

FUNDAMENTOS DE LAS FIBRAS ÓPTICAS

Objetivos Generales

- Describir el manejo de la luz como medio de transmisión de información
- Explicar las teorías modernas de la luz, su naturaleza, su relación con el espectro electromagnético y la forma de propagación a través de un vidrio
- Conocer los distintos tipos de fibras y sus aplicaciones
- Diferenciar los tipos de cables de fibra óptica
- Parámetros de diseño
- Conocer las distintas alternativas de conexión entre fibras y equipos
- Conocer el funcionamiento del instrumental de medición y saber interpretar los resultados

OBJETIVOS DEL MÓDULO:

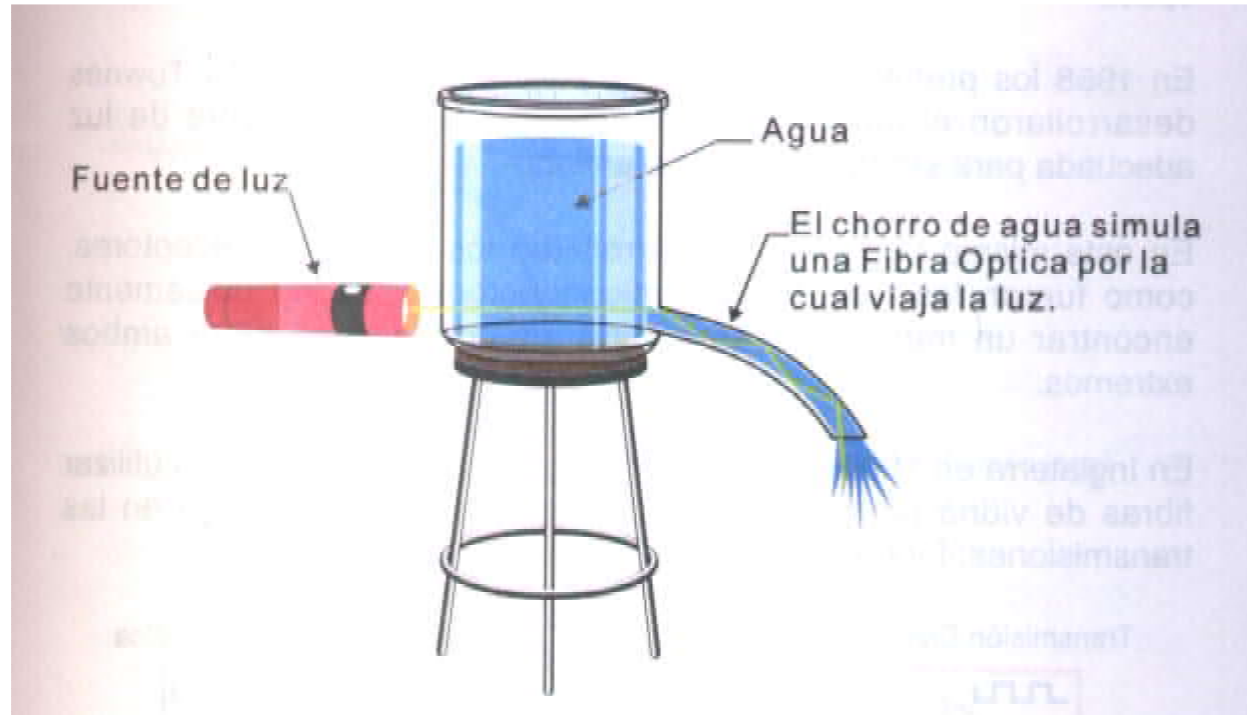
- Un poco de historia
- Principios físicos de las Fibras ópticas
- Estructura básica de la Fibra óptica
- Estructura básica del Cable óptico
- Fabricación de la Fibra óptica
- Ventajas y Desventajas de la Fibra óptica
- Espectro Electromagnético
- Longitudes de Onda
- Teorías modernas de la luz, su naturaleza, su relación con el espectro electromagnético y la forma de propagación a través de un vidrio
- Atenuación espectral
- Ancho de banda / velocidad de conexión

UN POCO DE HISTORIA

RESEÑA HISTÓRICA

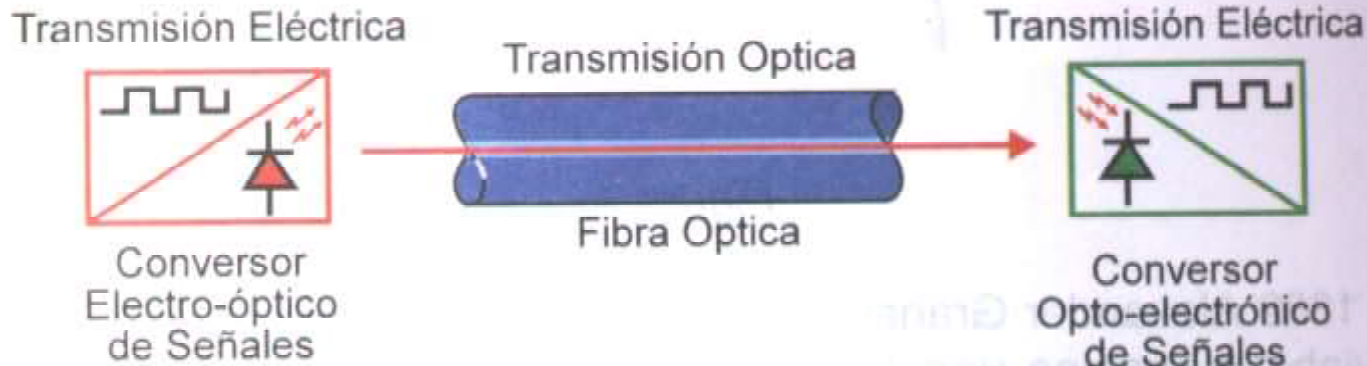
- En 1870 John Tyndall (Inglés), considerado el precursor de la tecnología de guía de luz, demostró que los rayos de luz podían entrar al agua y transmitirse a través de la misma, también que la luz podía ser curvada al propagarse por el chorro de agua que salía del estanque.

UN POCO DE HISTORIA



En esencia un sistema óptico de comunicaciones es un sistema electrónico de comunicaciones que usa la luz como portador de información. Sin embargo es difícil e impracticable propagar ondas luminosas por la atmósfera terrestre. En consecuencia los sistemas de comunicaciones con fibra óptica usan fibras de vidrio o de plástico para “contener” las ondas luminosas y guiarlas en una forma similar a como las ondas electromagnéticas son guiadas en una guía de ondas.

UN POCO DE HISTORIA



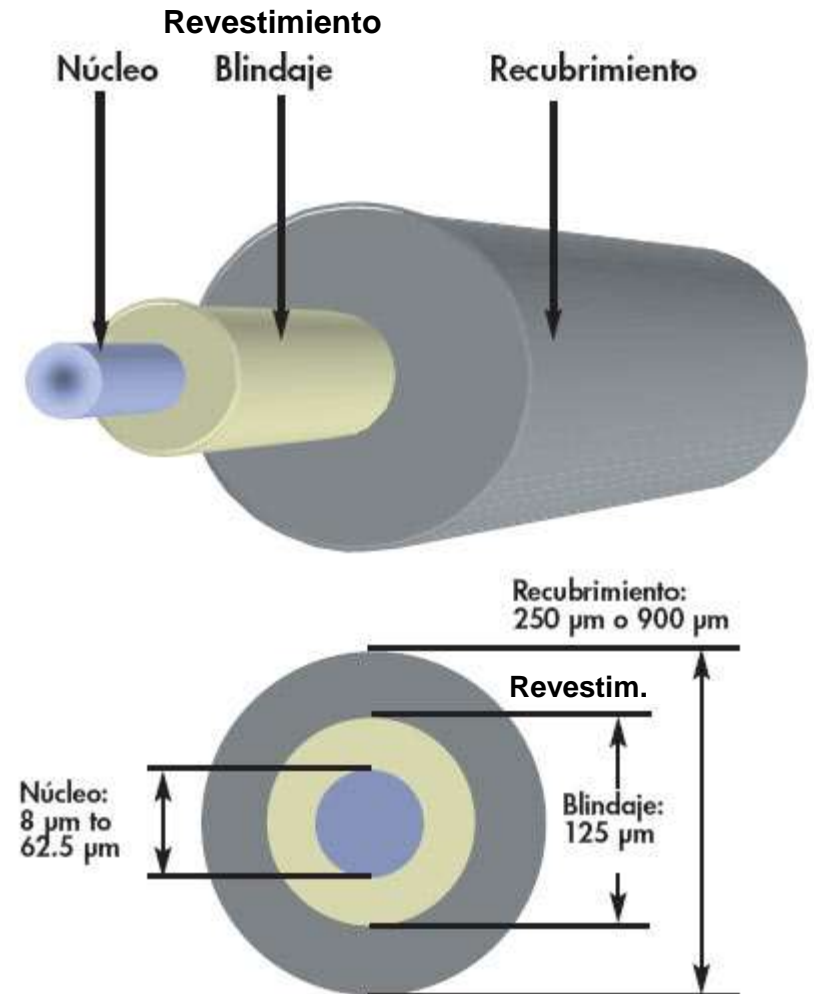
- Las fibras existentes en 1966 tenían unas pérdidas altísimas (100 dB/Km).
- A partir de 1966, compañías Americanas y japonesas empezaron a desarrollar fibras con pérdidas entre 1 y 2 dB/Km, hoy en día se consiguen fibras con atenuaciones de 0.2 dB/Km.

PRINCIPIOS FÍSICOS DE LAS FIBRAS ÓPTICAS

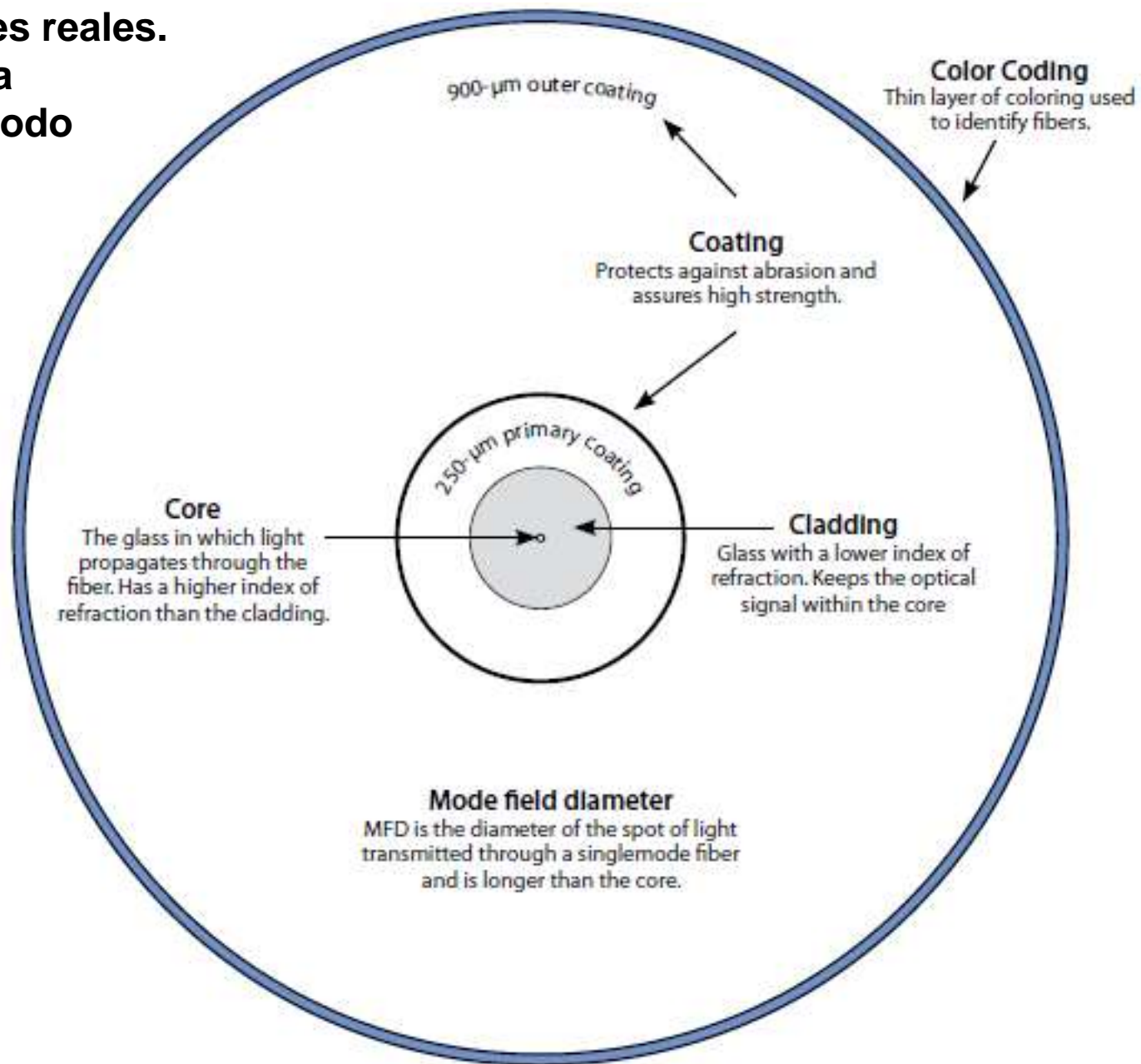
- ¿Por qué luz?
- ¿Por qué transmitir datos usando luz en lugar de, por ejemplo, usar pulsos eléctricos? Simple: la luz es increíblemente rápida.
- La velocidad de la luz en el vacío es de unos 300,000 kilómetros por segundo, y solo un tercio más lenta, alrededor de 200,000 kilómetros por segundo, cuando viaja a través de un cable de fibra óptica.

FUNDAMENTOS (Estructura básica de la FO)

Una fibra óptica contiene un núcleo (core) de vidrio a través del cual viaja la luz. Alrededor de este núcleo hay otra capa de vidrio llamada "revestimiento" (cladding), que asegura que la luz no escape del núcleo. Una técnica óptica conocida como 'Reflexión interna total' mantiene la luz dentro del núcleo. Un recubrimiento (coating) de polímero protector protege el vidrio del revestimiento de la humedad, la suciedad y el daño. El diámetro total de una fibra óptica es de 250 μm o 1/4 de milímetro.



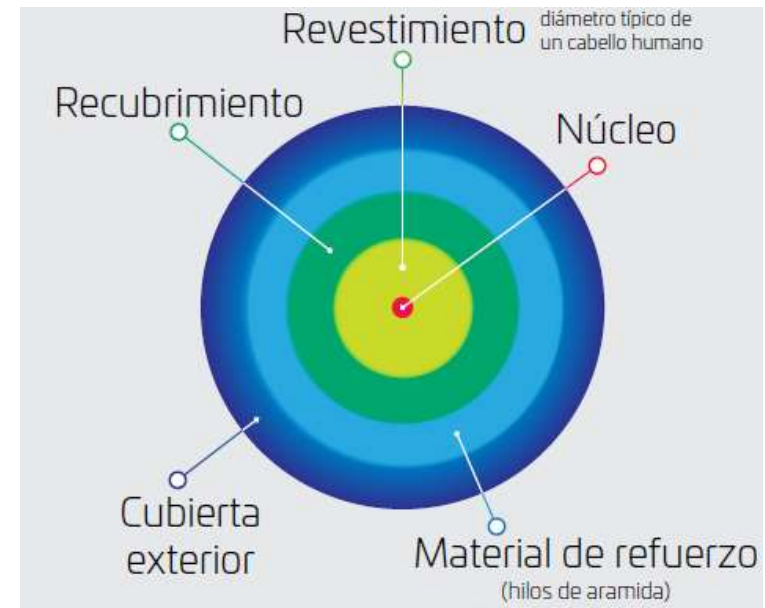
**Proporciones reales.
Pelo de fibra
F.O. Monomodo**



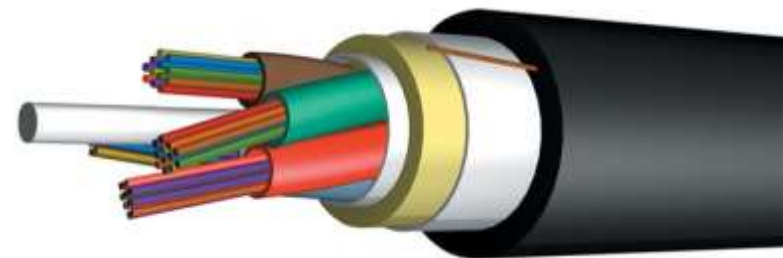
FUNDAMENTOS (Estructura básica – cables FO)

Por sí sola, la delgada fibra óptica no es lo suficientemente robusta como para ser manipulada y expuesta al mundo exterior. En los cables, la fibra óptica está protegida de la tensión mecánica por un material de refuerzo muy resistente (hilos de aramida). La cubierta exterior proporciona protección ambiental contra elementos tales como el polvo y el agua.

En caso de cables más expuestos mecánicamente (generalmente multifibras) el centro posee un núcleo de refuerzo axial conformado por una varilla flexible de fibra de vidrio, alrededor del cual se conforman los tubos que contienen las fibras.

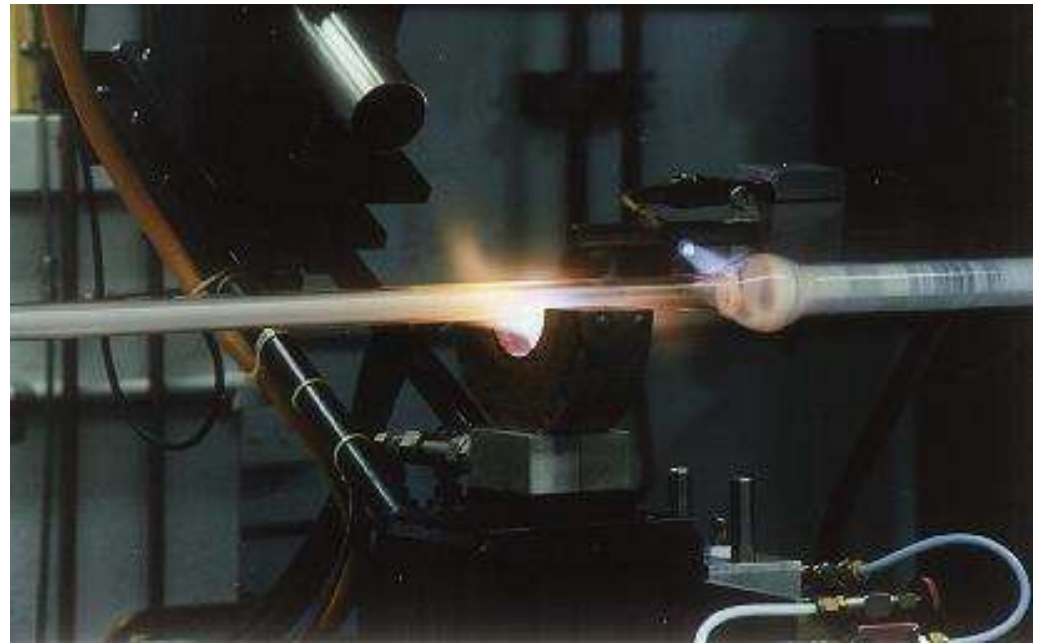
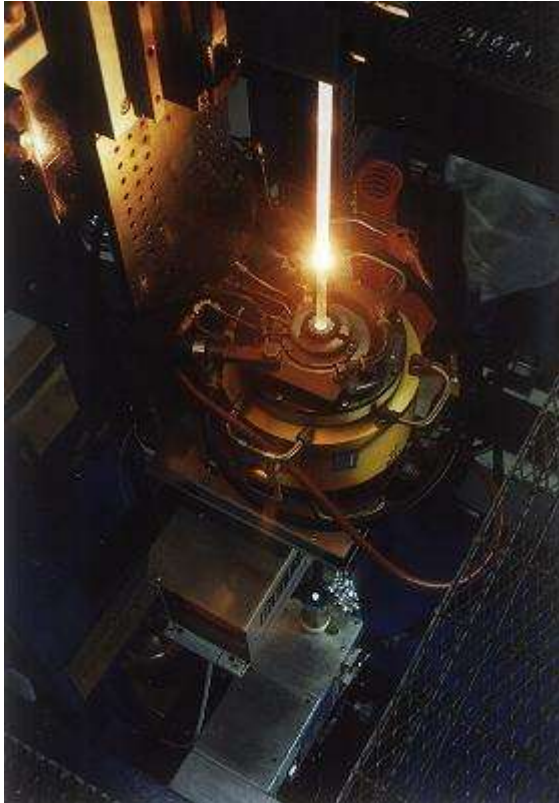


Cable mono fibra

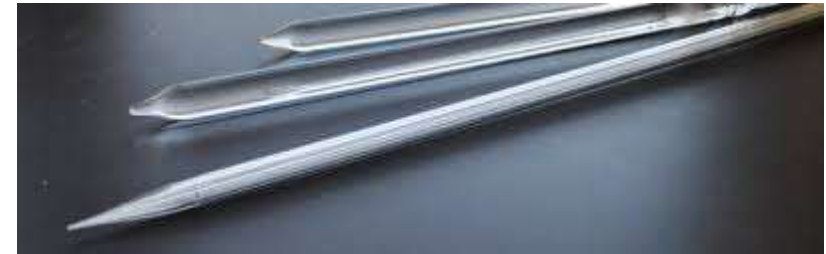


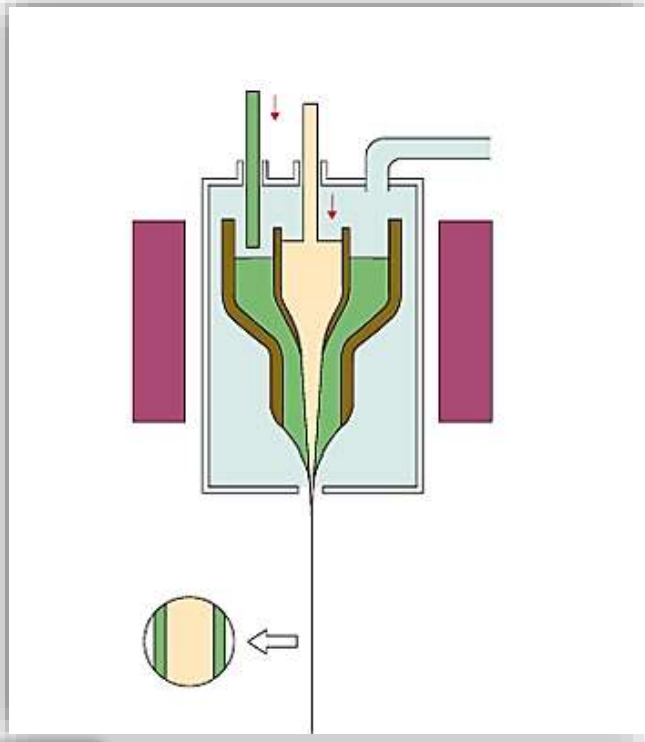
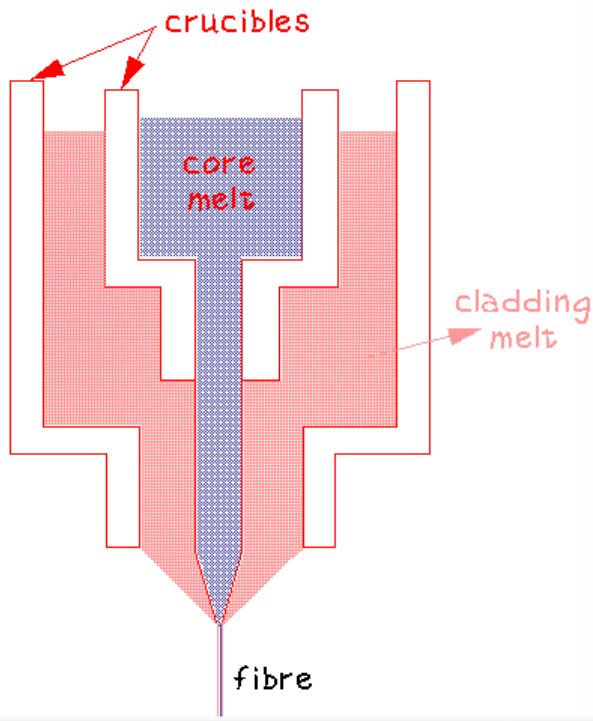
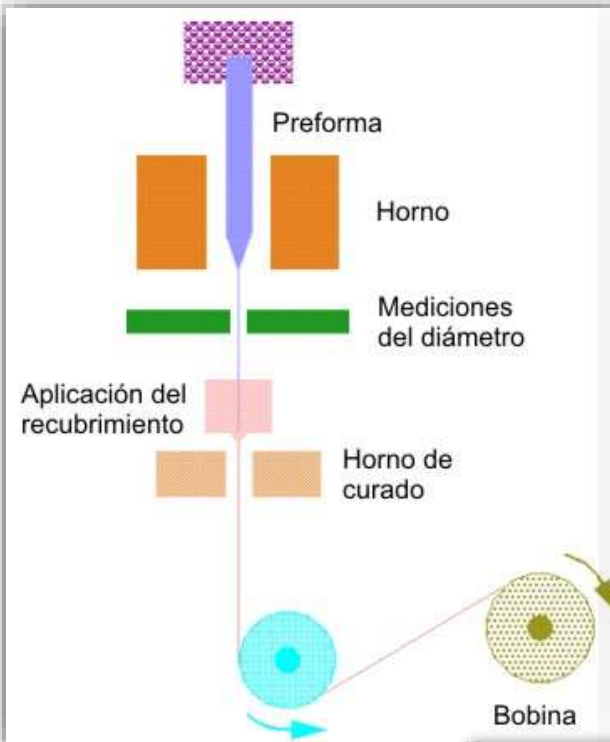
Cable multi fibra

Fabricación de la fibra óptica – obtención de la “Preforma”



Preforma – Estiramiento





VENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA

ANCHO DE
BANDA



INMUNIDAD



AHORRO DE
ESPACIO



VIDA ÚTIL



INFRAESTRUCTURA
REDUCIDA



BAJO OPEX



MAYORES
DISTANCIAS



SEGURIDAD



VENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA

- Mayor capacidad de transmisión de datos: Esto debido a su gran ancho de banda (EJ. 30000 comunicaciones de voz – 2,5 Gb/s) x un par de fibras.
- Menor latencia (menor tiempo de demora para recibir la información). Es de vital importancia para la calidad de los servicios de información interactiva (Video Juegos / IA / Video conferencias)
- Inmunidad a la diafonía: Los cables ópticos son inmunes a la diafonía entre cables vecinos, debido a que no poseen campos magnéticos que generen inducción inducción entre cables físicamente cercanos entre sí.

VENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA (cont.)

- Las fibras de vidrio o de plástico son no conductores de electricidad (dieléctricas) y, en consecuencia inmunes al ruido e interferencias electromagnética, debida a rayos, motores eléctricos, luces fluorescentes y otras fuentes de ruido eléctrico.
- Esta inmunidad hace que el cableado de fibra sea intrínsecamente más seguro, ya que las señales transmitidas no pueden ser simplemente "olfateadas" o interferidas.
- Baja atenuación (0,25 dB/km). Esto permite que la fibra funcione bien en largas distancias (65 km o mas) sin degradación de la señal. Y no hay necesidad de aumentar la señal a lo largo de la trayectoria con elementos activos.

VENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA (cont.)

- Tamaño reducido y bajo peso que facilita su tendido aéreo o canalizado (cables de alta capacidad de 512 fo tienen un diámetro de 21 mm y peso – 200 kg/km- . Los cables se acondicionan en bobinas de hasta 4 km.
- Bajos costos de operación y mantenimiento. Fácil Transporte e instalación.
- No se corroe, no se ve afectada fácilmente por el agua. No genera calor.
- Materia prima abundante para su elaboración. (sílice)

DESVENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA

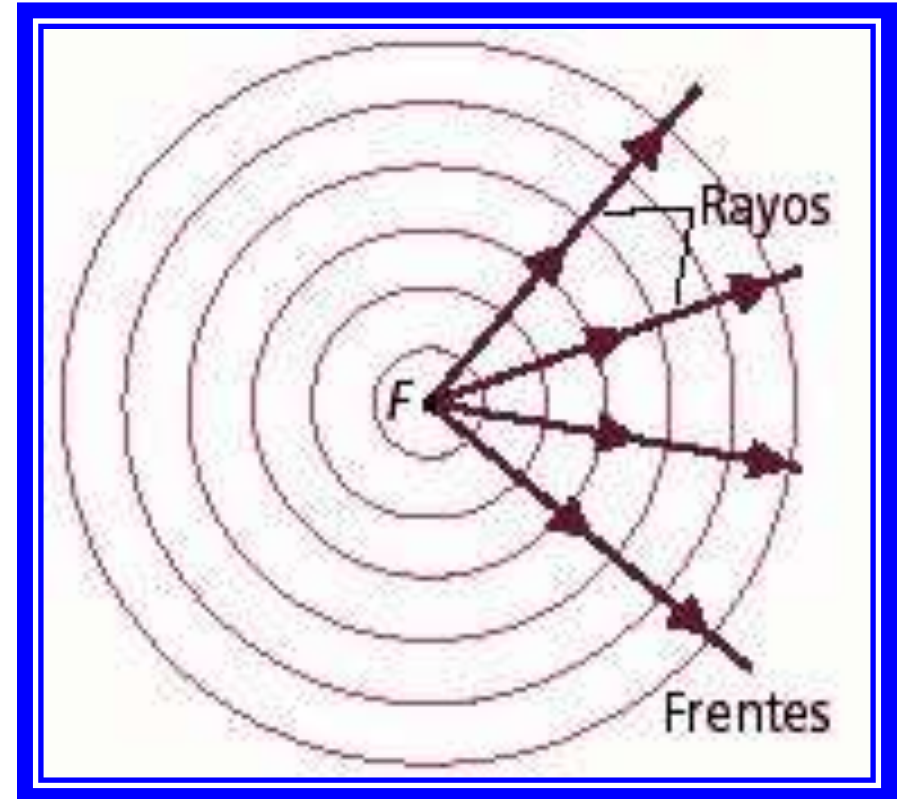
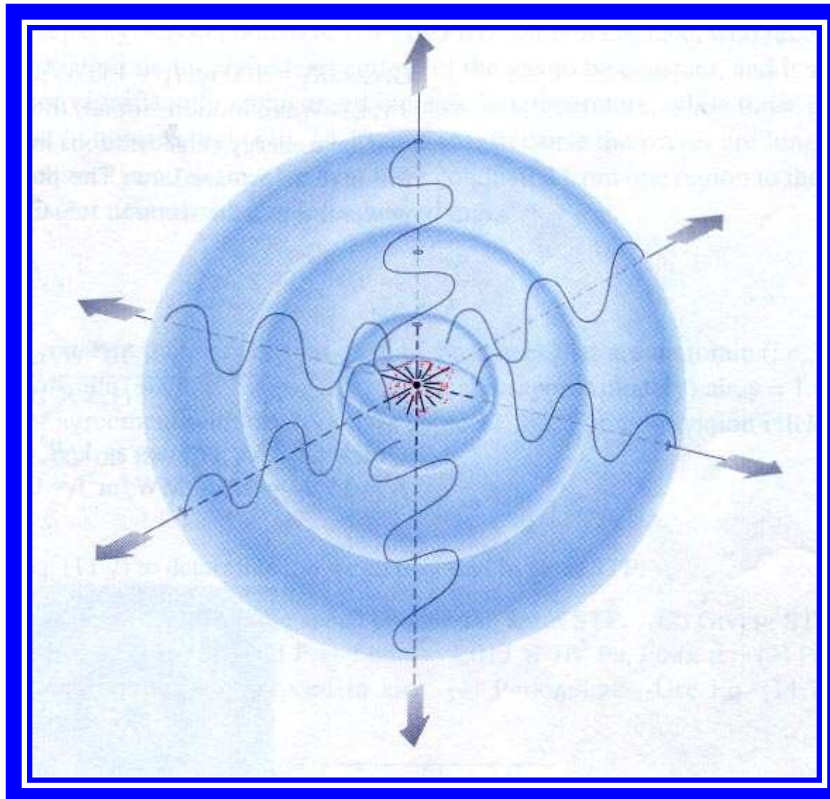
- **Costos de interconexión:** Los sistemas de fibra óptica son virtualmente inútiles por si mismos. Para ser prácticos se deben de conectar a instalaciones electrónicas normales, lo cuál requiere con frecuencia interconexiones costosas.
- **Potencia eléctrica remota:** a veces es necesario llevar energía eléctrica, a un equipo remoto de interconexión o de regeneración. Esto no se puede hacer con el cable óptico, por lo que se deben de agregar más cables metálicos en el cableado.
- **Herramientas, equipo y adiestramiento especializado:** Las fibras ópticas son frágiles y requieren herramientas especiales para empalmar y reparar cables, y equipos especiales de prueba para hacer mediadas rutinarias.
- **También es difícil y costoso reparar cables de fibra y los técnicos que trabajan con cables de fibra óptica necesitan también tener destrezas y adiestramientos especiales.**

PRINCIPIOS FÍSICOS DE LAS FIBRAS ÓPTICAS

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

- Una carga eléctrica en movimiento produce ondas electromagnéticas.
- Desde hace casi 100 años se usan las ondas electromagnéticas para la transmisión de informaciones, debido a que para propagarse no requieren necesariamente de un conductor metálico, sino que pueden hacerlo a altas velocidades tanto en el vacío como en un medio dieléctrico, es decir, no conductor.

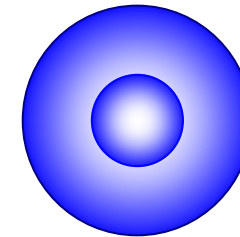
Espectro Electromagnético



Fibra Óptica



Vista Lateral



Vista Frontal

Son 2 cilindros coaxiales de vidrio con índices de refracción n_1 y n_2 que permiten la propagación, entre sus extremos, de radiación electromagnética

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

- Velocidad de la luz

Las ondas electromagnéticas se desplazan en el vacío a una velocidad de 300.000 Km/sg. La cual se denomina Velocidad de la luz.

- Conceptos básicos de las ondas

Período (T): Es el tiempo en el que transcurre una oscilación completa. (s / ms / us)

Frecuencia eléctrica (F): Es la cantidad de veces que se repite el ciclo de una señal eléctrica en un segundo. (ciclo x seg = Hz) (kHz / MHz / GHz / THz)

$$F = 1 / T$$

Longitud de onda (λ): Es la distancia que recorre un (1) ciclo de señal eléctrica de una frecuencia determinada durante el tiempo que transcurre desde que inicia hasta que termina, a la velocidad de la luz. (m / nm / um)

$$\lambda = \text{Veloc. onda} / F$$

La velocidad de propagación de la luz en el vacío es

$$c_0 = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$$

La velocidad de propagación en un medio con índice de refracción n , es

$$v = \frac{c_0}{n}$$

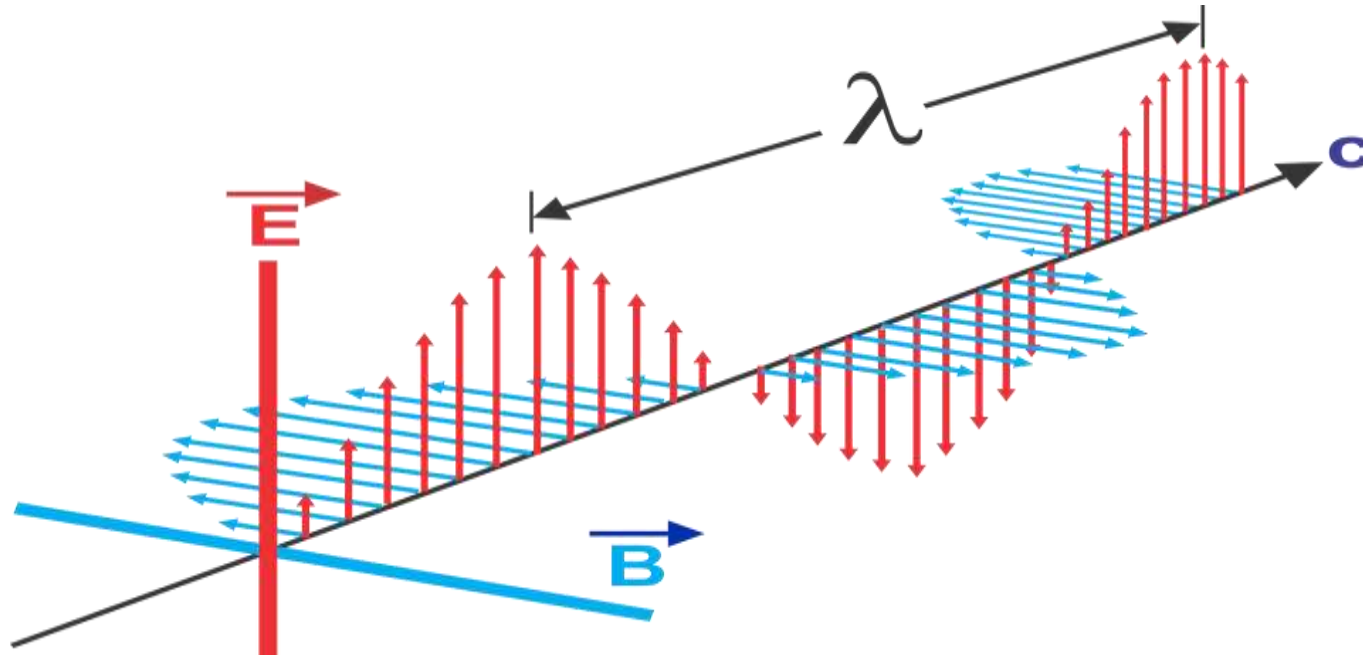
$$\Rightarrow \lambda = \frac{c_0}{n \cdot f}$$

Longitudes de onda

- La luz, como el sonido, se compone de ondas vibrantes. La luz puede tener diferentes longitudes de onda, y las percibimos como diferentes colores en el espectro visible. Estas longitudes de onda se pueden expresar en nanómetros (nm), una milmillonésima parte de un metro. Nuestros ojos ven longitudes de onda entre 420-440 nm como tonos de azul. Longitudes de onda más largas, de 650 a 700 nm, las vemos como rojo.

LA LUZ COMO ONDA ELECTROMAGNÉTICA

- Una onda electromagnética es una perturbación periódica del campo eléctrico $E \rightarrow$ y del magnético $B \rightarrow$ que se propaga en el espacio a la velocidad constante de la luz. Se trata de ondas transversales en las que el campo eléctrico y el magnético, en fase, son perpendiculares entre sí y, a su vez, perpendiculares a la dirección de propagación.

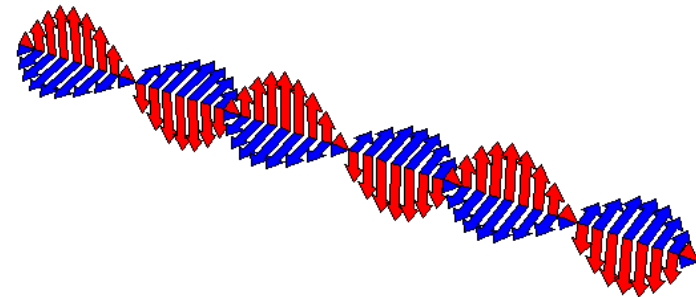
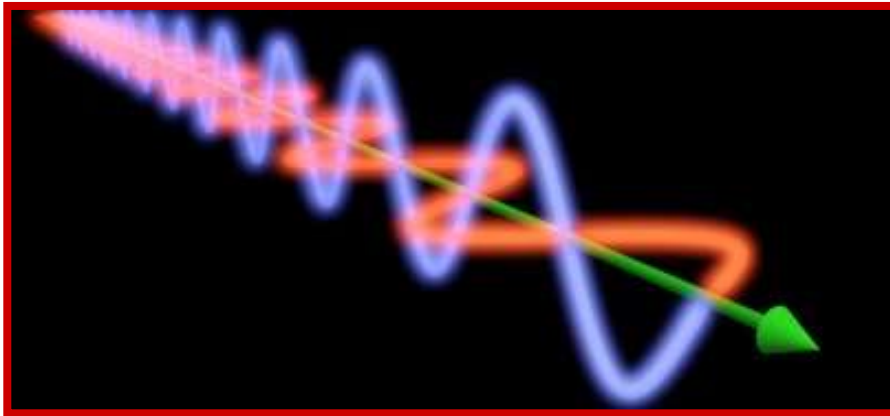


Síntesis Electromagnética

El campo eléctrico, en rojo, y el magnético, en azul, son perpendiculares entre sí y, a su vez, perpendiculares a la dirección de propagación, indicada por el vector "C". Ambos constituyen una onda electromagnética.

Flujo de Radiación Electromagnética

Las ondas luminosas pertenecen al grupo de ondas que se propagan por un campo oscilatorio electromagnético que se desplaza a una velocidad de mil millones de kilómetros por hora, cuya intensidad no disminuye con la distancia y que tiene el siguiente aspecto:



Esquema de una onda electromagnética.

Longitudes de onda

La relación básica entre la frecuencia (f), la longitud de onda (λ) y la velocidad de propagación (c) de una onda es:

$$c = f \cdot \lambda$$

Ejemplo:

Si se transmite un haz de luz que tiene una longitud de onda de 1300 nanómetros por una fibra óptica, qué frecuencia tendrá esa señal óptica que viaja a través de ella?

Longitudes de onda

Sabemos que:

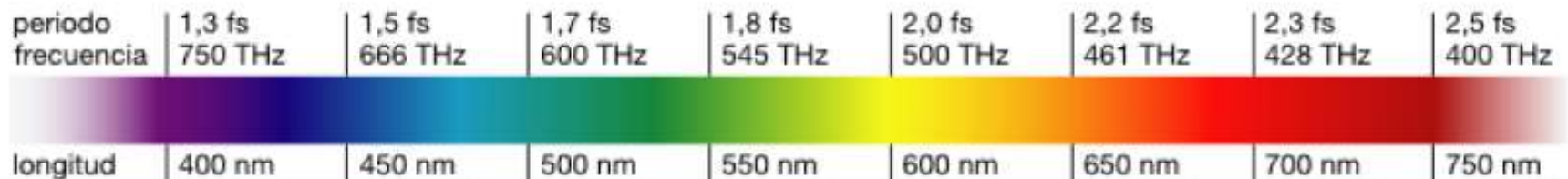
$$c = f \cdot \lambda \quad \Rightarrow \quad f = c / \lambda$$

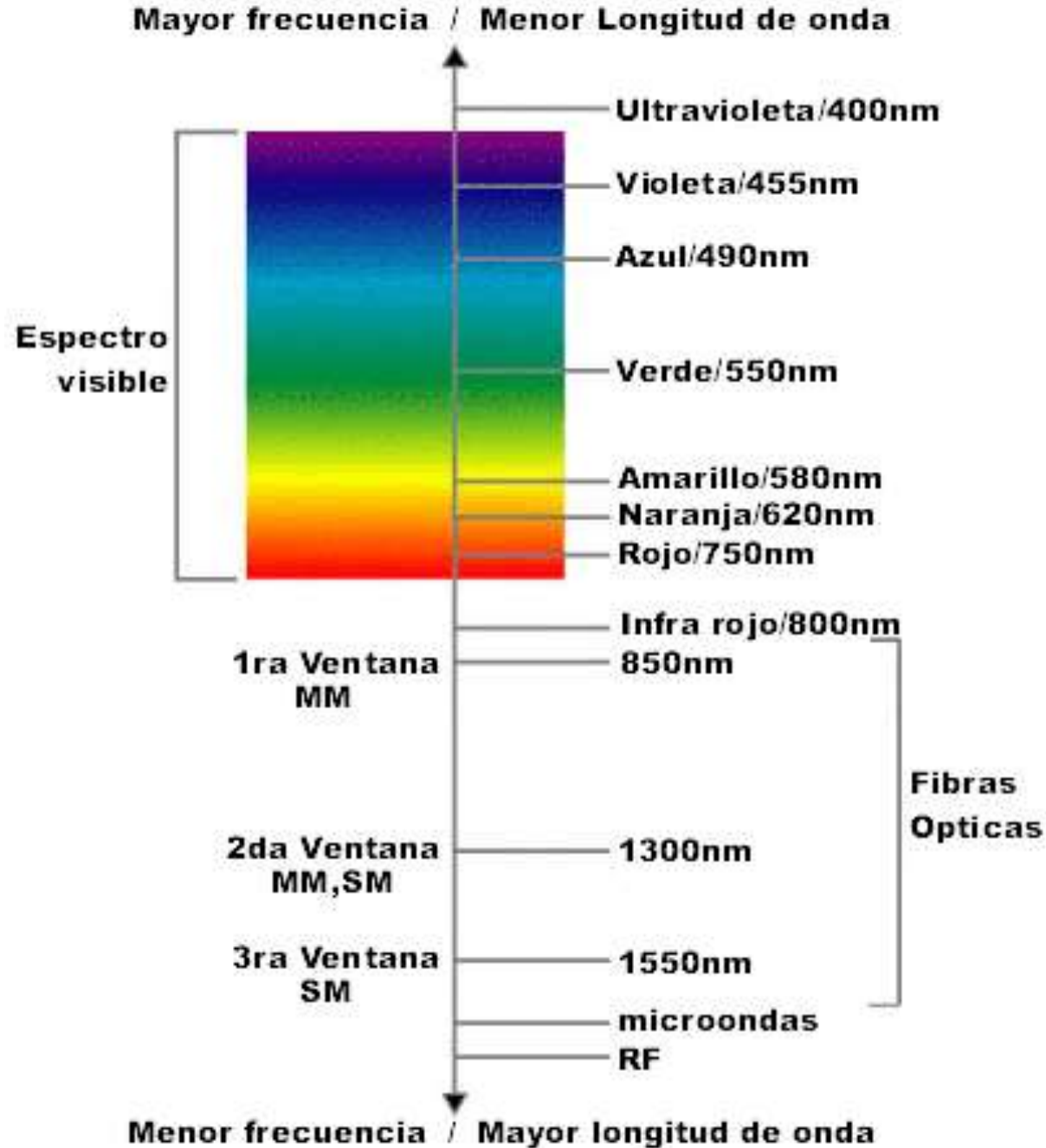
$$f = \frac{300 \times 10^6 \text{ m/seg}}{1300 \times 10^{-9} \text{ m}}$$

$$f = \frac{3 \times 10^{15} \text{ m/seg}}{13 \text{ m}} \quad \Rightarrow \quad f = 230 \times 10^{12} \text{ Hz}$$

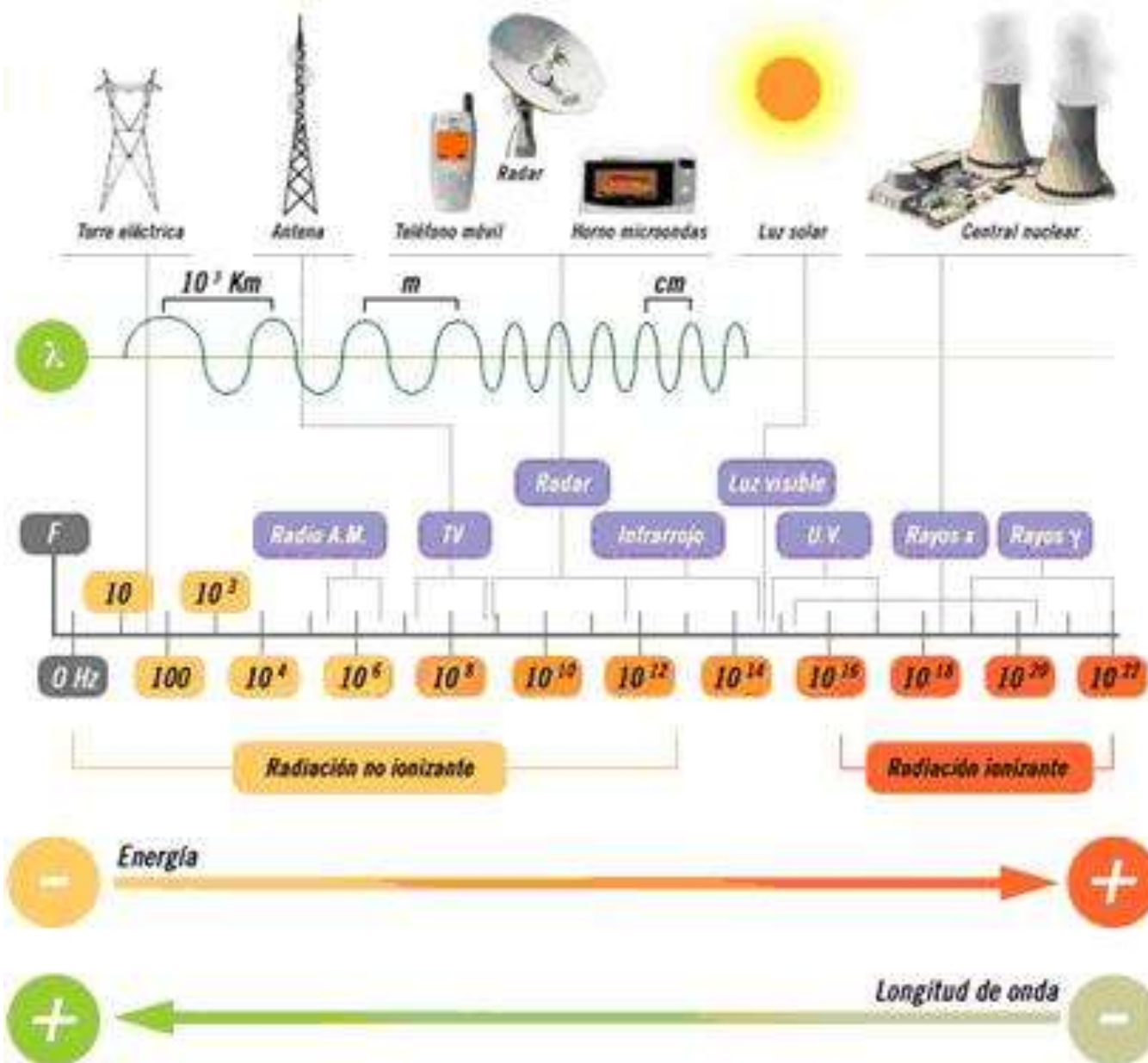
$$f = 230 \text{ Thz}$$

Espectro electromagnético visible

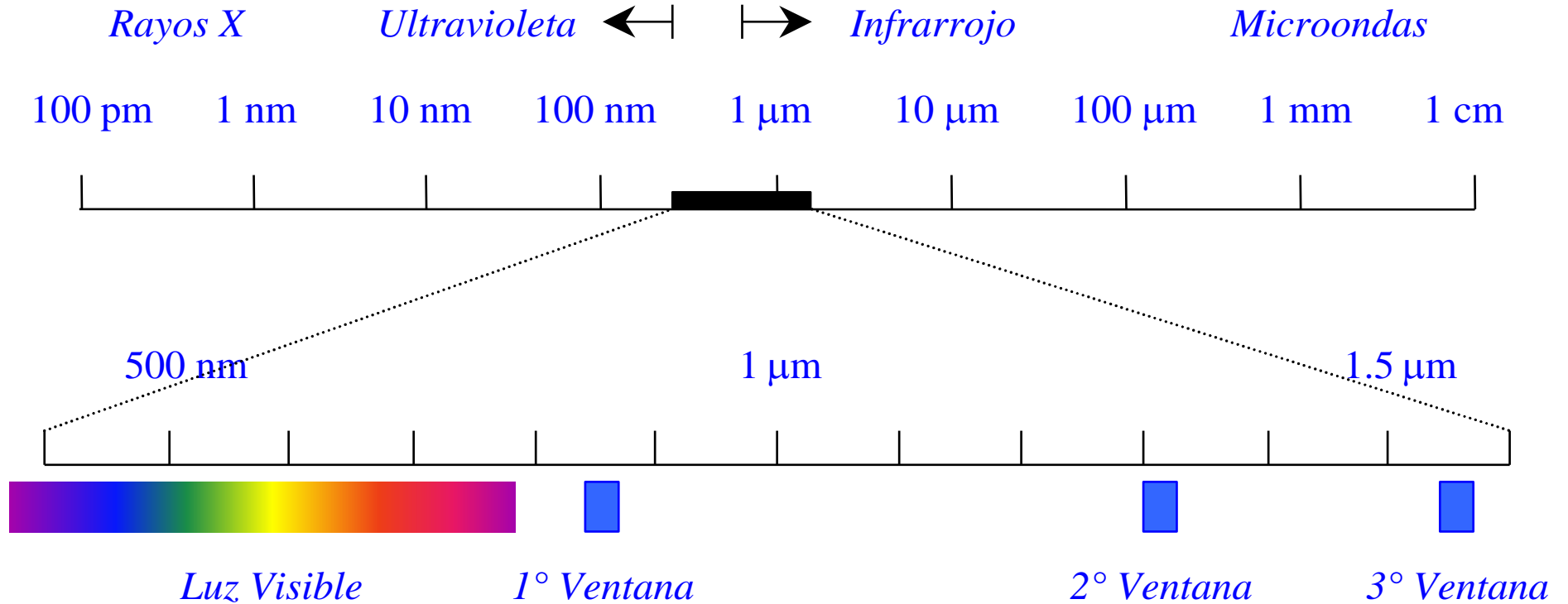




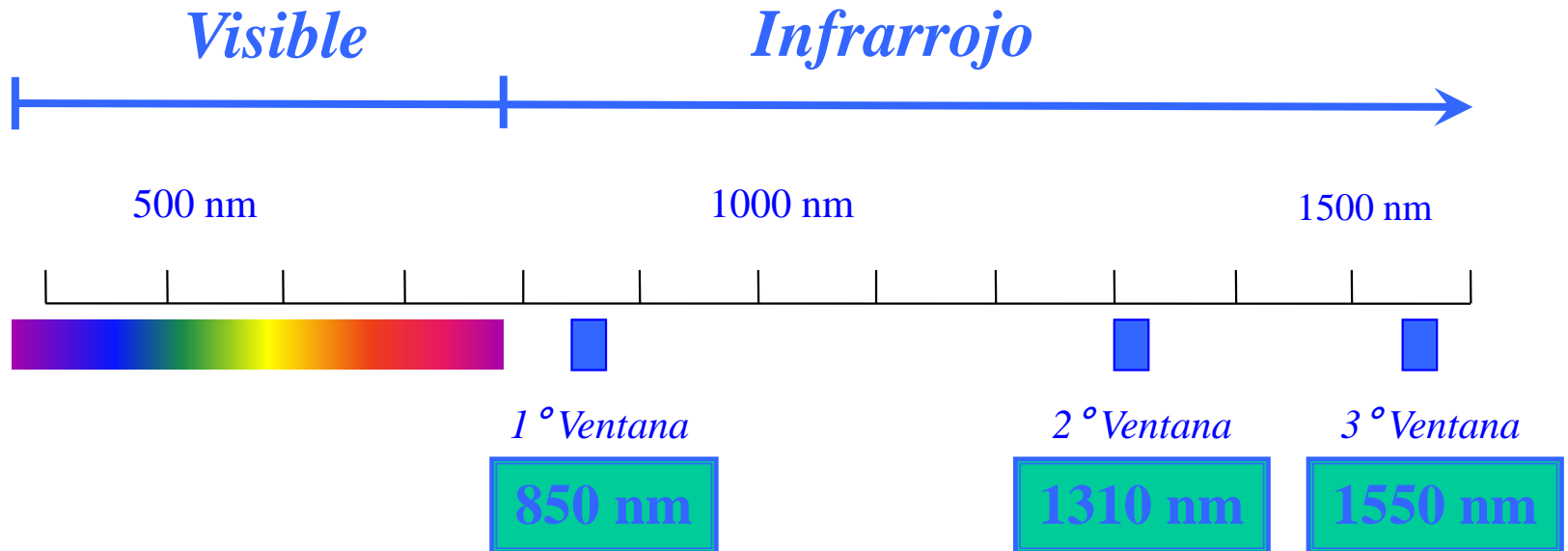
Espectro electromagnético



Espectro Electromagnético



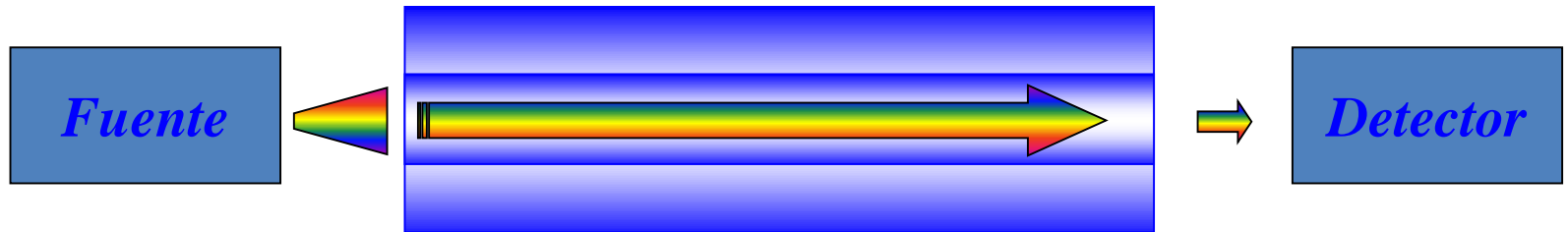
Ventanas de Transmisión



Longitudes de onda Vs. Atenuación

- A medida que la luz viaja (en un medio diferente al vacío), pierde algo de su intensidad.
- Esto se llama 'atenuación'. Cuanto mayor es esta atenuación, más débil es la señal al final de la línea. En fibra óptica, mayores longitudes de onda significan menor atenuación, lo que resulta en una mejor calidad de la señal. Se usan longitudes de onda en la región infrarroja, las cuales son invisibles para el ojo humano.
- Aproximadamente de 850 a 1550 nm, la atenuación es relativamente baja en el vidrio, por lo que este rango longitudes de onda se usa comúnmente para redes ópticas de larga distancia.

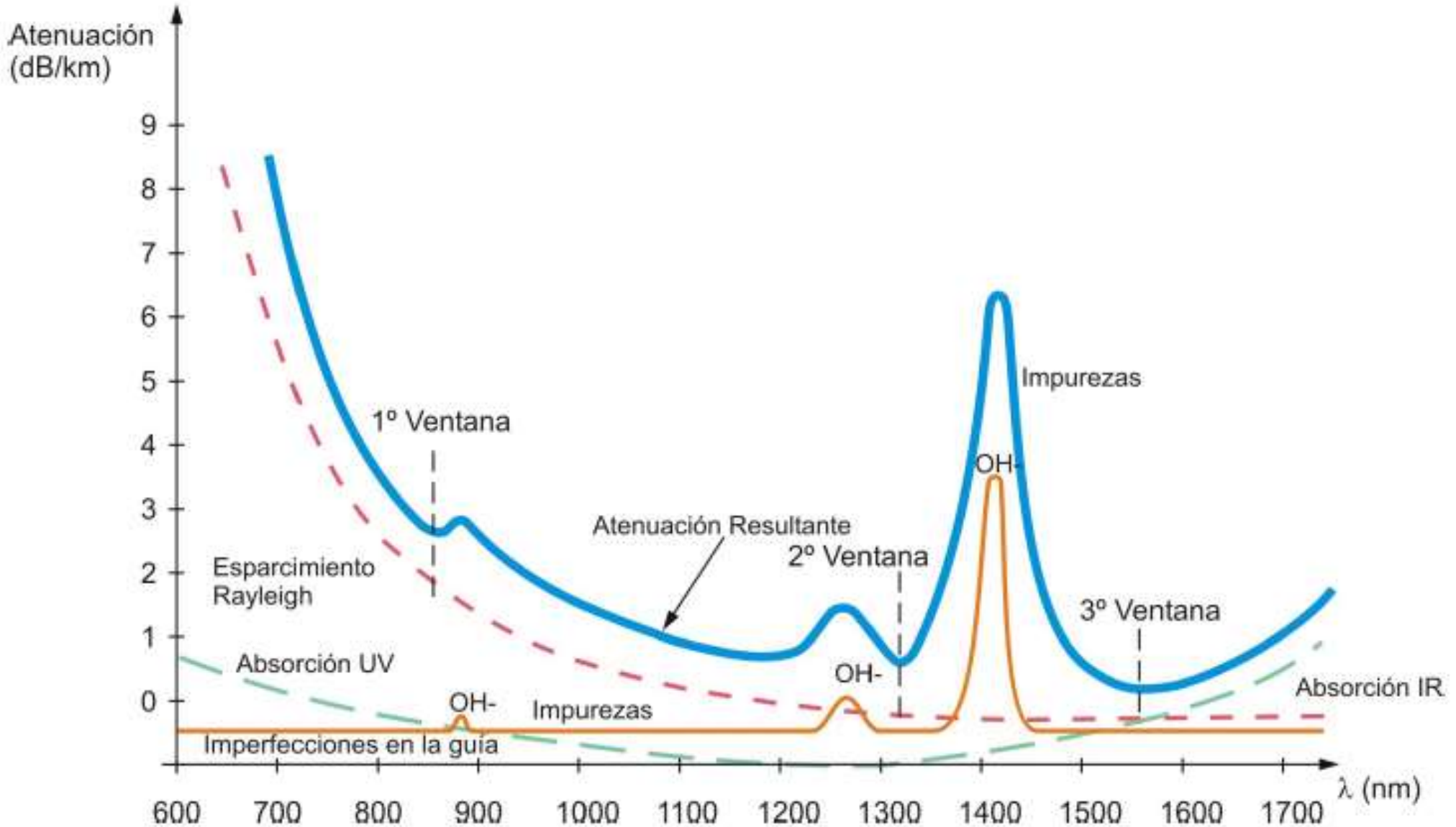
Atenuación Espectral

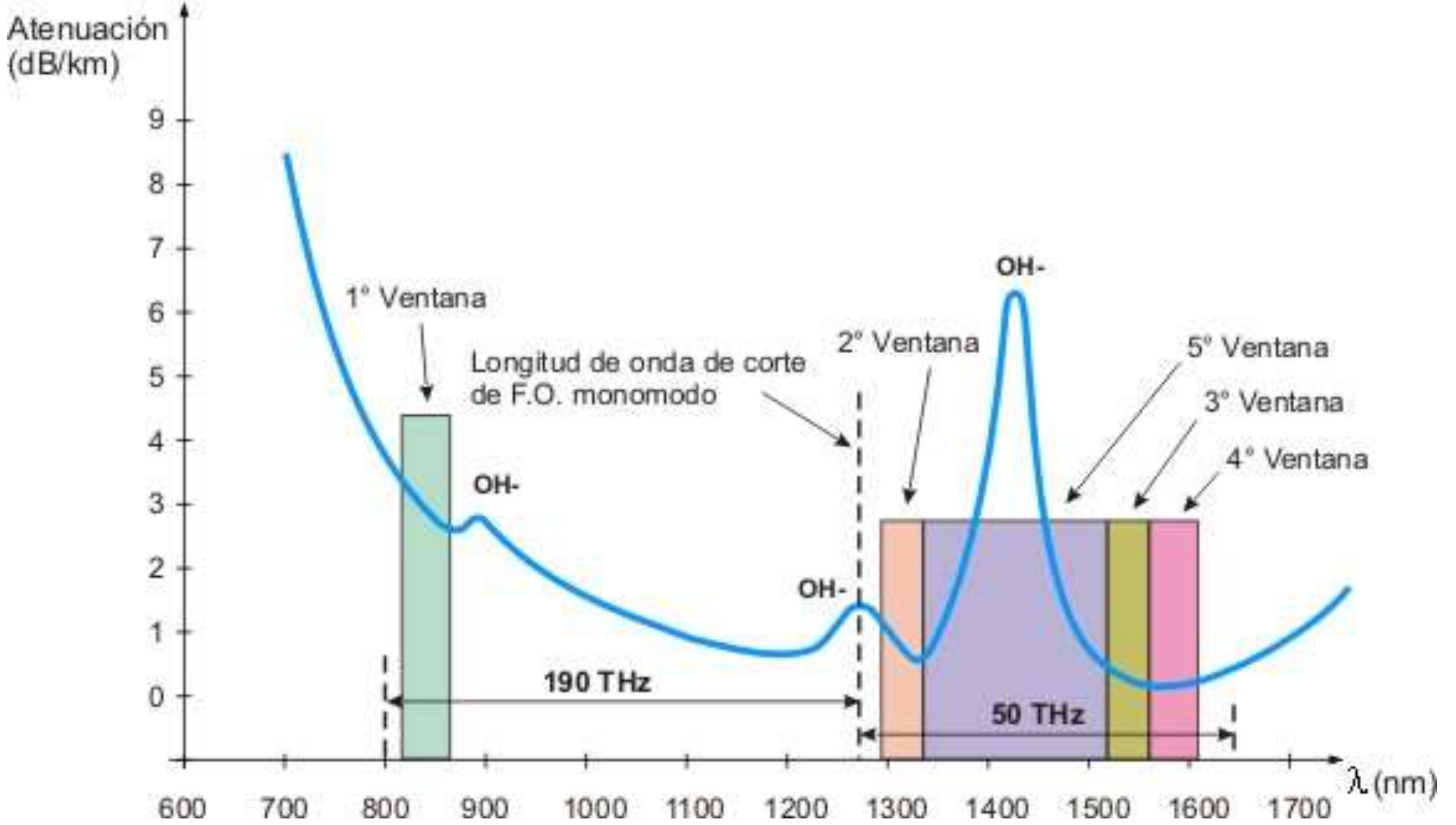


- *Potencia Óptica*
- *Distribución Espectral*
- *Coefficiente de Atenuación Espectral*
- *Respuesta Espectral*

El coeficiente de atenuación de una fibra óptica depende de la longitud de onda de la radiación electromagnética transmitida

CURVA ATENUACIÓN ESPECTRAL DE LA FIBRA ÓPTICA





ANCHO DE BANDA

Es el rango de frecuencias requerido para una transmisión apropiada de una señal. Representa la cantidad de información que puede ser transmitida a través de un canal de comunicación por unidad de tiempo.

Para transmisiones digitales se expresa en bits x segundo (Ej. 100 Mb/s), mientras que para las transmisiones analógicas se expresa en ciclos x segundo (frecuencia- Hz).

Cuanto mayor sea el ancho de banda mayor será la capacidad de transmisión de información (datos) y la velocidad de transferencia.

La capacidad de conducción de información de un sistema electrónico de comunicaciones es directamente proporcional a su ancho de banda.

Para fines de comparación se acostumbra expresar el ancho de banda de un sistema analógico de comunicaciones como un porcentaje de la frecuencia de su portadora.

A esto se le llama a veces relación de utilización del ancho de banda. Por ejemplo un sistema de radiocomunicaciones de VHF trabajando a una frecuencia de portadora de 100 Mhz, con un ancho de banda de 10 Mhz tiene una relación de utilización de ancho de banda de 10%.

Es obvio que mientras mayor es la frecuencia de portadora el ancho de banda es mayor y la capacidad de conducción de información también.

Las frecuencias luminosas que se usan en los sistemas de comunicaciones con fibra óptica están entre 1×10^{14} y 4×10^{14} Hz. (100,000 a 400,000 Ghz).

Una relación de utilización de ancho de banda de 10% significaría una banda de entre 10,000 y 40,000 Ghz de ancho.

Por qué se necesita ancho de banda?

A medida que aumenta la disponibilidad en ancho de banda los desarrolladores introducen aplicaciones y servicios que requieren mayor ancho de banda comparado con sus predecesores.

Actualmente, Netflix recomienda una conexión de 25Mbps para ver calidad Ultra HD. Una familia de 4 transmitiendo en diferentes dispositivos puede utilizar potencialmente la capacidad total de una conexión de 100Mbps de un hogar.

El tráfico de internet global, el cual se ha duplicado cada dos años, crecerá aún más rápido debido al incremento en la aceptación de la informática móvil, los teléfonos inteligentes, el incremento del streaming y gaming, y el incremento de las áreas de cobertura de 4G y 5G.

Se espera que 5G, el próximo estándar en tecnología móvil, entregue velocidades de más de 10 Gbps. La transferencia de datos podría ser hasta 150 veces más rápida que 4G. Esto se verá impulsado por la gran necesidad de transmisión de video de alta definición a dispositivos móviles.

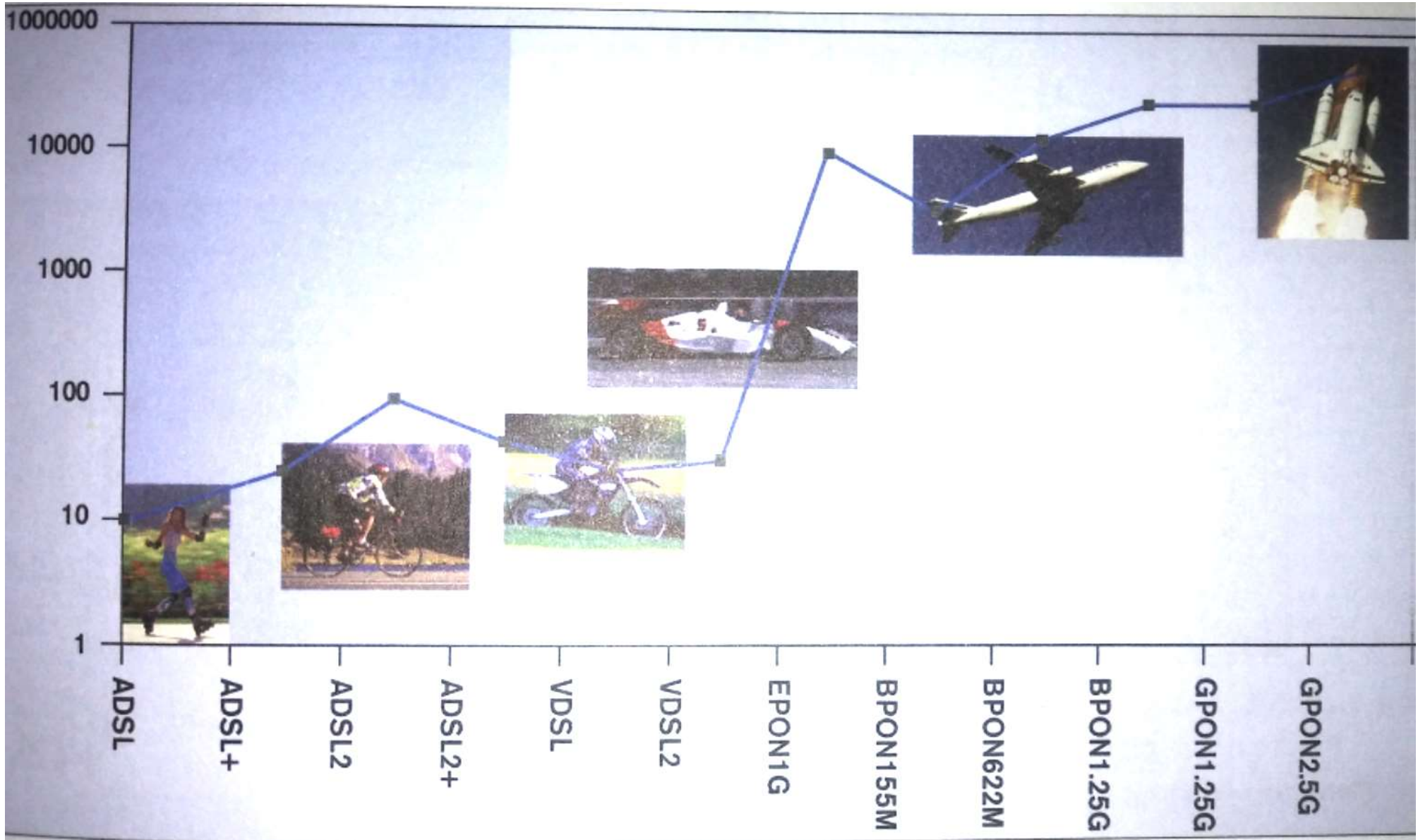
También estamos viendo la llegada de HDTV 3D, 4K e incluso 8K, y video de realidad virtual (VR). Sin mencionar las innovaciones que requieren gran cantidad de ancho de banda, como Internet de las cosas (IOT), servicios y aplicaciones en la nube, edificios inteligentes, tecnología blockchain, vehículos autónomos, videovigilancia y telemedicina entre tantos.

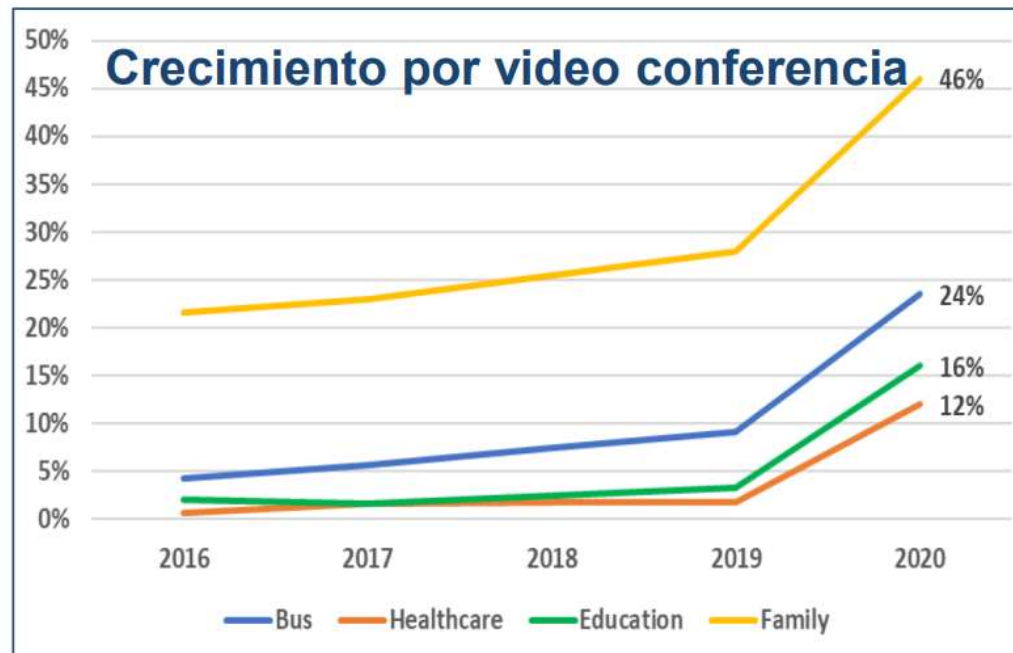
VELOCIDAD DE CONEXIÓN DE INTERNET GLOBAL PROMEDIO



Información adicional: Worldwide; Akamai Technologies; 1st quarter 2011 quarter 2017; IPv4

Fuente: Akamai Technologies © Statista 2017





- Proveedores de servicio consideran que la tecnología GPON/EPON con una vida de 15 años no cumplirá con la demanda de ancho de banda para los siguientes 10 años
- Hay un crecimiento anual de 35-45%

El teletrabajo, aprendizaje a distancia, video-conferencia, telemedicina, juegos en línea y streaming de video contribuyen a un desborde de tráfico que preocupa a los proveedores de servicio sobre los cuellos de botella en su red hoy más que nunca