



Unach

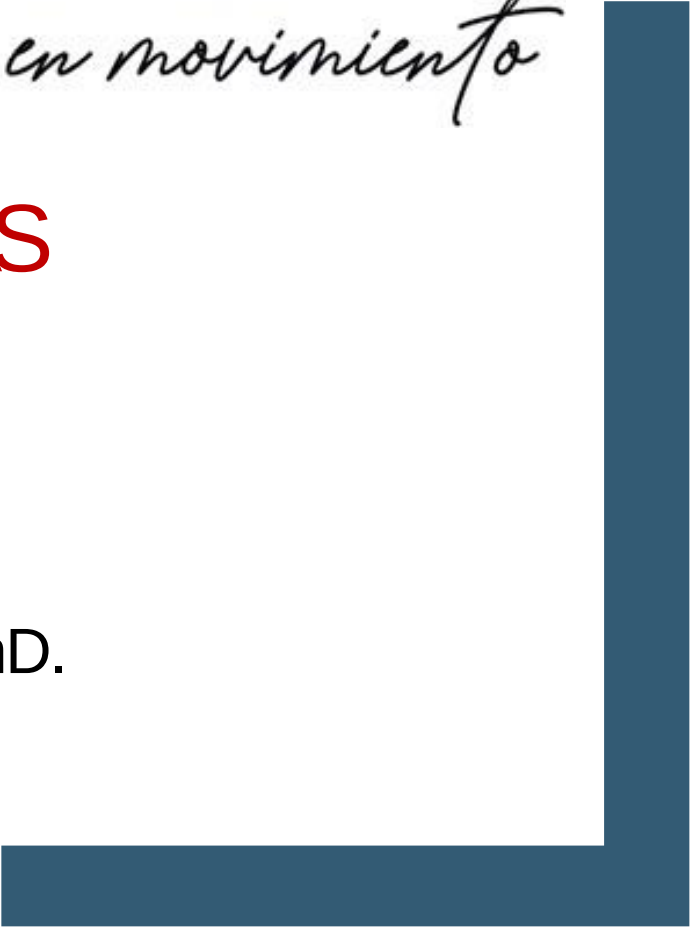
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

en movimiento

COMUNICACIONES ÓPTICAS

Introducción

Ing. Eduardo Daniel Haro Mendoza PhD.



Conceptos

La Luz

Parte del espectro electromagnético que puede ser percibido por el ojo humano

La óptica

Es la rama de la física que estudia la luz, sus propiedades, comportamiento, interacción y sus efectos sobre la materia.

Características:

La luz visible está compuesta por fotones (del vocablo griego phos, “luz”), un tipo de partículas elementales que carecen de masa. Los fotones se comportan de manera dual: como ondas y como partículas.

La luz es una emisión ondulatoria y corpuscular de fotones.

Se desplaza siempre en línea recta, a una velocidad definida y constante.

Color, contiene ondas con longitudes de onda que corresponden a cada color del espectro visible.

Conceptos

Espectro Electromagnético

El espectro electromagnético es el conjunto de señales electromagnéticas, ordenadas según su **frecuencia** y **longitud de onda**.

Onda electromagnética

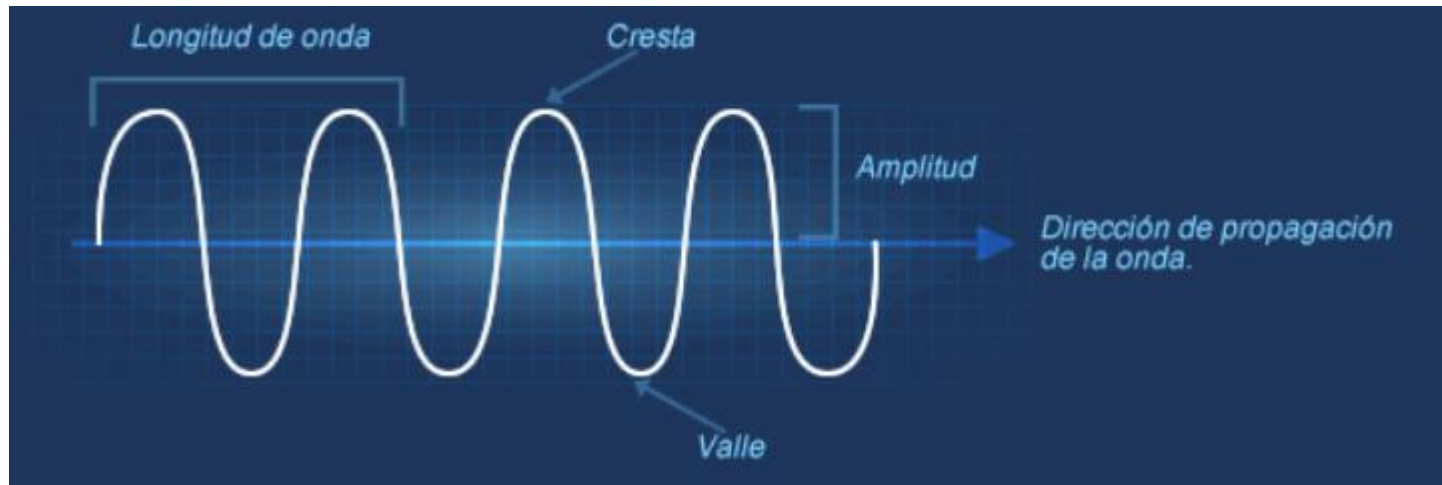
ondas (forma de energía) que se propaga en el espacio a una velocidad enorme: la velocidad de la luz.

Longitud de onda

la distancia entre una onda y la siguiente.

Frecuencia

Número de oscilaciones por segundo



La longitud de onda y la frecuencia están inseparablemente ligadas: **cuanto mayor es la frecuencia, más corta es la longitud de onda**

$$c = \lambda \nu$$

Conceptos

Ejemplo: calcular la longitud de onda de una onda luminosa

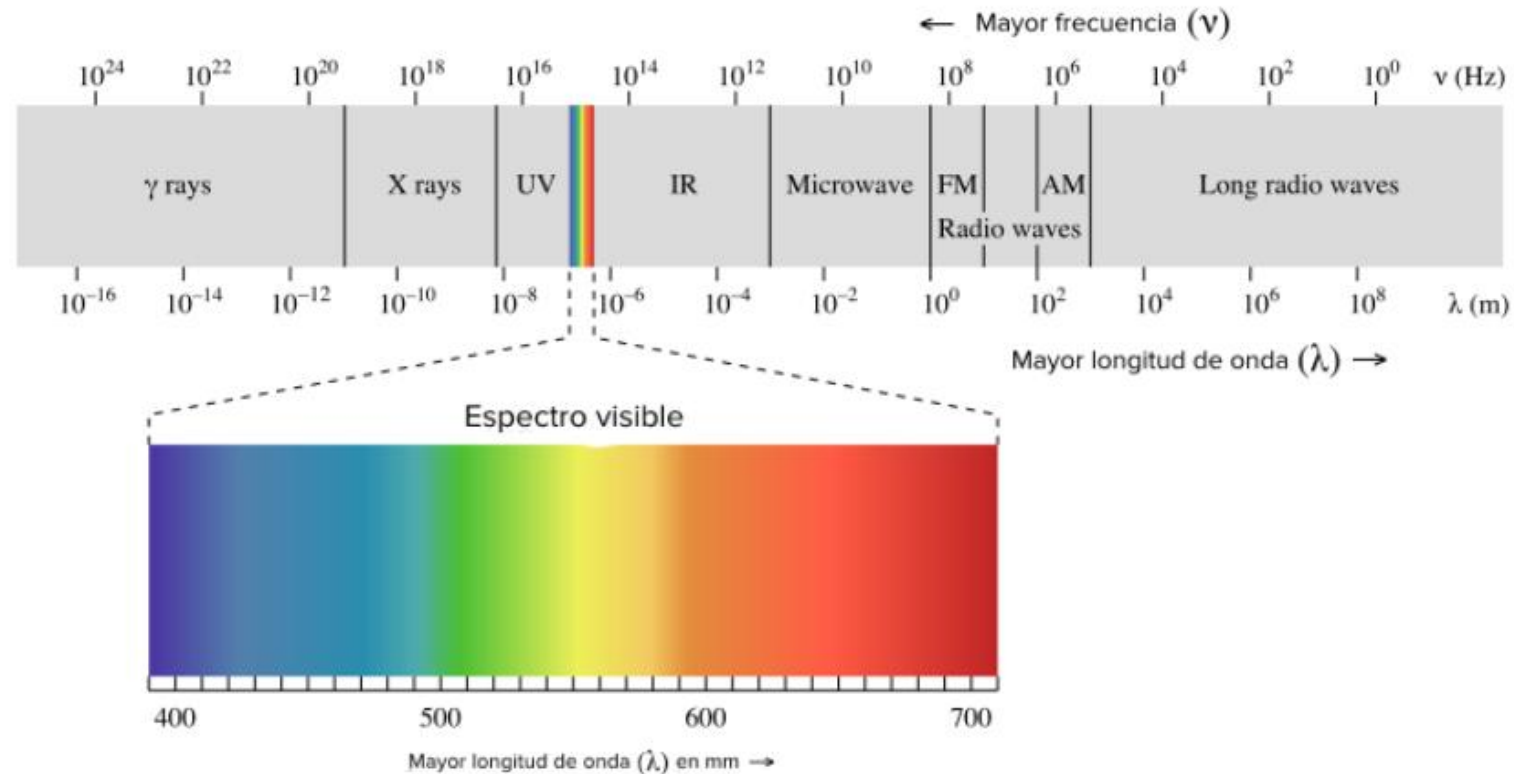
Una onda de radiación electromagnética particular tiene una frecuencia de $1.5 \times 10^{14} \text{ Hz}$.

¿Cuál es su longitud de onda?

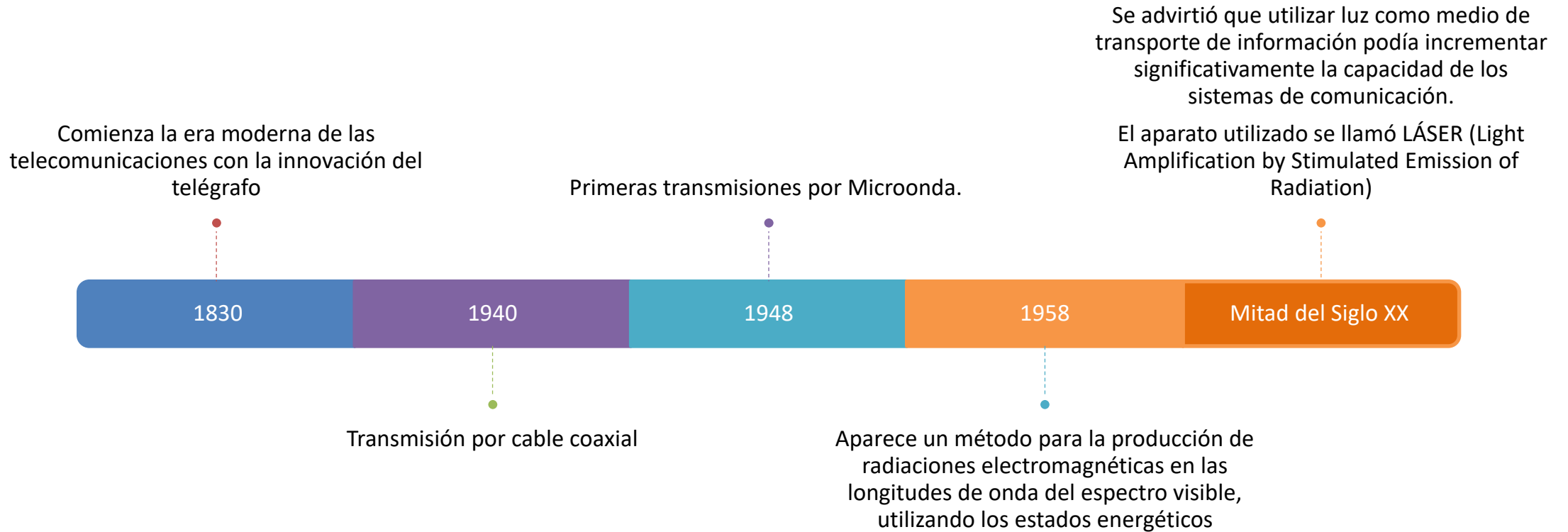
Conceptos

El espectro electromagnético

Clasificación y orden de las ondas electromagnéticas de acuerdo a sus diferentes longitudes de onda y frecuencias



Historia



Historia



1956

Sir Charles Kuen Kao, Premio Nobel de Física en 2009, en su tesis doctoral predijo que la atenuación de una fibra óptica no debía ser superior a los 20 decibelios por kilómetro, si se quería que ésta fuese apta para usarse en transmisiones de datos.



1960

Se realizó la demostración del primer laser (siendo una fuente de luz coherente e intensa).



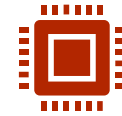
1966

se sugirió que las fibras ópticas podían representar la mejor alternativa para superar este problema.



1970

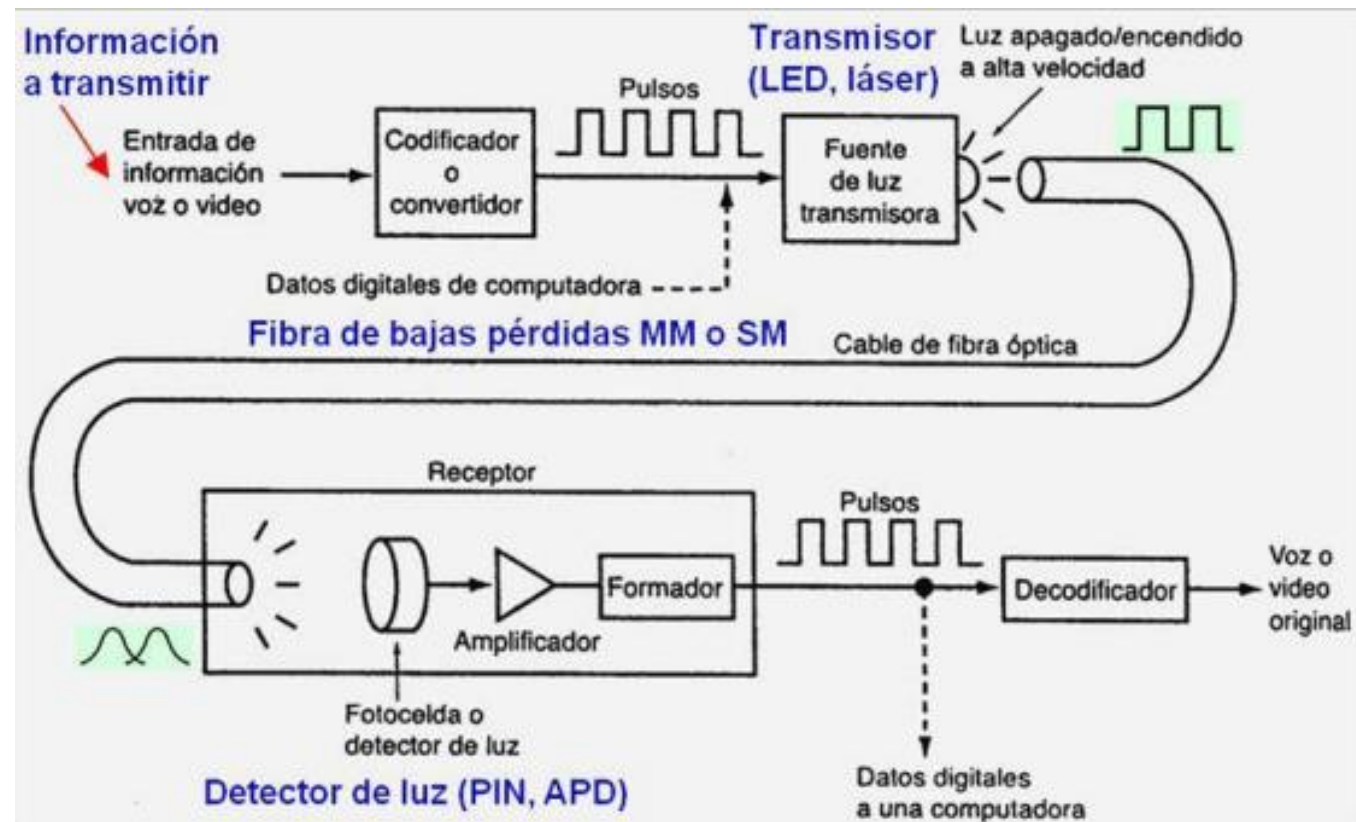
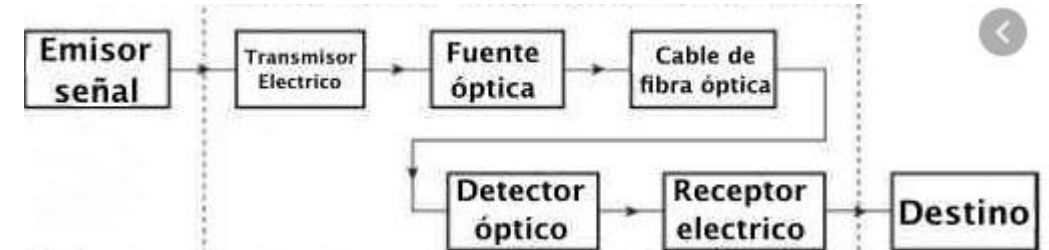
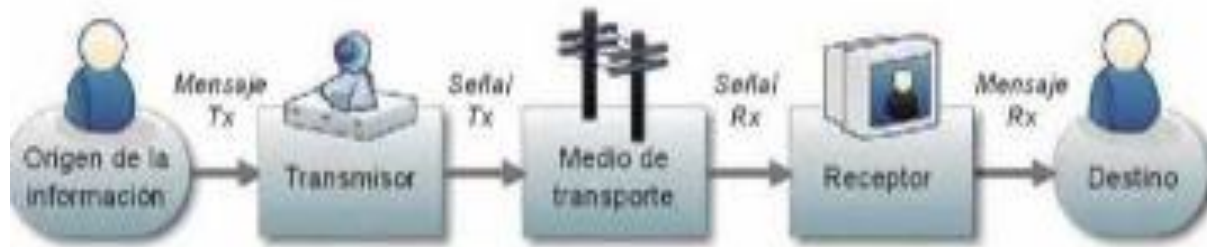
Corning Glass (una empresa muy conocida hoy en día por el desarrollo de cristales flexibles y resistentes que están en algunos *smartphones* el mercado). El equipo de Corning fue capaz de desarrollar fibras de atenuaciones de 0,5 dB/km.



1977

General Telephone and Electronics cursase la **primera transmisión telefónica a través de fibra óptica** con una tasa de transmisión de 6 Mbps.

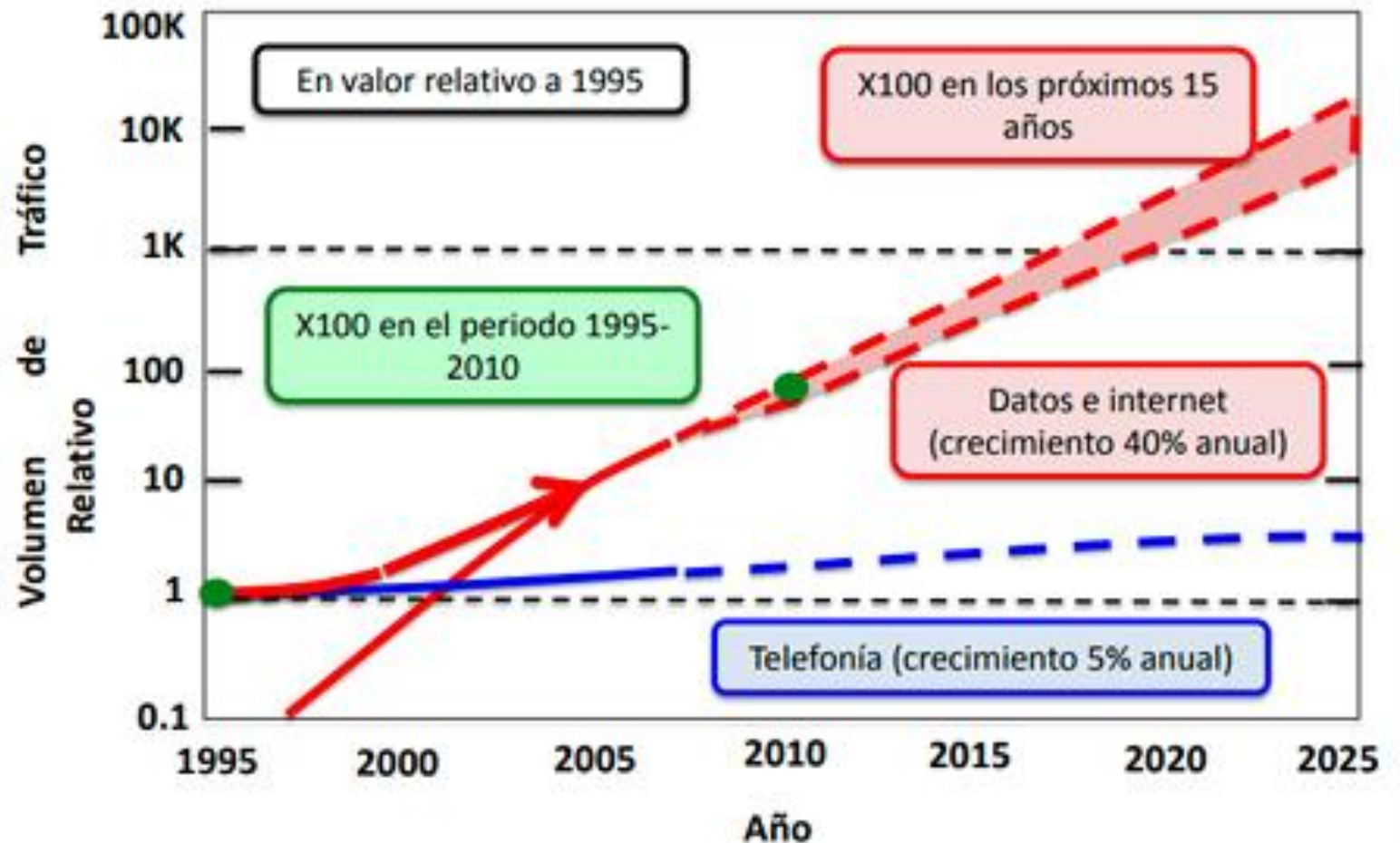
Sistemas de Comunicaciones



Sistemas de Comunicaciones

Por qué son necesarias
Las comunicaciones
Ópticas?

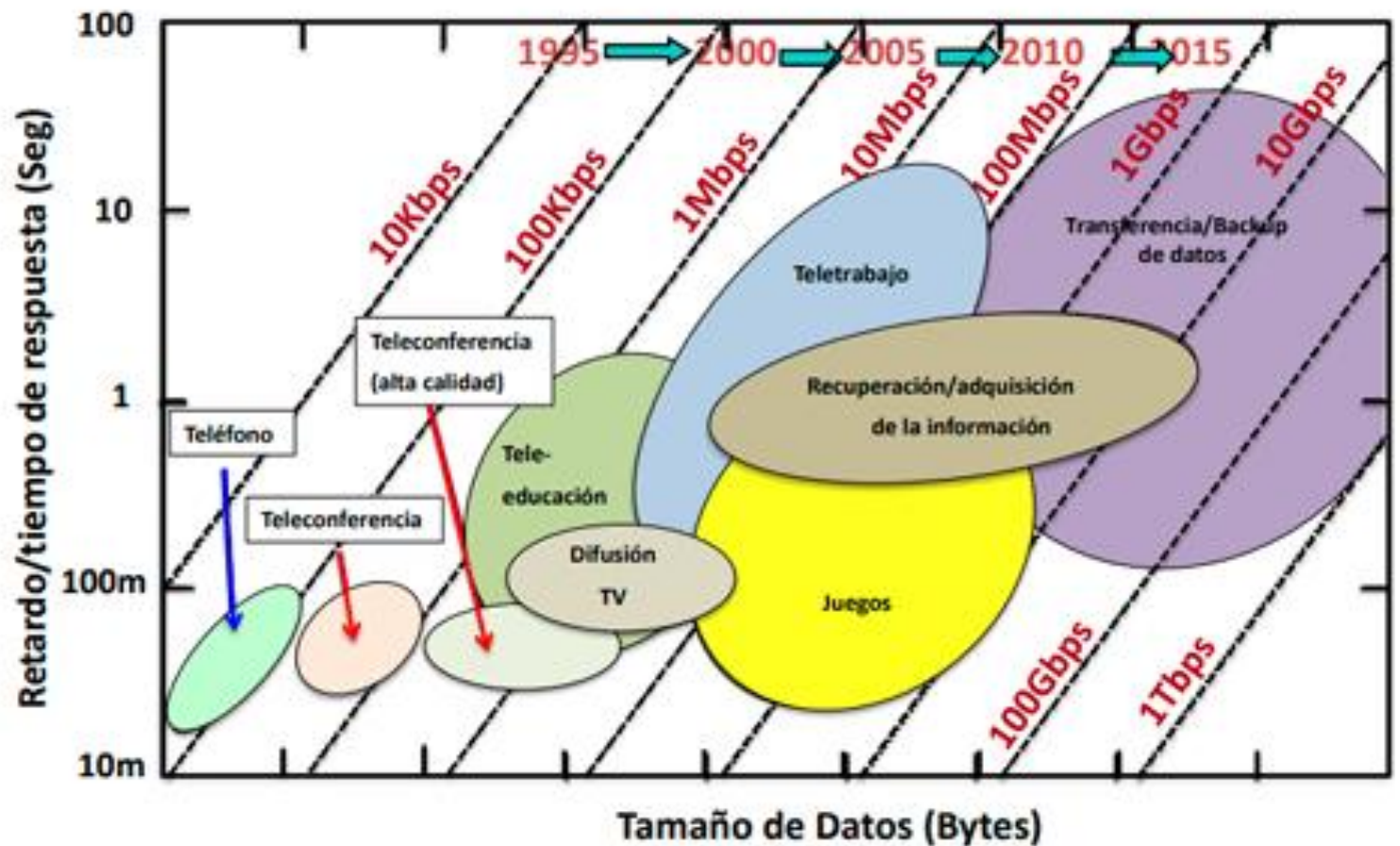
Evolución del tráfico.



Sistemas de Comunicaciones

Por qué son necesarias
Las comunicaciones
Ópticas?

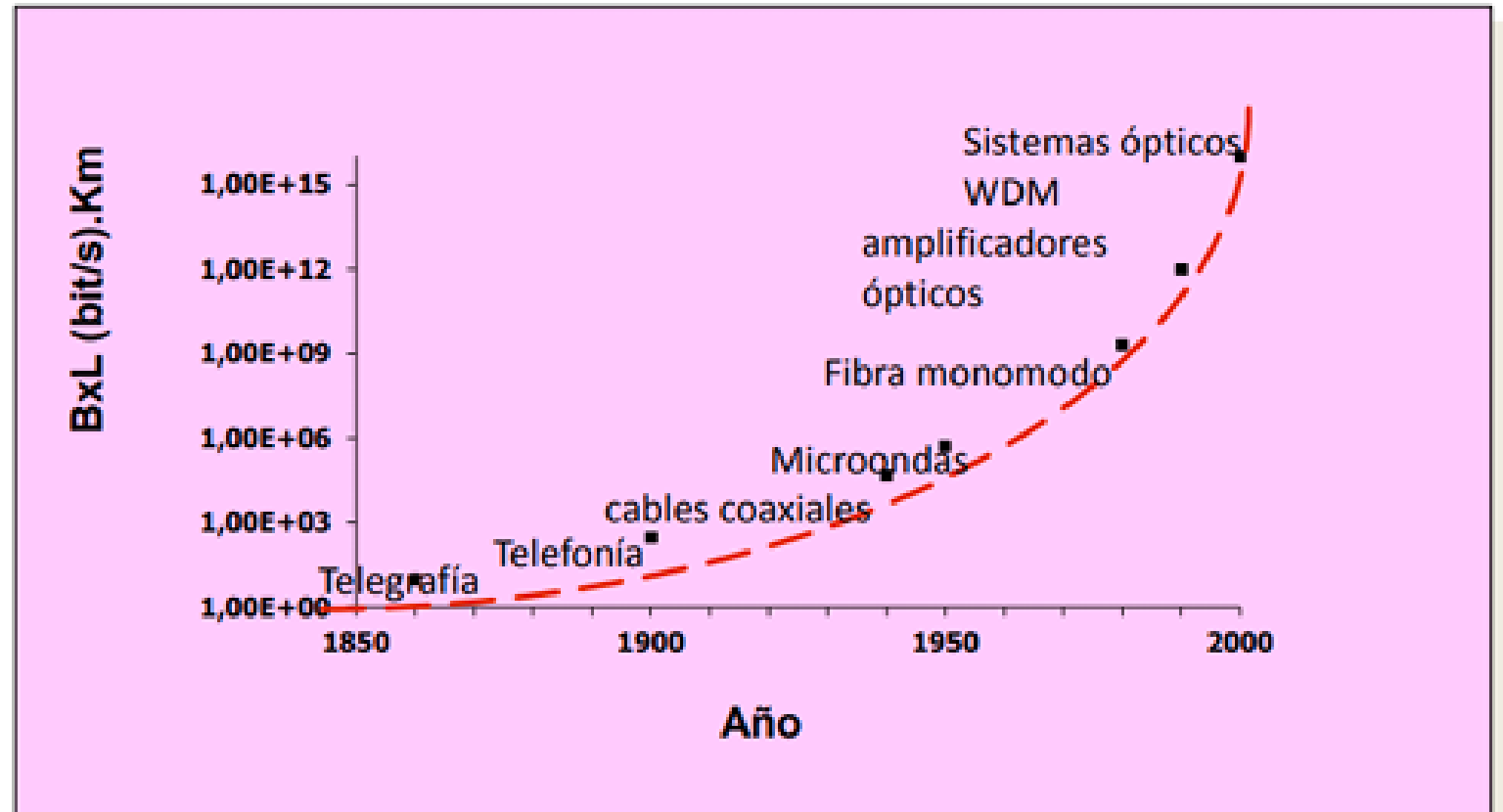
Requisitos de los nuevos servicios.



Sistemas de Comunicaciones

Tecnologías de Transmisión.

Por qué son necesarias
Las comunicaciones
Ópticas?



Propagación de la luz

La luz se propaga en línea recta y a **una velocidad de 299.792.4458 metros por segundo** en el vacío. Si le toca atravesar medios densos o complejos, se mueve a velocidades menores.

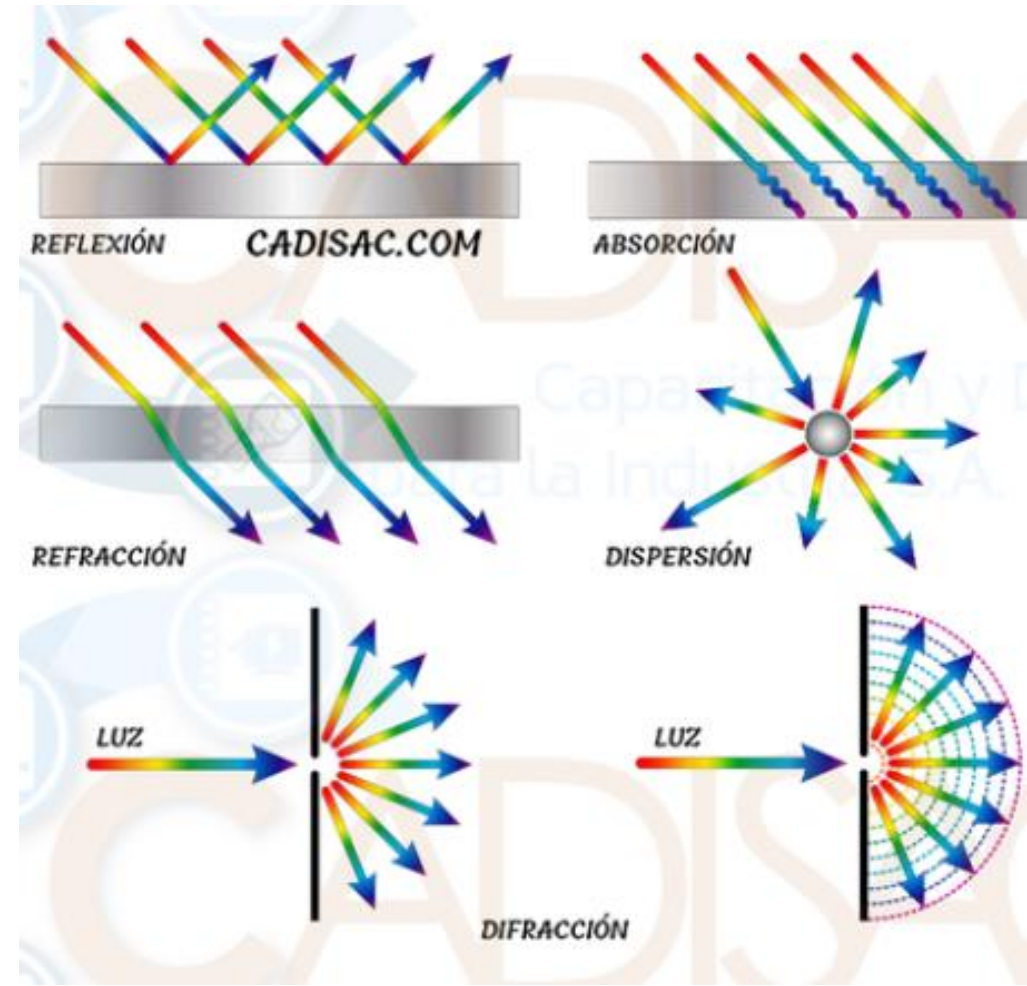
Los fenómenos de la luz **son alteraciones** que experimenta al someterse a determinados medios o determinadas condiciones físicas.

La Reflexión

La Refracción

Difracción

Dispersión



Componentes ópticos y sus características

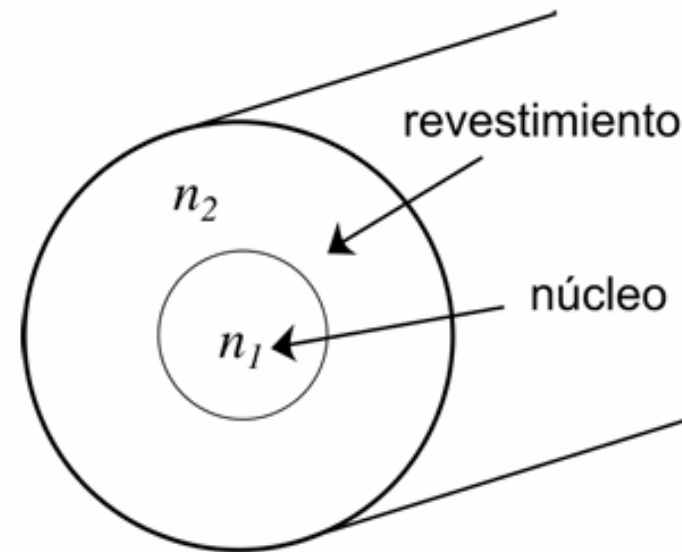
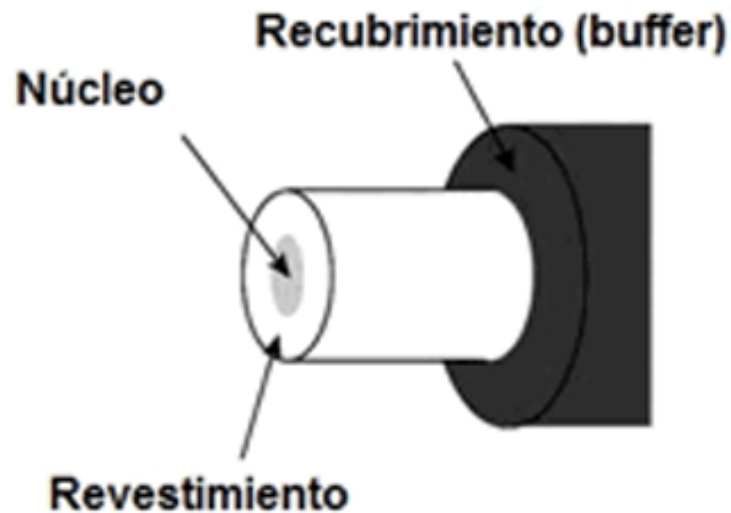
Elementos
Ópticos
Vinculantes

Fibra Óptica

Lentes
Prismas
Espejos
Divisores de haz
Guías de onda

Componentes de la Fibra Óptica

Tiene dos componentes elementales. El núcleo central de plástico o cristal (óxido de silicio y germanio) posee un alto índice de refracción η_1 , rodeado del cladding con un índice de refracción ligeramente menor η_2 .



Componentes de la Fibra Óptica

Índice de Refracción

Es un número adimensional que depende de la temperatura y de la longitud de onda de la luz. El índice de refracción define la rapidez con la que un haz de luz viaja a través de los medios, y esta relación se describe mediante la fórmula:

$$n = c/v$$

Donde:

n es el índice de refracción

c es la velocidad de la luz en un vacío (o aire)

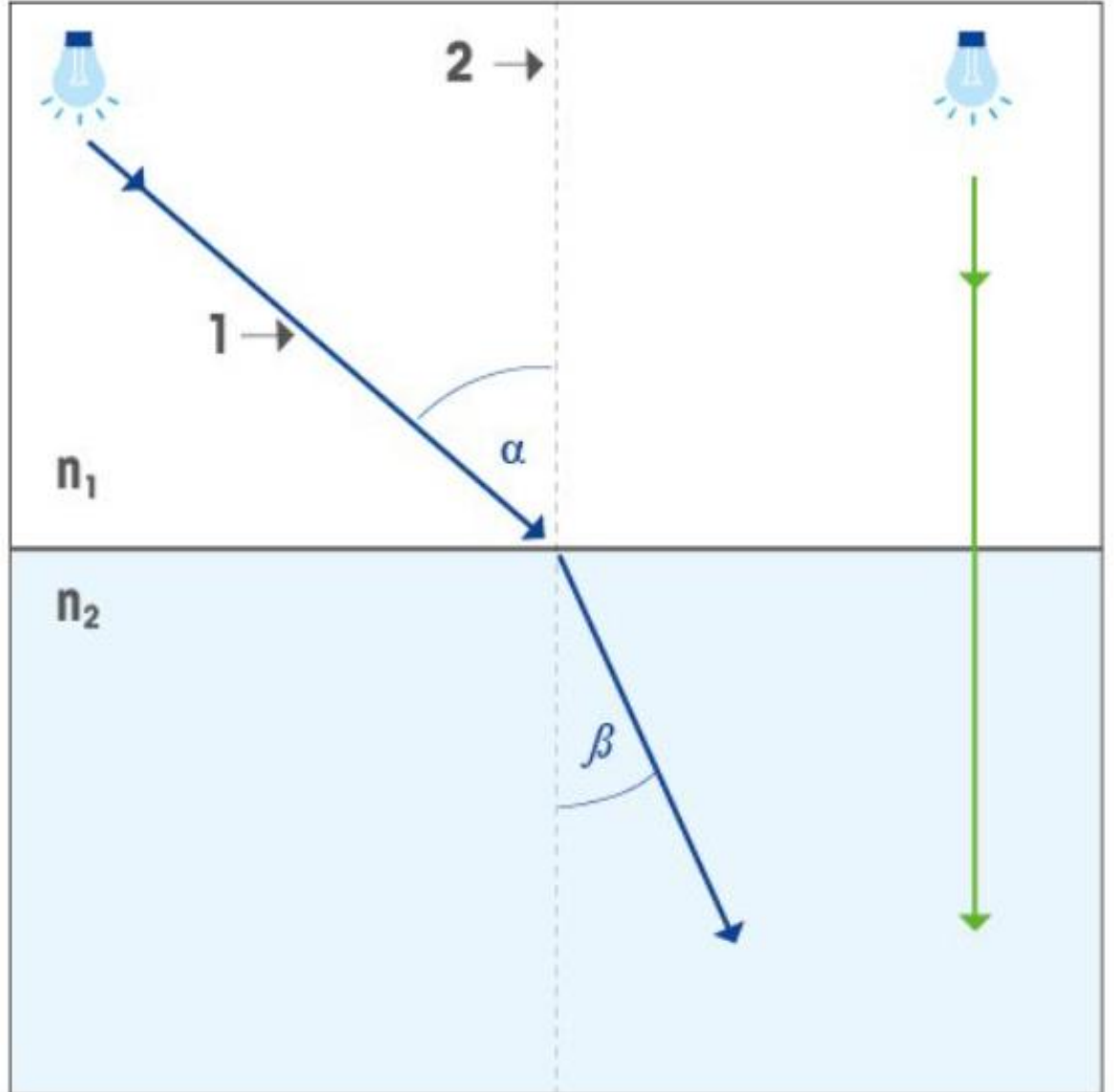
v es la velocidad de la luz en los medios (por ejemplo, agua, aceite, etc.)



Componentes de la Fibra Óptica

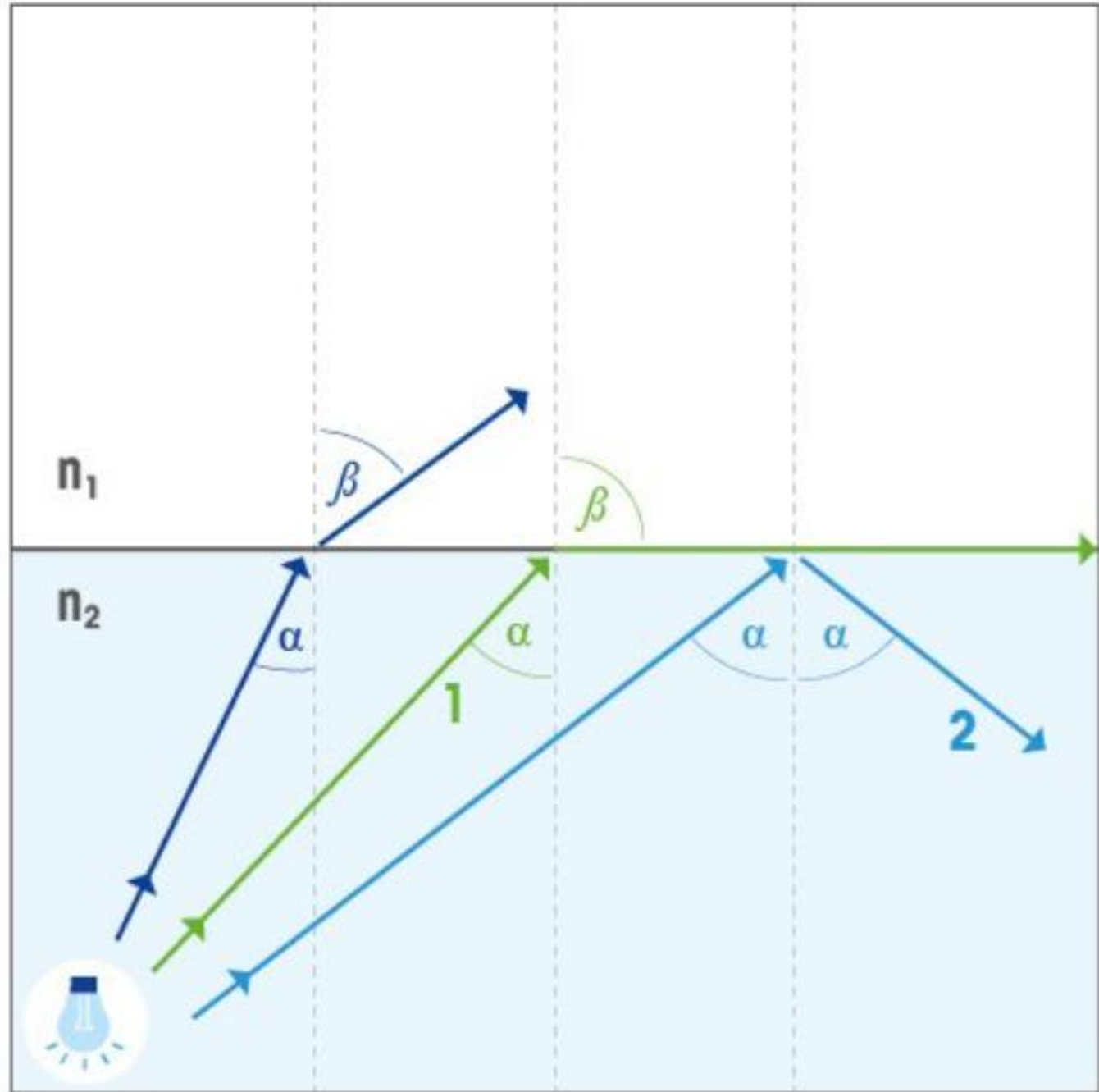
La ley de Snell, relaciona los ángulos de incidencia y refracción con los índices de refracción de los medios involucrados. Como se muestra en la figura, la ley determina que el producto del seno del ángulo formado entre el rayo de luz (1), la recta normal (2) y el índice de refracción del medio (n_1 y n_2) debe ser constante.

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



Reflexión interna total y el ángulo crítico

La reflexión interna total se define como un proceso por el cual toda la luz que viaja desde un medio ópticamente más denso hacia uno ópticamente menos denso se refleja de nuevo en el medio ópticamente más denso.



Índice de refracción absoluto y relativo

El índice de refracción absoluto se calcula con referencia al vacío en el que la luz se propaga con la mayor velocidad posible de 299 792 458 metros por segundo.

De este modo, podemos decir que el índice de refracción absoluto mide cuántas veces la velocidad de la luz es mayor en el vacío (o en el aire) que en cualquier otro medio. Ejemplo: Calcular el índice de refracción absoluto del agua a 20 °C, mediante el cual sabemos que la luz viaja a $2,25 \times 10^8$ m/s.

El **índice de refracción relativo** se define como la relación de las velocidades de la luz entre dos medios que no sean el vacío (o el aire). Por ejemplo, se puede medir el índice de refracción del aceite de oliva en relación con el del agua.

Índice de refracción

Medio	n
Gases a 0 °C, 1 atm	
Aire	1.000293
Dióxido de carbono	1.00045
Hidrógeno	1.000139
Oxígeno	1.000271
Líquidos a 20 °C	
Benceno	1.501
Disulfuro de carbono	1.628
Tetracloruro de carbono	1.461
Etanol	1.361
Glicerina	1.473
Agua fresca	1.333
Sólidos (longitudinales o a granel)	
Diamante	2.419
Fluorita	1.434
Vidrio corona	1.52
Vidrio pedernal	1.66
Hielo (a 0 °C)	1.309
Poliestireno	1.49
Plexiglás	1.51
Cuarzo cristalino	1.544
Cuarzo fundido	1.458
Cloruro de sodio	1.544
Circón	1.923

Propagación de la luz en la FO

La propagación en las fibras ópticas se produce principalmente a través ***del fenómeno de refracción y reflexión*** de la luz dentro del núcleo de la fibra óptica. La luz que entra en el núcleo de la fibra óptica cambia su dirección dependiendo de la diferencia en los índices de refracción entre el núcleo y el revestimiento. En este caso, si la luz pasa de un medio con un índice de refracción más alto (núcleo) a uno con un índice de refracción más bajo (revestimiento), la luz se refracta.

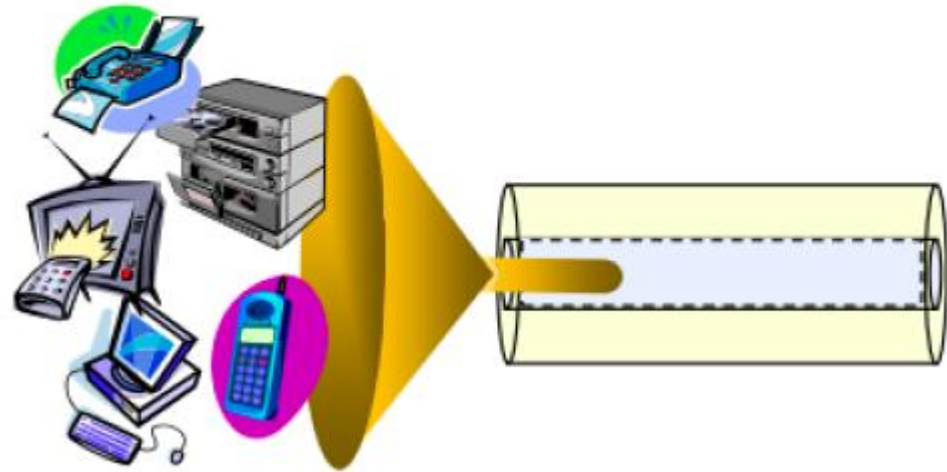
Si el ***ángulo de incidencia*** es lo suficientemente grande, ocurre una reflexión interna. Este proceso de reflexión interna mantiene la luz dentro del núcleo. La luz continúa su camino a través del núcleo, reflejándose en las paredes del núcleo en sucesivas reflexiones internas.

Gracias al efecto de reflexión interna total, se minimiza la pérdida de señal de luz fuera de la fibra. La señal se mantiene en el núcleo y viaja a lo largo de la fibra a grandes distancias

Ventajas FO

Alta capacidad de transmisión de datos

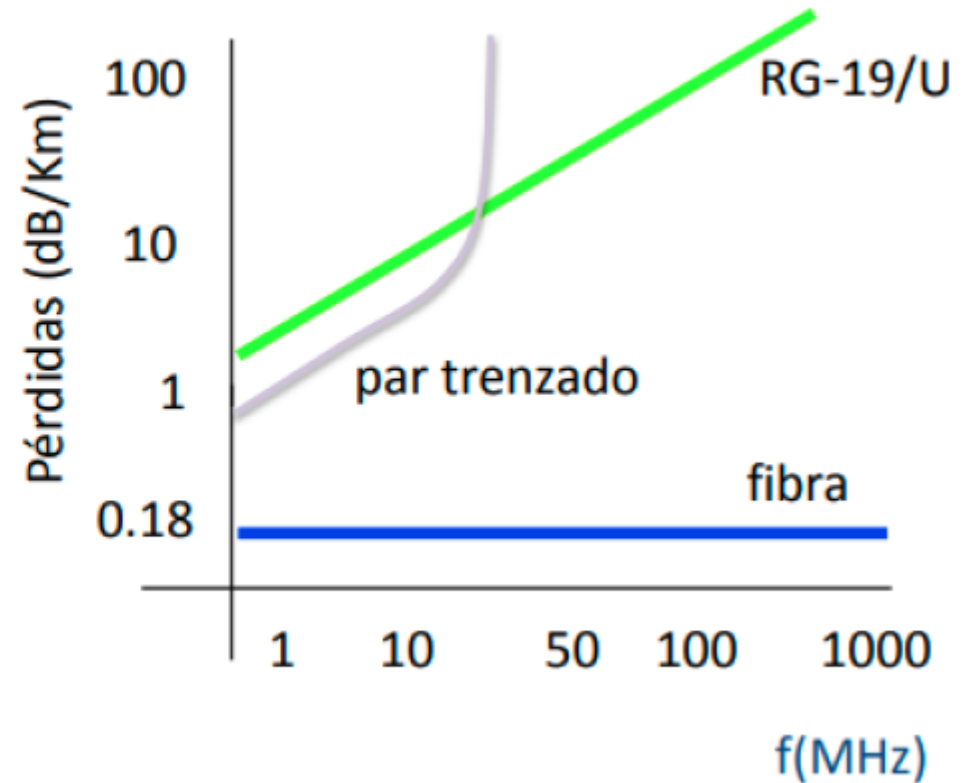
Gran Capacidad
(100 THz.Km/fibra)
Transparente al formato de
Señal/servicio



Ventajas FO

Baja pérdida de señal a largas distancias

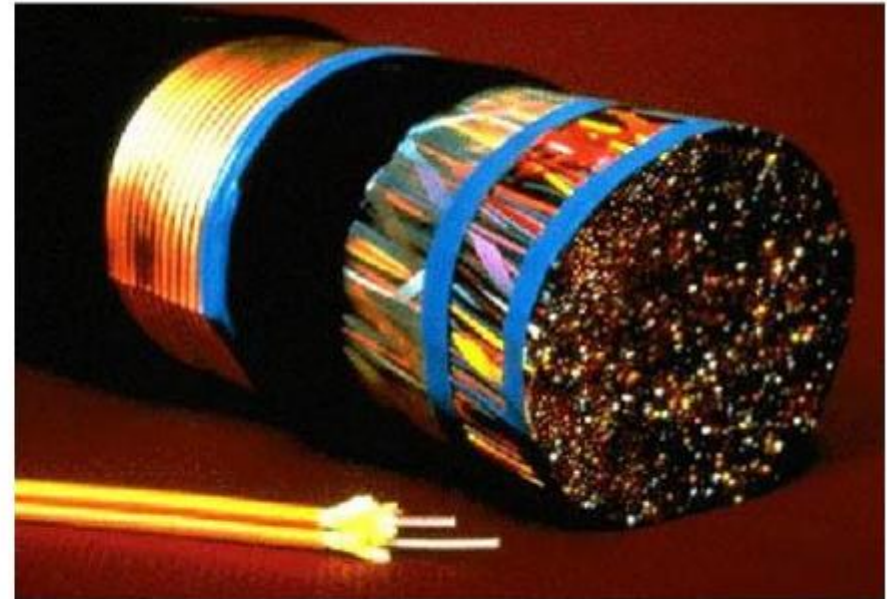
Bajas Pérdidas (0.17 dB/Km)
prácticamente constantes
con la frecuencia



Ventajas FO

Tamaño

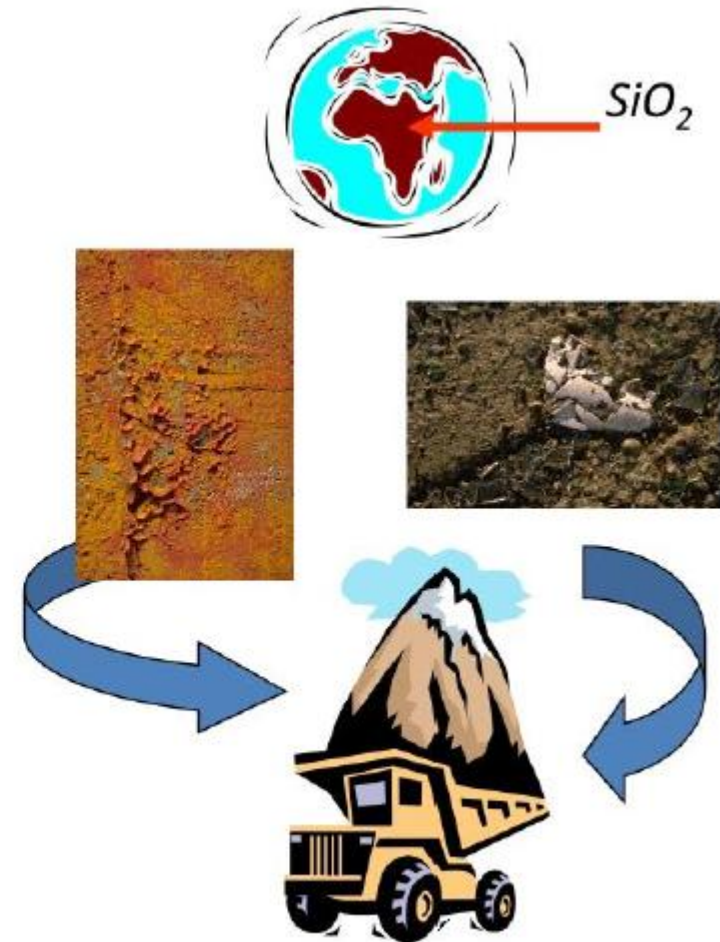
Tamaño y peso reducidos



Ventajas FO

Construcción

Material base muy abundante



Ventajas FO

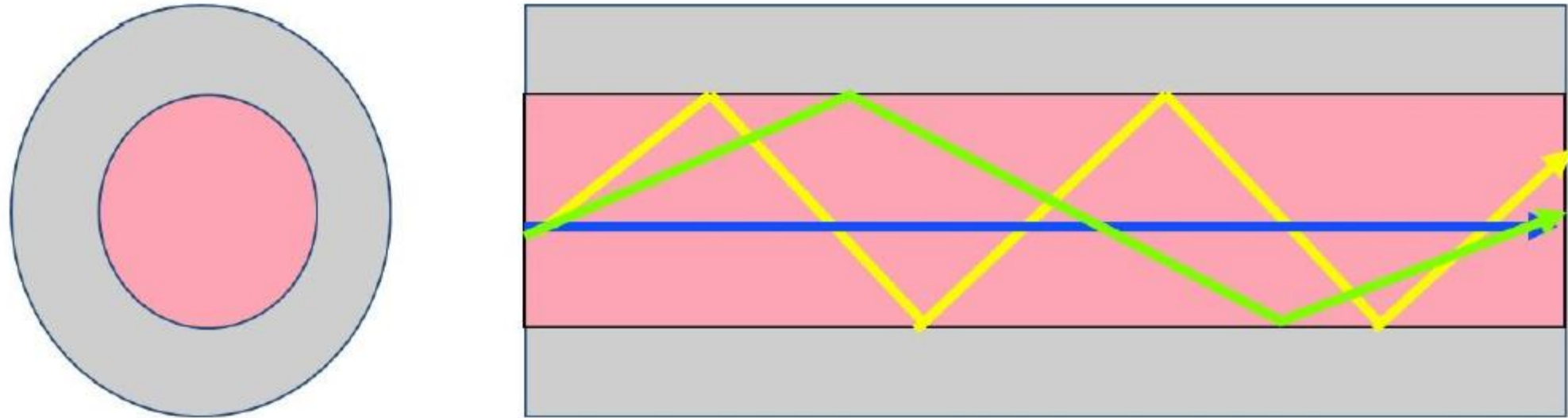
Resistencia a las interferencias electromagnéticas

Las fibras ópticas son inmunes a las interferencias electromagnéticas, a diferencia de los cables de cobre. Por lo tanto, las fibras ópticas se utilizan a menudo en entornos donde hay un alto riesgo de interferencias electromagnéticas, como en cercanías de campos electromagnéticos fuertes o en entornos industriales.

Inmunes a EMI y EMP
Aislantes eléctricos

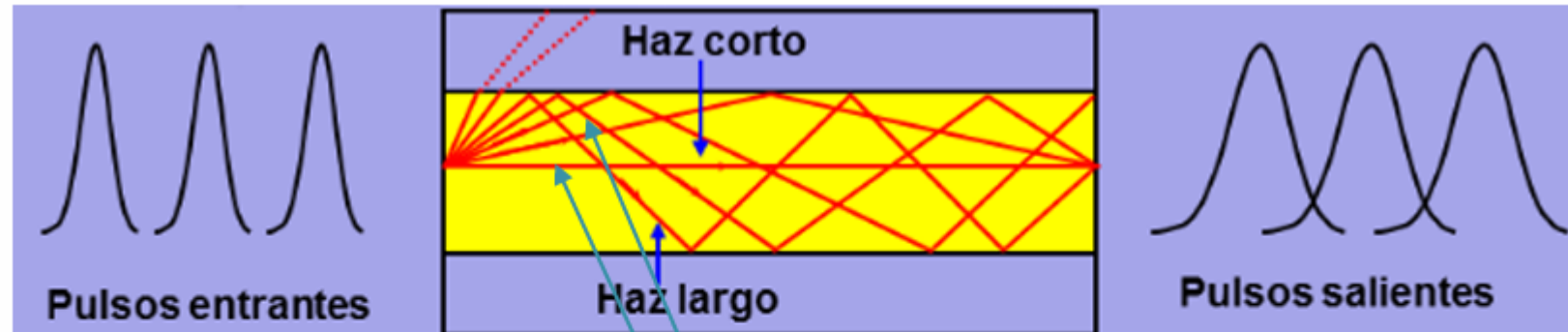


Guiado y Propagación



Cada rayo guiado con un ángulo de inclinación diferente se denomina MODO

Guiado y Propagación



✓ Coeficiente V :

$$V = \frac{2\Pi}{\lambda} a \sqrt{\eta_1^2 - \eta_2^2}$$

a = Radio Core

η_1 = Índice refracción Core

η_2 = Índice refracción Cladding

λ = Longitud onda transitando x FO.

✓ Empíricamente:

$V > 2.405$ mas de un modo de propagación

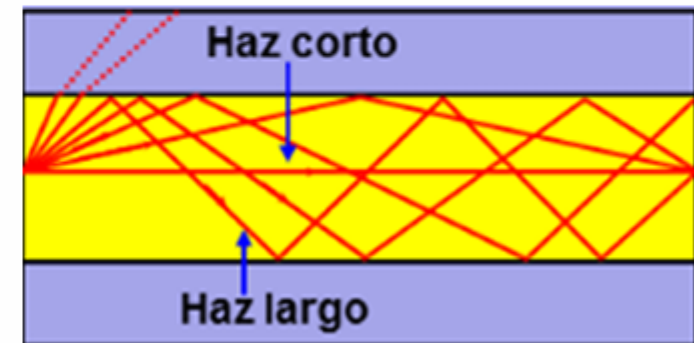
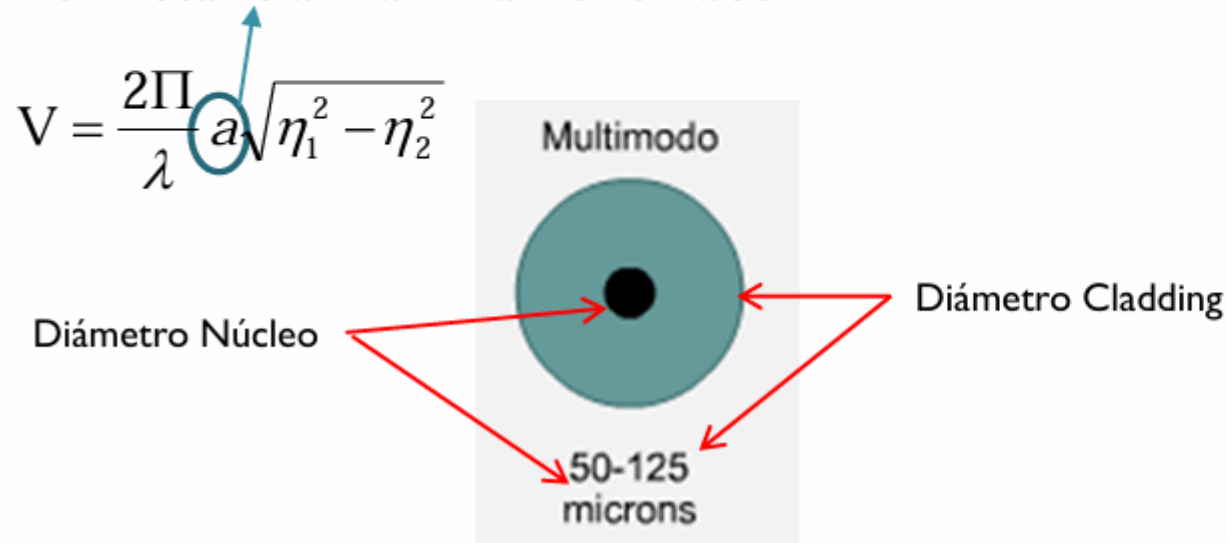
$V < 2.405$ un modo de propagación

$$\lambda_c = \frac{2\Pi}{\sim 2.405} a \sqrt{\eta_1^2 - \eta_2^2}$$

Guiado y Propagación

- **Fibras Multimodo – MMF (Multi Mode Fiber).**

Son aquellas que, por su proceso de fabricación mas económico con un diámetro del núcleo de 50 µm (valor alto -> $V > 2.405$), la propagación en el medio óptico se realiza en "varios modos", lo que significa una importante limitación a la hora del distancia máxima del enlace.

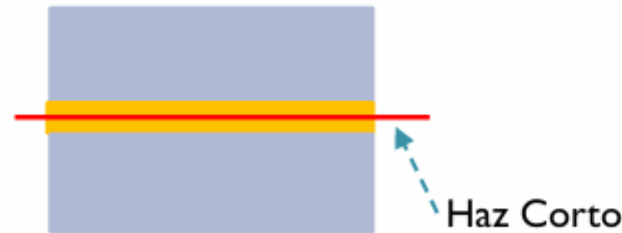
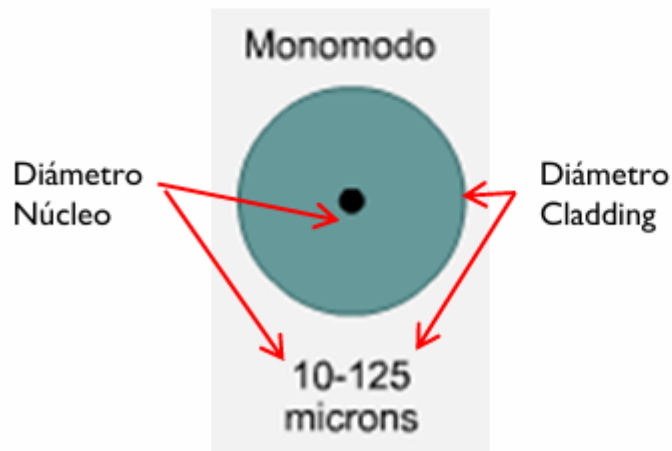


- Rec. ITU-T 651.1

Guiado y Propagación

- **Fibras Monomodo – SMF (Single Mode Fiber)**

Son aquellas fibras estandarizadas por el ITU-T como Fibras single mode o monomodo – SMF – que, por su proceso de fabricación con un diámetro del núcleo del orden de 10 μm , pueden lograr "un solo modo de propagación" en el medio óptico siempre y cuando la longitud de onda de operación del diodo emisor este por encima de la longitud de corte (λ_c).

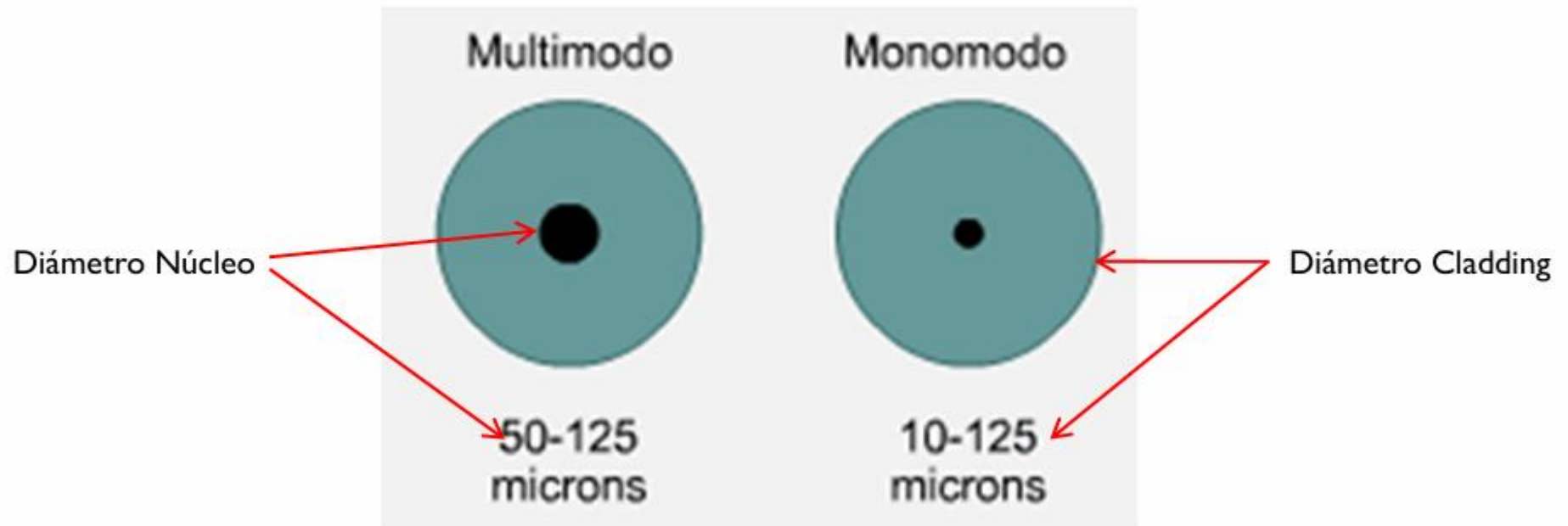


$$\lambda = \frac{2\Pi}{\leq 2.405} a \sqrt{\eta_1^2 - \eta_2^2}$$

- Rec. ITU-T 652
- Rec. ITU-T 653
- Rec. ITU-T 655

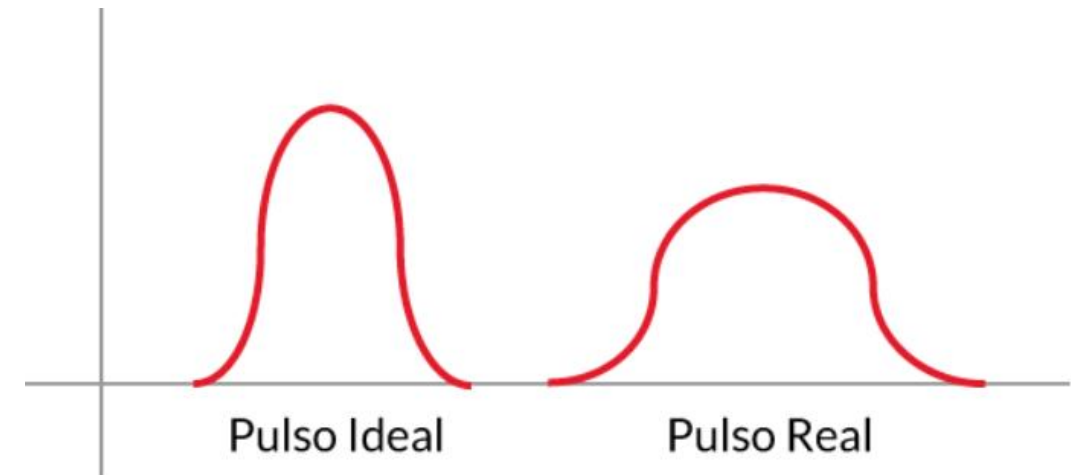
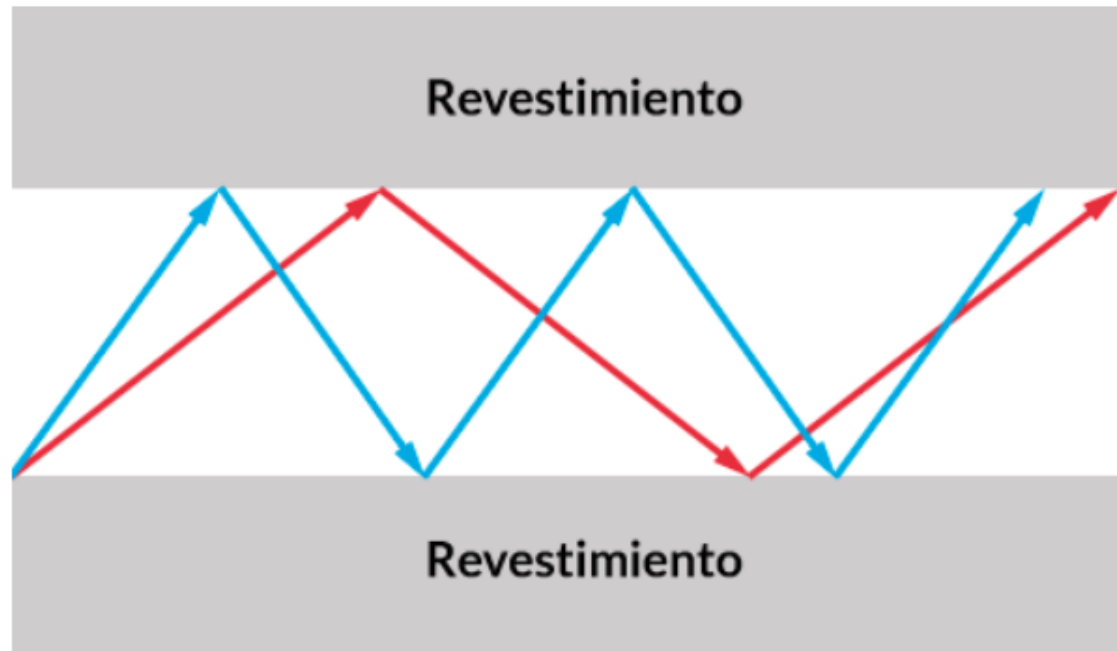
Comparativa

- ***Comparativa Física MMF vs SMF***

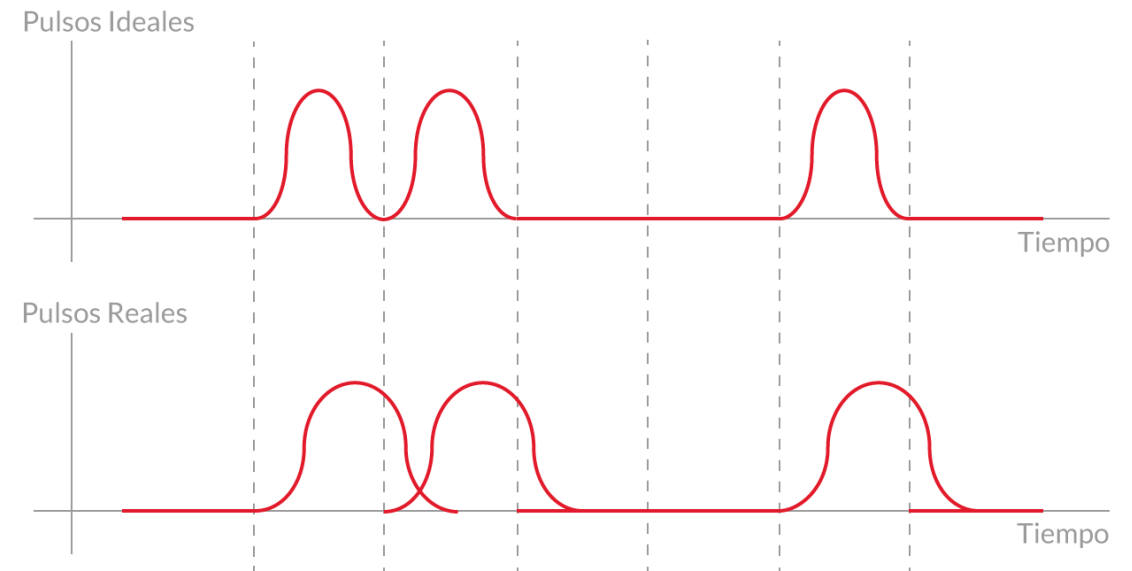
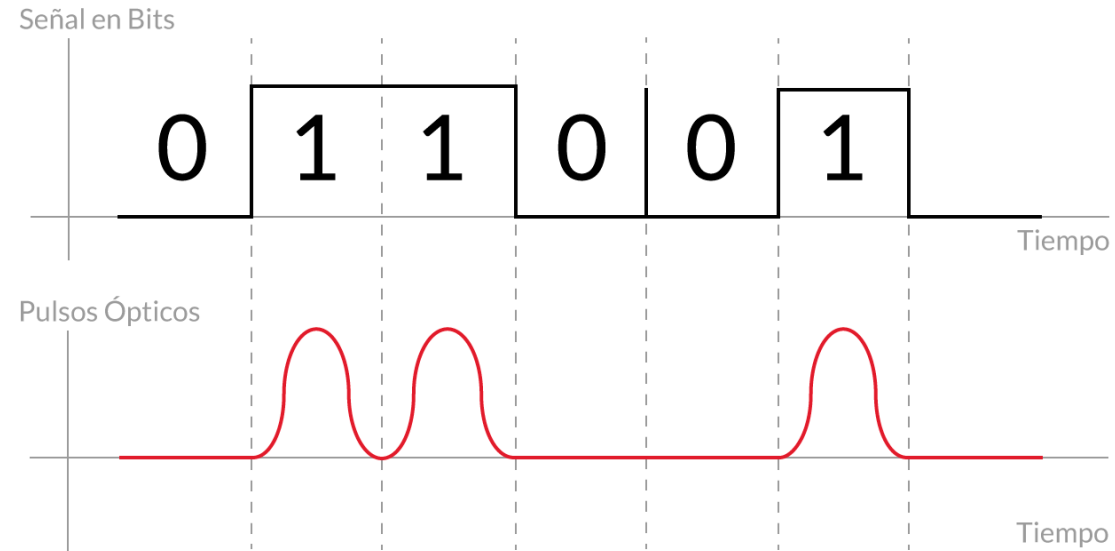


Dispersión modal

Es un fenómeno que afecta a la comunicación por fibra óptica con fibras multimodo. Debido a cómo viajan los rayos de luz por la fibra, se produce un retardo en la transmisión de la señal, que genera una reducción o limitación del **ancho de banda** o **distancia de transmisión**.

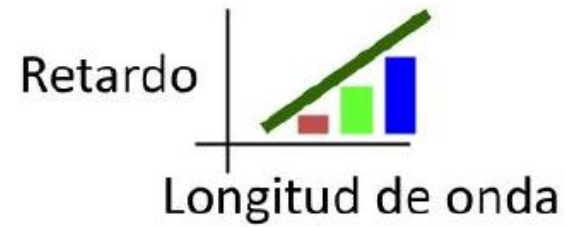


Dispersión modal

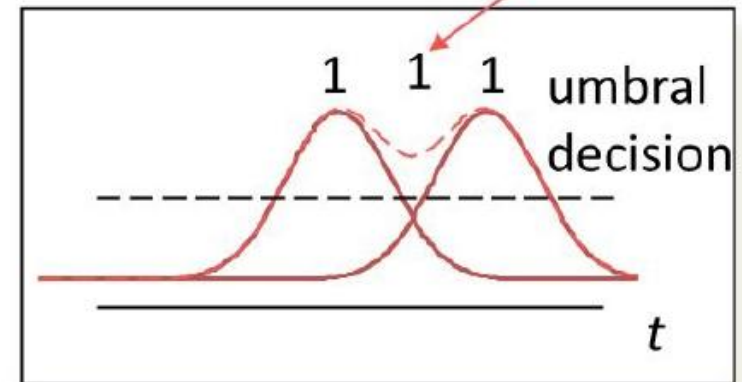
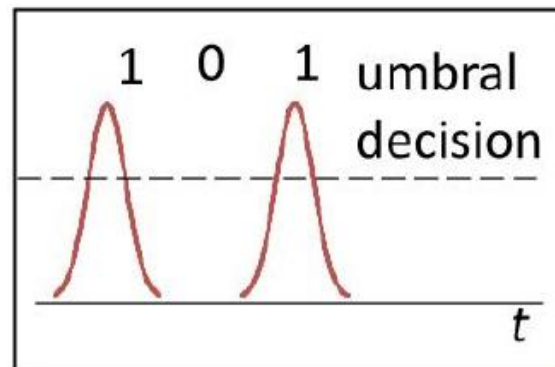


Transmisión

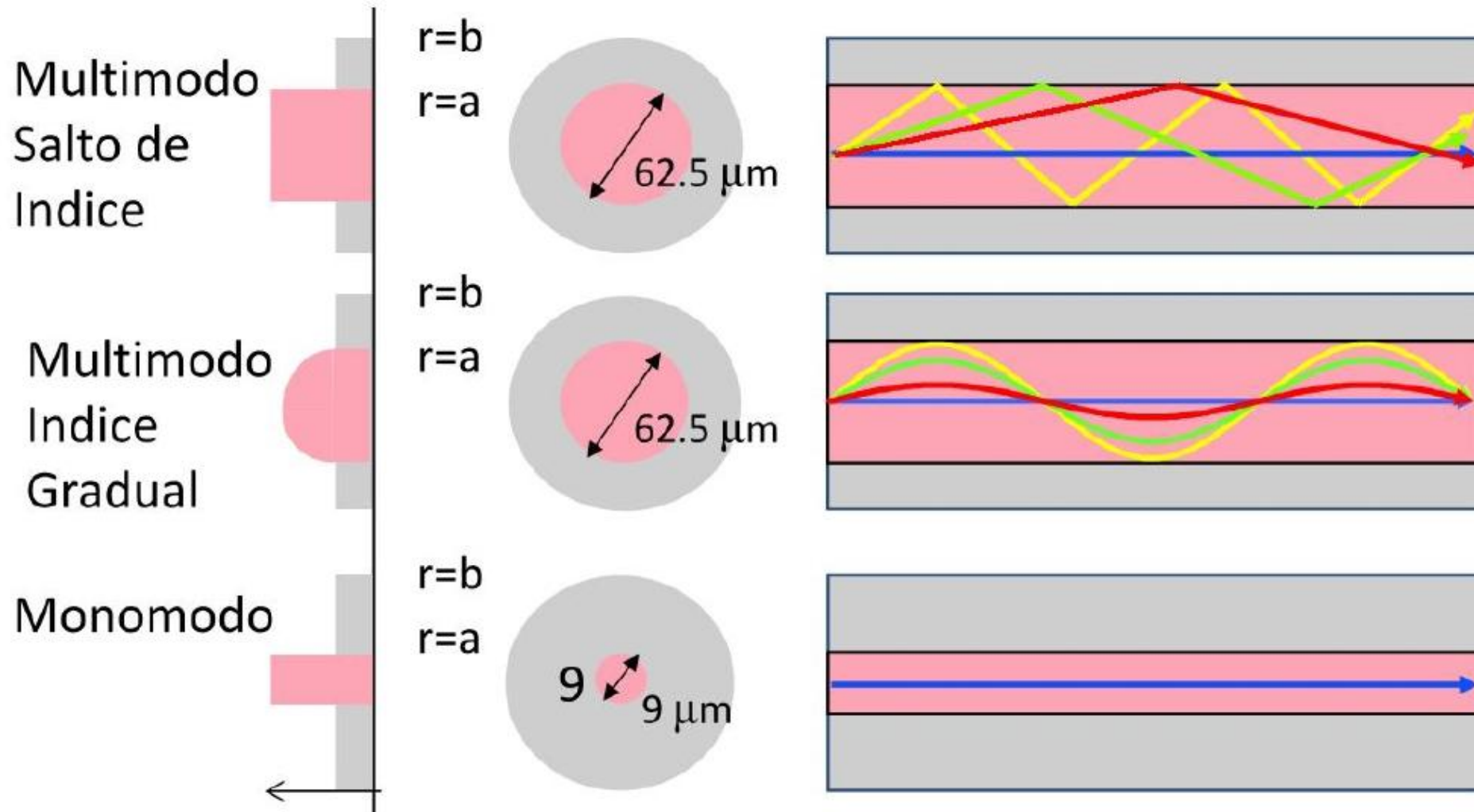
Dispersión Cromática



ERROR!



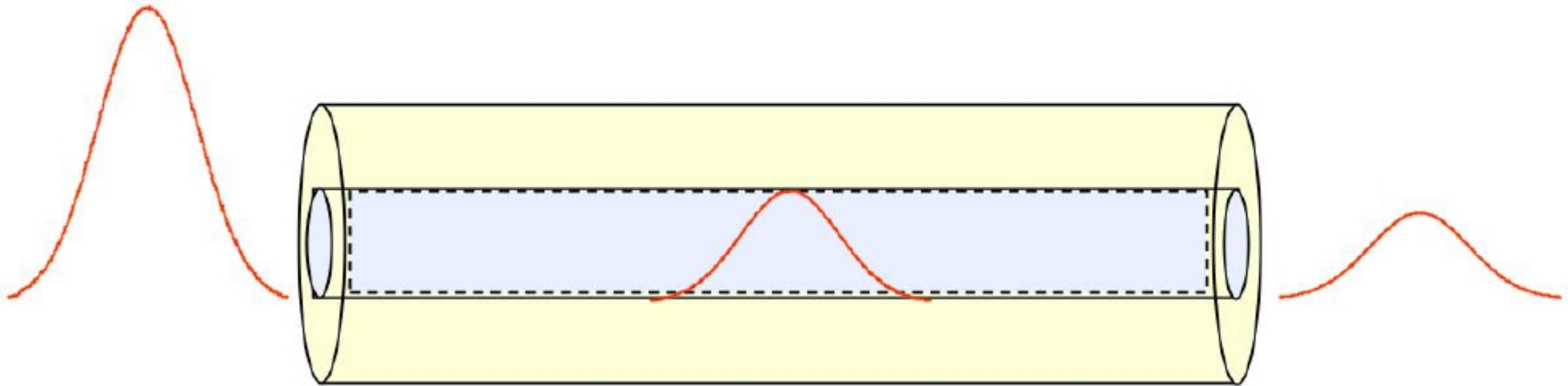
Comparativa



Índice de Refracción

Transmisión

Atenuación



La atenuación es cualquier tipo de fenómeno que causa la disminución de la potencia de la señal propagada, pero no afecta su forma

Transmisión

$$\frac{dP}{dz} = -\alpha_T P \Rightarrow \frac{dP}{P} = -\alpha_T dz \Rightarrow \ln(P) \Big|_{P_e}^{P_s} = -\alpha_T z \Big|_0^L$$

$$P_s = P_e e^{-\alpha_T L}$$

