesario utilizar técnicas y dispositivos de interconexión como empalmes y conectores.
- Los conectores son dispositivos mecánicos utilizados para recoger la mayor cantidad de luz. Realizan la conexión del emisor y receptor óptico.

MONOMODO	GRADUAL
$x = 2 \mu\text{m}$	$x = 2 \mu\text{m}$
0.74 dB	0.06 dB
$\Theta = 1^\circ$	$\Theta = 1^\circ$
0.21 dB	0.03 dB
$A_1 = 0.2 \%$	$A_1 = 1 \%$
$A_2 = 0.25 \%$	$A_2 = 0.8 \%$
0.03 dB	0.32 dB
$\Theta = 1^\circ$	$\Theta = 1^\circ$
0.4 dB	0.15 dB
$2a_1 = 10 \mu\text{m}$	$2a_1 = 50 \mu\text{m}$
$2a_2 = 8 \mu\text{m}$	$2a_2 = 48 \mu\text{m}$
0.02 dB	0.15 dB



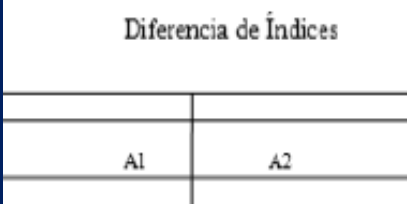
$x = 2 \mu\text{m}$

0.74 dB



$\Theta = 1^\circ$

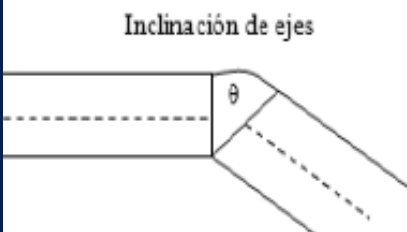
0.21 dB



$A_1 = 0.2 \%$

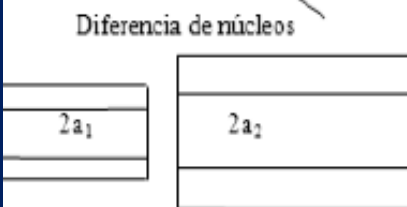
$A_2 = 0.25 \%$

0.03 dB



$\Theta = 1^\circ$

0.4 dB



$2a_1 = 10 \mu\text{m}$

$2a_2 = 8 \mu\text{m}$

0.02 dB

$x = 2 \mu\text{m}$

0.06 dB

$\Theta = 1^\circ$

0.03 dB

$A_1 = 1 \%$

$A_2 = 0.8 \%$

0.32 dB

$\Theta = 1^\circ$

0.15 dB

$2a_1 = 50 \mu\text{m}$

$2a_2 = 48 \mu\text{m}$

0.15 dB

En las fibras monomodo los problemas de empalme se encuentran principalmente en su pequeño diámetro del núcleo $D_n = 10 \mu\text{m}$, esto exige contar con equipos y mecanismos de alineamiento de las fibras con una mayor precisión.

Problemas de Atenuación en la Fibra Óptica

1. Pérdida

Las pérdidas son definidas como aquellas circunstancias de tipo físico que hacen que la señal luminosa de entrada se vaya degradando a medida de que vaya recorriendo la fibra.

Matemáticamente se define como la relación entre las potencias luminosas tanto de salida como de entrada.

La fibra en si por estar construida con materiales no ideales, también posee su coeficiente de atenuación el cual está expresado en dB/Km.

Perdidas

Las pérdidas de acoplamiento se presentan en las uniones de:

Emisor óptico a fibra, conexiones de fibra a fibra y conexiones de fibra a foto-detector.

Las pérdidas de unión son causadas frecuentemente por una mala alineación lateral, mala alineación de separación, mala alineación angular, acabados de superficie imperfectos y diferencias ya sea entre núcleos o diferencia de índices.

PROBLEMAS DE ATENUACIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA

A medida de que la longitud de onda aumenta, la atenuación tiende a disminuir, sin embargo existen tres longitudes de ondas especiales en las cuales la atenuación es especialmente baja, a estas longitudes de onda especiales se les da el nombre de VENTANAS, y son utilizadas como portadoras en la gran mayoría de sistemas de comunicaciones por fibra óptica, estas ventanas están en las longitudes de onda de 850, 1300 y 1550 nm.

Las ventanas se clasifican de acuerdo al tipo de fibra óptica a trabajar, así:

- Para fibra óptica MULTIMODO: 850 y 1300 nm.
- Para fibra óptica MONOMODO: 1310 y 1550 nm.

CÁLCULO DE ATENUACIÓN DE UN ENLACE DE FIBRA ÓPTICA

Datos del Enlace

- Numero de Empalmes
- Numero de Conectores
- Distancia del Enlace

ATENUACION POR:	VENTANA 1550 nm	VENTANA 1310 nm
EMPALME	0.10 dB	0.25 dB
CONECTOR	0.50 dB	0.75 dB
CABLE x Km	0.25 dB	0.50 dB

Calculo

$$At = (Nc * Atc) + (Ne * Ate) + (Lc * Atl) + (Lc * 0.01)$$

- Nc: Numero de Conectores
- Ne: Numero de Empalmes
- Lc: Longitud del Cable
- Atc: Atenuación por conector (dB)
- Ate: Atenuación por empalme (dB)
- Atl: Atenuación por longitud (Km)

Datos del Enlace

- Distancia: 26.5 Km
- Empalmes: 9 und
- Conectores: 2 und



4:06 / 9:09



Calculo del Enlace

- Distancia: 26.5 Km
- Empalmes: 9 und
- Conectores: 2 und

Ventana: 1550 nm

$$At = (Nc * Atc) + (Ne * Ate) + (Lc * Atl) + (Lc * 0.01)$$

$$At = (2 * 0.50dB) + (9 * 0.10dB) + (26.5 * 0.25dB) \\ + (26.5 * 0.01dB)$$

$$At = (1dB) + (0.9dB) + (6.62dB) + (0.26dB)$$

$$**At = 8.78dB**$$

Calculo del Enlace

- Distancia: 26.5 Km
- Empalmes: 9 und
- Conectores: 2 und

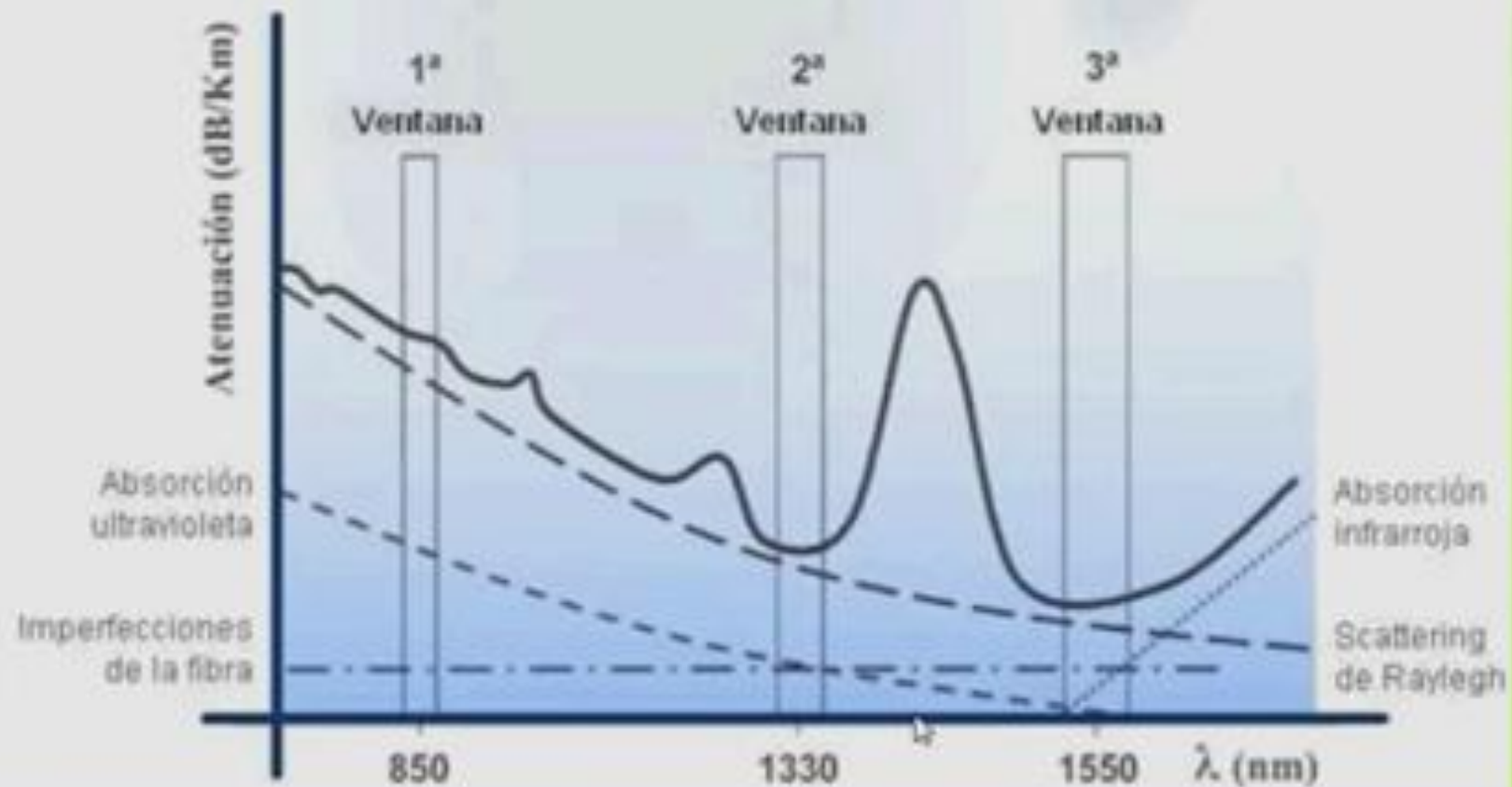
Ventana: 1310nm

$$At = (Nc * Atc) + (Ne * Ate) + (Lc * Atl) + (Lc * 0.01)$$

$$At = (2 * 0.75dB) + (9 * 0.25dB) + (26.5 * 0.50dB) \\ + (26.5 * 0.01dB)$$

$$At = (1.50dB) + (2.25dB) + (13.25dB) + (0.26dB)$$

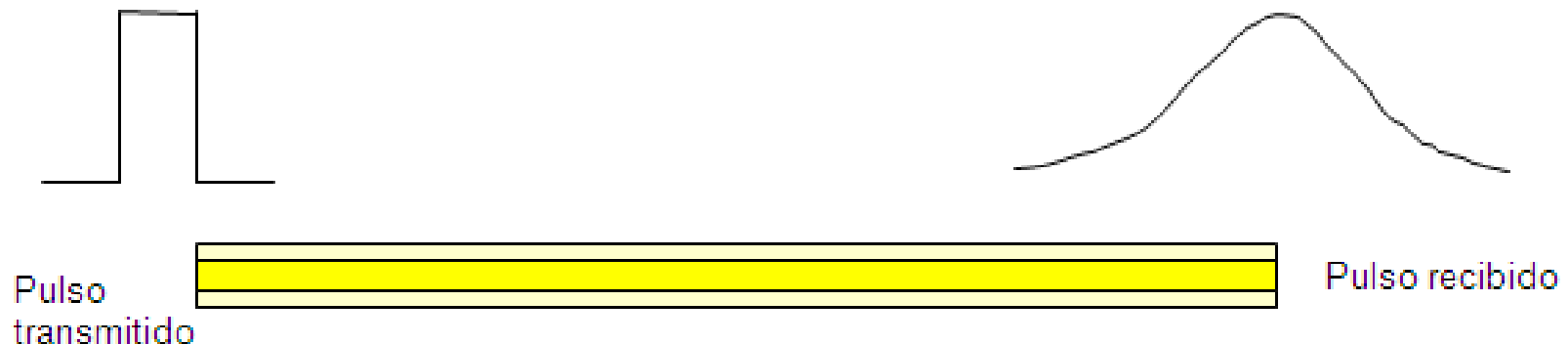
$$At = 17.26dB$$



PROBLEMAS DE ATENUACIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA

2. Dispersión

Se entiende como dispersión el efecto de deformación del pulso de salida recibido en un extremo de la fibra con respecto al pulso de entrada transmitido en el otro extremo.



La dispersión es causada por la naturaleza misma de la fibra, tal como su constitución (Monomodo o Multimodo), la calidad de la fibra y la cantidad de señal perdida por unidad de longitud.

PROBLEMAS DE ATENUACIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA

CLASES DE DISPERSIÓN

- Dispersión modal, generada por la misma naturaleza de la fibra multimodo.
- Dispersión espectral, intramodal o del material, relacionada con el hecho de que a cada longitud de onda, le corresponde una velocidad de propagación, dependiendo del índice de refracción correspondiente.

LA SUMA CUADRÁTICA DE LAS DOS ANTERIORES NOS DA UNA DISPERSIÓN DENOMINADA **DISPERSIÓN CROMÁTICA**, DENOMINADA ASI POR LAS DIVERSAS LONGITUDES DE ONDA ASOCIADAS A LA LONGITUD DE ONDA CENTRAL.

- Dispersión por efecto guía ondas: Dispersión debida a los parámetros geométricos y ópticos de la fibra.

Empalme mecánico

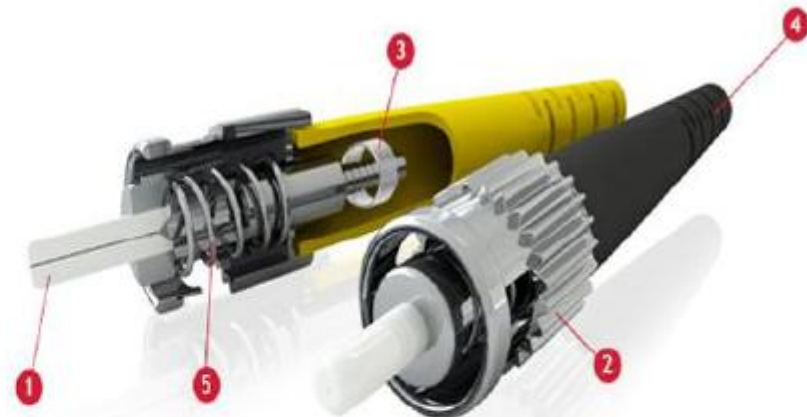
- Este tipo de empalme se usa en el lugar de la instalación donde el desmontaje es frecuente. Consta de un elemento de auto alineamiento y sujeción de las fibras y de un adhesivo adaptador de índice que fija los extremos de las fibras permanentemente.
- Después de realizado el empalme de la fibra óptica se debe proteger con:
 - manguitos metálicos
 - manguitos termo-retráctiles
 - manguitos plásticos.
- En todos los casos para el sellado del manguito se utiliza adhesivo o resina de secado rápido.

CONECTORES DE FIBRA ÓPTICA

Los conectores ópticos constituyen, quizás, uno de los elementos más importantes dentro de la gama de dispositivos pasivos necesarios para establecer un enlace óptico, siendo su misión, junto con el adaptador, la de permitir el alineamiento y unión temporal y repetitivo, de dos o más fibras ópticas entre sí y en las mejores condiciones ópticas posibles.

Tipos de Conectores

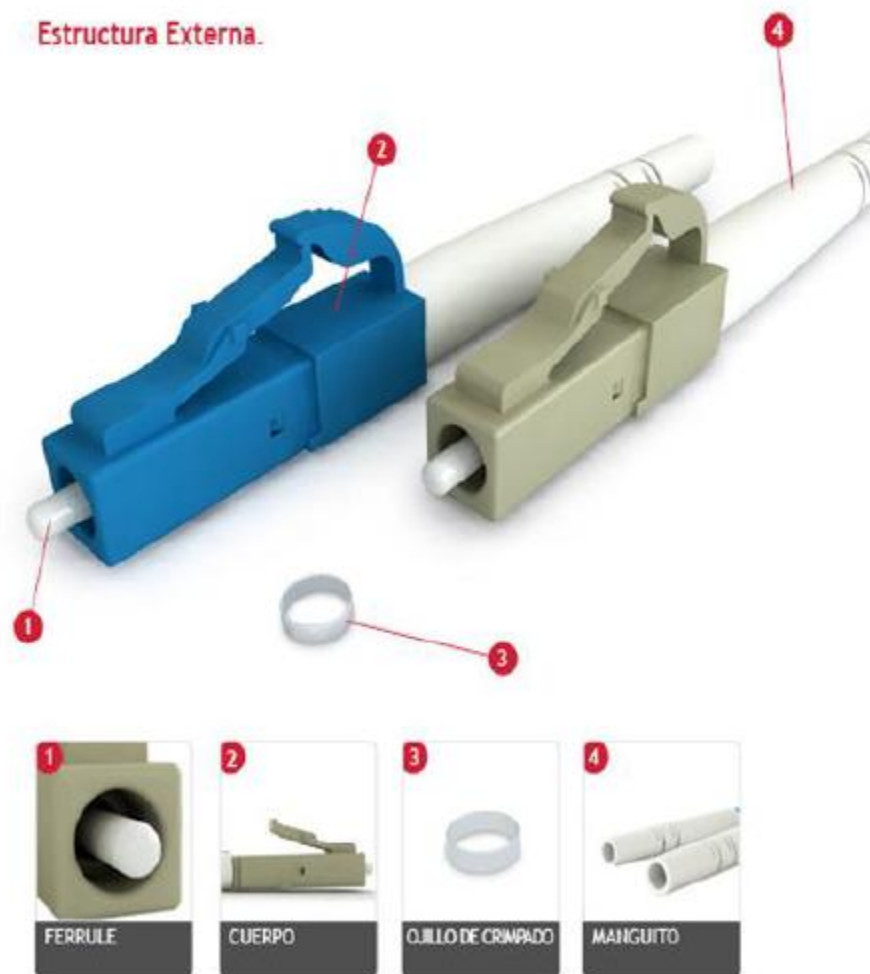
Los conectores ST fueron creados en los 80's por AT&T y deriva del ingles "Straight Tip", tienen un diseño tipo bayoneta que permite alinear el conector de manera sencilla al adaptador. Su mecanismo de acoplación tipo "Empuja y Gira" asegura que el conector no tenga deslizamientos y desconexiones. El ST ha sido el conector más popular en las redes de área local (LAN) por su buena relación calidad-precio.



Tipos de Conectores

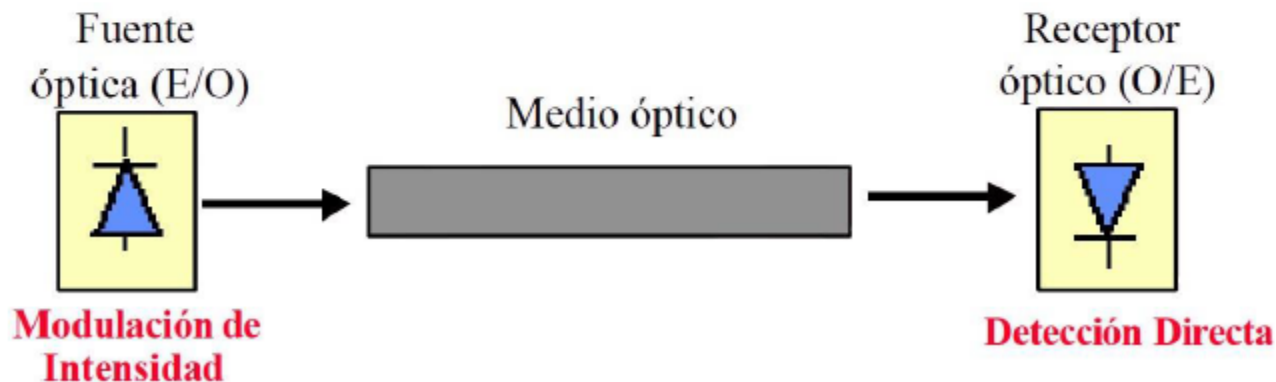
Desarrollados en 1997 por Lucent Technologies, los conectores LC tienen un aspecto exterior similar a un pequeño SC, con el tamaño de un RJ 45 y se presentan en formato Simplex o Dúplex, diferenciándose externamente los de tipo SM de los de tipo MM por un código de colores. El LC es un conector de alta densidad SFF diseñado para su uso en todo tipo de entornos: LAN, operadoras de telefonías, CATV.

Estructura Externa.



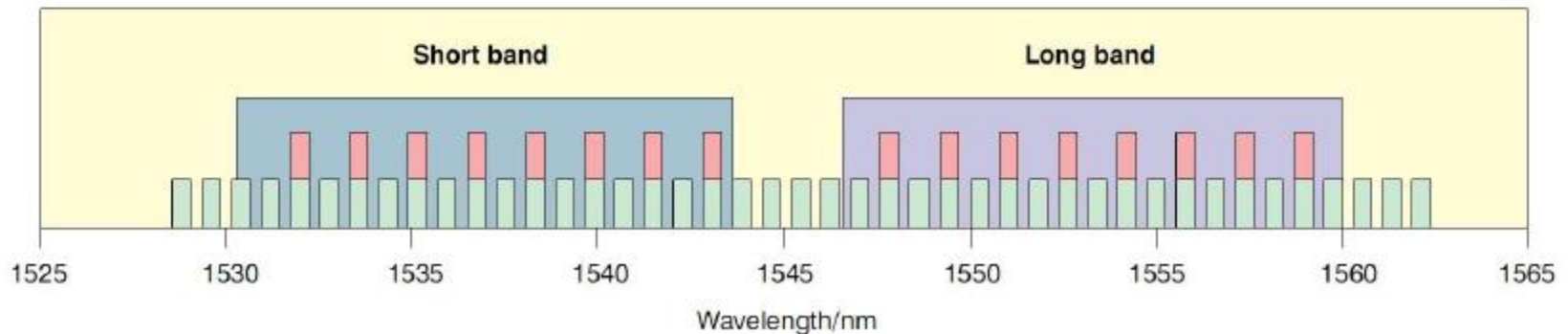
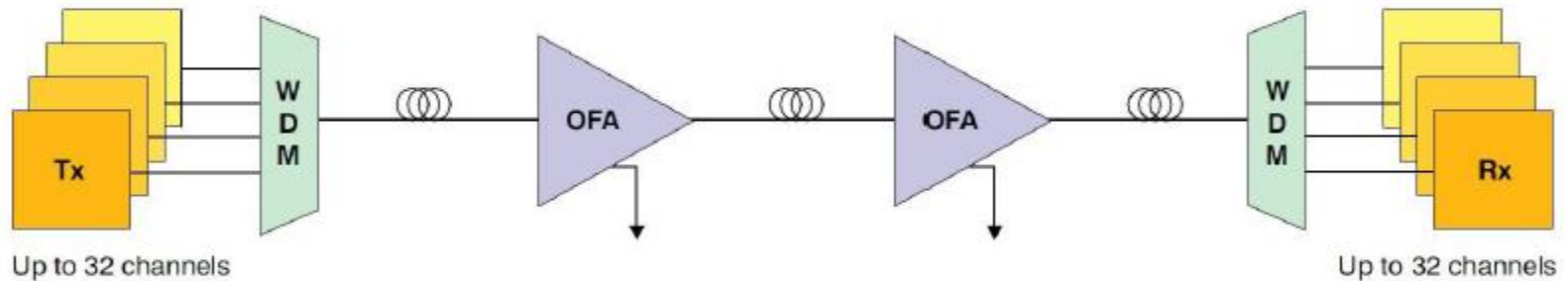
Transmisión y recepción

- **Transmisión:** Diodo láser (en segunda y tercera ventana de InGaAsP) modula la señal eléctrica.
- **Recepción:** Realizan la conversión del dominio óptico al electrónico. Ejemplo: Diodo PIN, realiza la fotodetección.
- Ejemplo:



Sistemas de comunicaciones ópticas

- Multiplexación por División en Longitud de Onda (WDM)



■ Canales por longitud de onda



Red de Difracción de Bragg

Al tratarse de una estructura resonante, la red de Bragg inscrita en la fibra actúa como un espejo selectivo en función de la longitud de onda; en otras palabras, es un filtro de banda estrecha. Eso significa que si se inyecta en la fibra óptica luz procedente de una fuente de banda ancha, solo se refleja luz con una anchura espectral muy estrecha, centrada en torno a la longitud de onda de la red de Bragg.

El resto de la luz se transmite a través de la fibra óptica sin ninguna pérdida, hasta la siguiente red de Bragg .

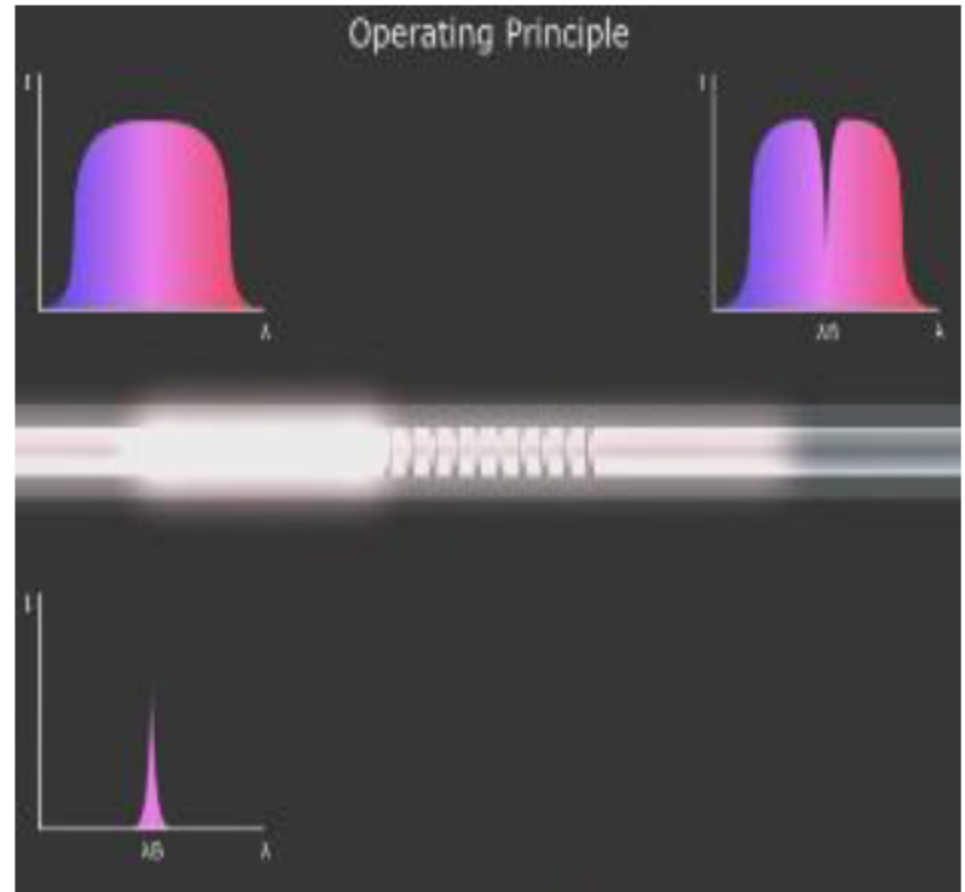
La longitud de onda de la red de Bragg viene dada, fundamentalmente, por el periodo de la microestructura y por el índice de refracción del núcleo.

Red de difracción de Bragg

- Las redes de difracción de Bragg o Bragg gratings, se han convertido en un componente fundamental para la mayor parte de las aplicaciones relacionadas con las comunicaciones ópticas, tales como: compensación de la dispersión cromática de una fibra, enrutamiento, filtrado, control y amplificación de señales ópticas dentro de la nueva generación de redes de telecomunicación de alta densidad basadas en WDM (**multiplexación por división de longitud de onda**)

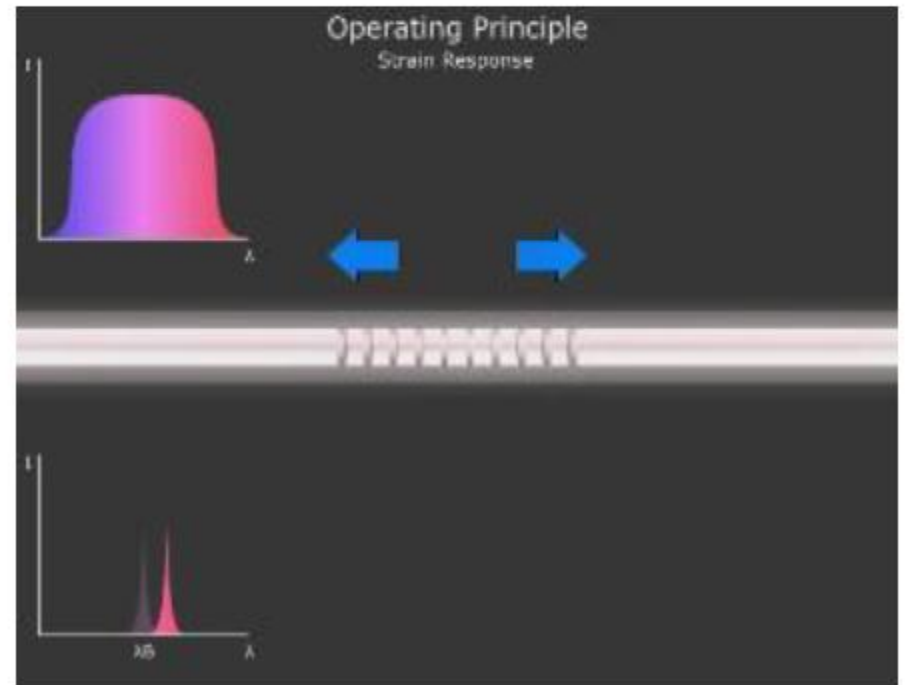
Red de difracción de Bragg

Arriba a la izquierda: espectro de la luz inyectada; arriba a la derecha: espectro de luz transmitida; centro: red de Bragg en la fibra (se simboliza la transmisión y la reflexión de luz); abajo a la izquierda: espectro de la luz reflejada



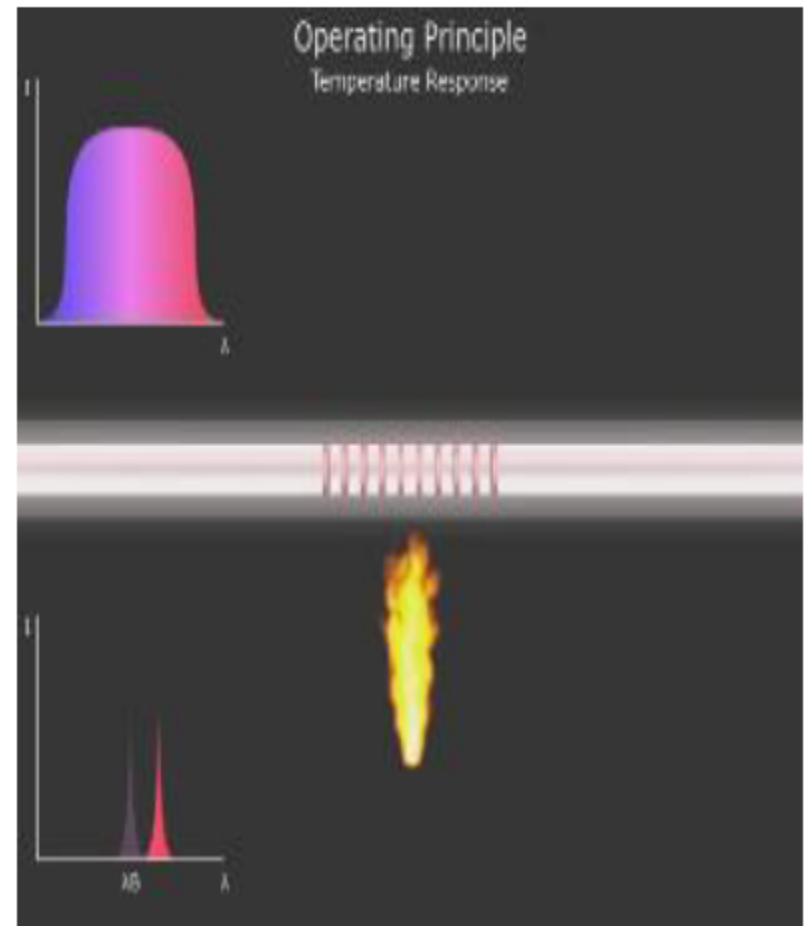
Red de difracción de Bragg

Si la fibra se estira o se comprime, la red puede medir la deformación.



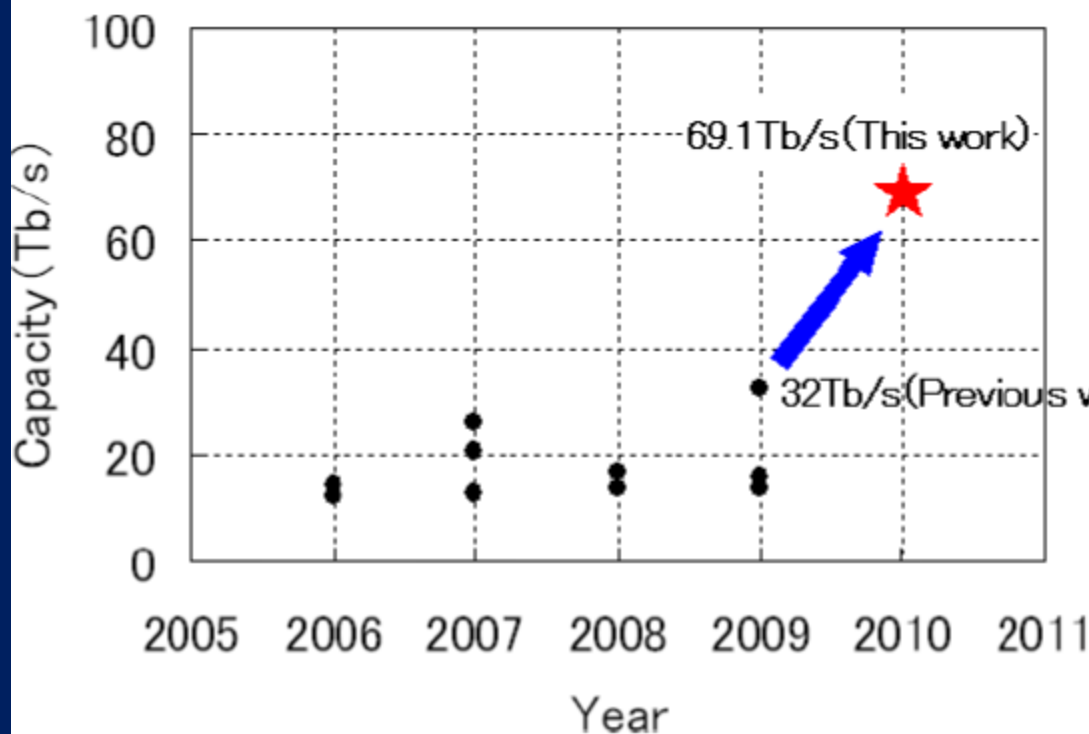
Red de difracción de Bragg

Una red de Bragg en fibra tiene, igualmente, una sensibilidad intrínseca a la temperatura. En este caso, la principal contribución al cambio en la longitud de onda de Bragg es la variación en el índice de refracción del silicio, inducido por el efecto termo-óptico



Velocidades de la fibra

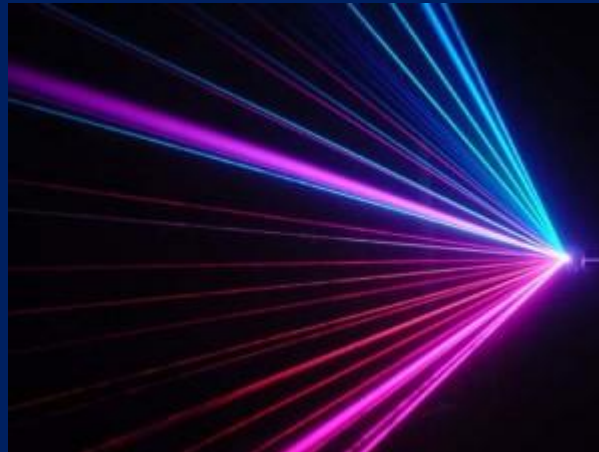
- En sistemas modernos, 14 Tb/s sobre 160 Km de fibra
- Récord el 25/3/2010: 69.1 Tb/s sobre 240 Km de fibra



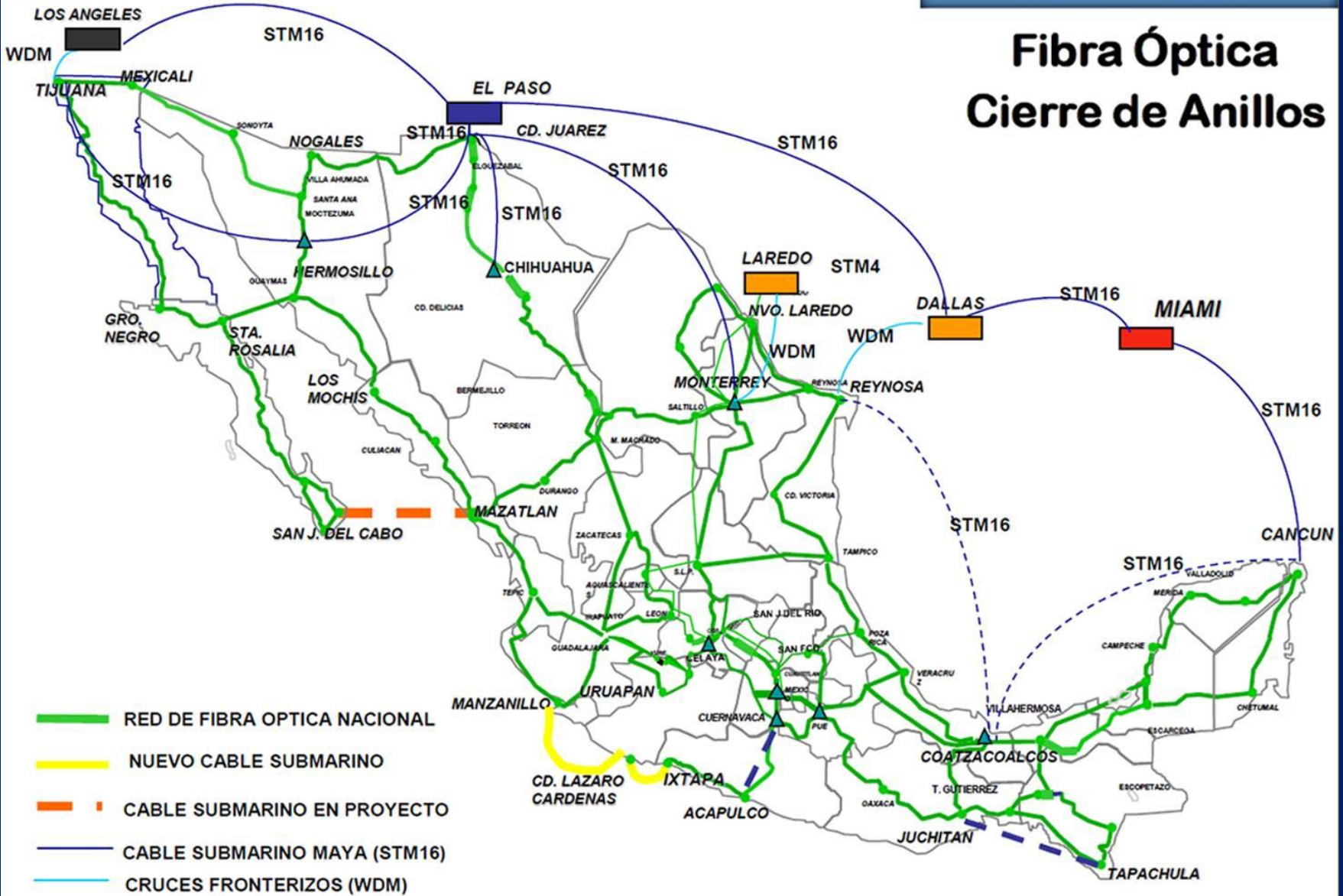
- La colección impresa de la Biblioteca del Congreso de EE UU (80 Tb) se descargaría en 1.15 s
- En un segundo nos podríamos descargar 345 Blu-Ray

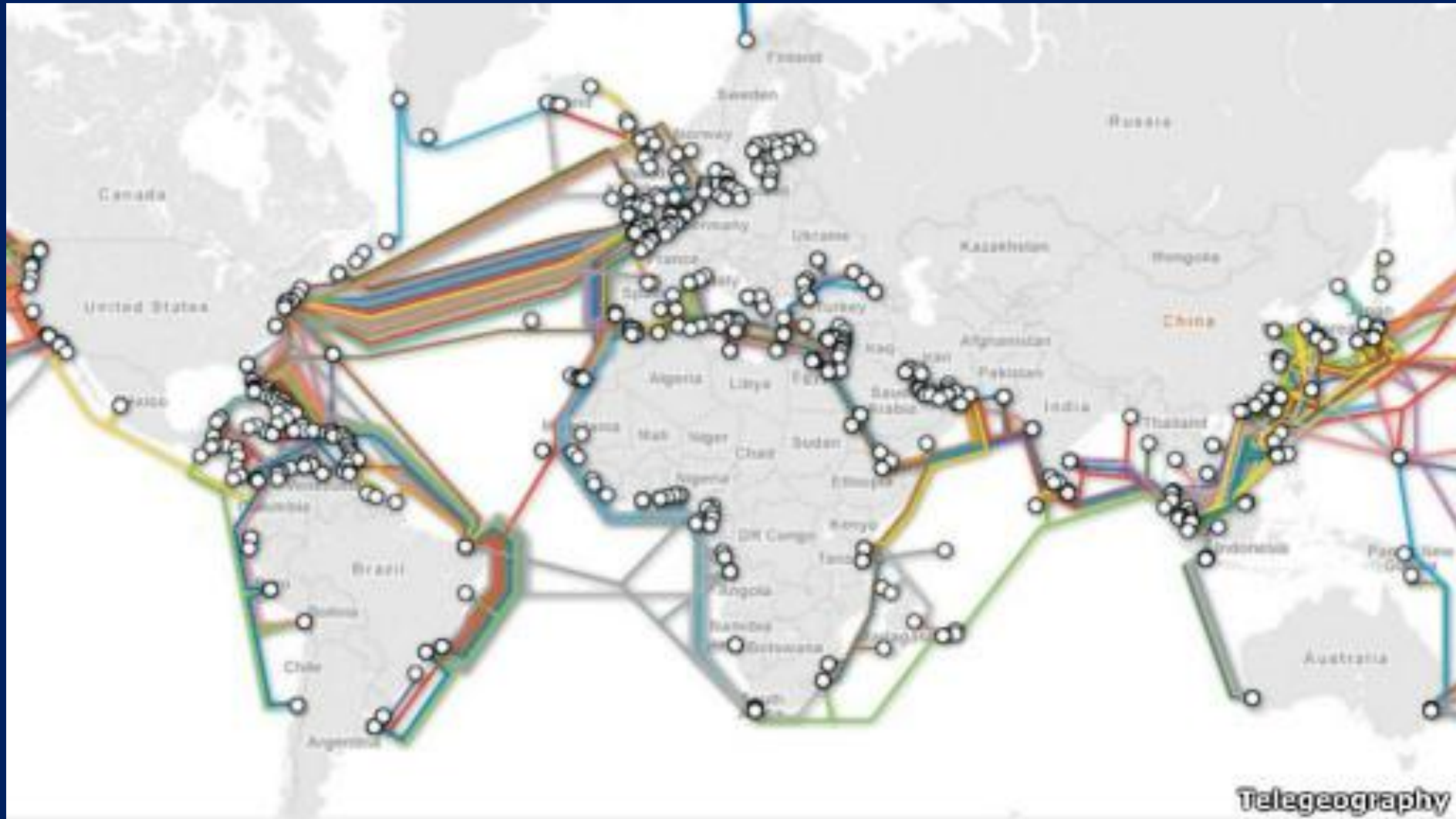
Velocidades de la fibra

Investigadores lograron alcanzar una velocidad de transmisión de datos de 26 terabits por segundo a través de fibra óptica, usando un sólo láser. Aunque se han alcanzado velocidades mayores de transmisión antes, esos métodos usan varios láser, y no sólo uno. Actualmente lo que se hace es usar muchos láser con diferentes colores para enviar información mediante el mismo cable. Al otro lado, una serie de sensores detectan los colores e interpretan la información. Usando este método se llegó a experimentos que permiten una velocidad de 100 terabits por segundo.



Fibra Óptica Cierre de Anillos





Telegeography



