

[jrgbish@hotmail.com](mailto:jrgbish@hotmail.com)

# CURSO FTTH

## Comunicaciones Ópticas

# Comunicaciones Ópticas

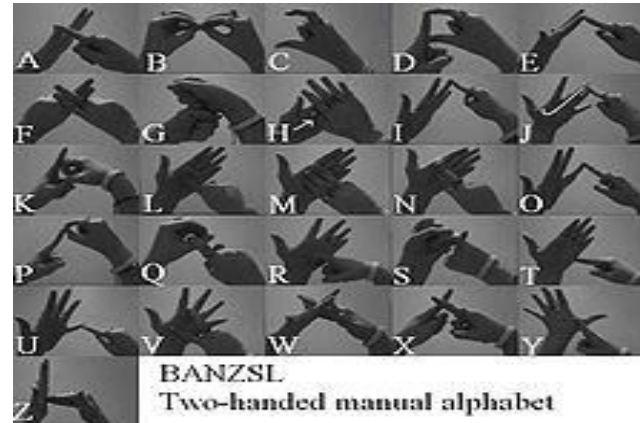


Andina  
LINK virtual.com

- Las comunicaciones ópticas son todas aquellas que utilizan a la luz como medio de transmisión.
- Un sistema óptico de comunicación consiste de:
  - Transmisor
  - Canal de Comunicación
  - Receptor
- El transmisor codifica el mensaje dentro de una señal óptica.
- El canal de comunicación que transporta la señal óptica desde el transmisor hasta el punto de recepción.
- El receptor es el encargado de recibir y decodificar el mensaje

# Formas no Tecnológicas

- Las formas “no tecnológicas” de comunicación óptica son :
  - Lenguaje corporal
  - Lenguaje gestual
  - Lenguaje de Sordomudos



# Formas Tecnológicas

- Las primeras formas tecnológicas fueron:
  - Señales de humo y hogueras
  - Banderas de Señales
  - Telégrafo Óptico
  - Señalización Luminosa de Tráfico (semáforos)



# Enlaces en Espacio Libre

- En este caso el medio de comunicación es el aire o espacio libre.
- Se utilizan como accesos de ultima milla.
- Tienen un corto alcance. Típicamente 1 a 2 Km.
- El transmisor o fuente de luz es un laser, emite un rayo de luz muy concentrado .
- Se requiere línea de vista entre Tx y Rx.

OPTICAL  
WIRELESS



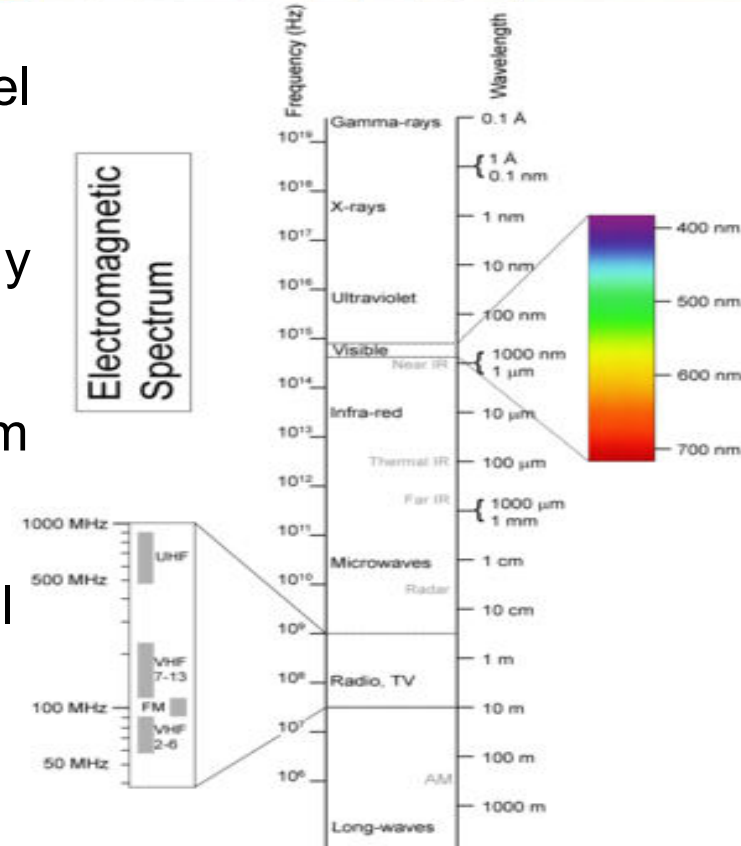
# Enlaces de Fibra Óptica

- En este caso el rayo de luz viaja dentro de cables especiales de “Fibra Óptica”.
- Toda la energía luminosa se mantiene en el interior de la fibra y puede viajar grandes distancias.
- Permite saltos sin amplificación ni regeneración de 120 Km



# Espectro Electromagnético

- La luz ocupa un segmento reducido dentro del espectro electromagnético.
- El espectro óptico se sitúa entre los rayos-X y las micro-ondas .
- Para longitudes de onda mayores que 780 nm tenemos el segmento infra-rojo
- Para las menores a 380 nm le corresponde el segmento ultravioleta.



# Espectro Electromagnético



Banda	Longitud de onda (m)	Frecuencia (Hz)	Energía (J)
Rayos gamma	< 10 pm	> 30,0 EHz	> 20·10 <sup>-15</sup> J
Rayos X	< 10 nm	> 30,0 PHz	> 20·10 <sup>-18</sup> J
Ultravioleta extremo	< 200 nm	> 1,5 PHz	> 993·10 <sup>-21</sup> J
Ultravioleta cercano	< 380 nm	> 789 THz	> 523·10 <sup>-21</sup> J
Luz Visible	< 780 nm	> 384 THz	> 255·10 <sup>-21</sup> J
Infrarrojo cercano	< 2,5 μm	> 120 THz	> 79·10 <sup>-21</sup> J
Infrarrojo medio	< 50 μm	> 6,00 THz	> 4·10 <sup>-21</sup> J
Infrarrojo lejano/submilimétrico	< 1 mm	> 300 GHz	> 200·10 <sup>-24</sup> J
Microondas	< 30 cm	> 1 GHz	> 2·10 <sup>-24</sup> J
Ultra Alta Frecuencia - Radio	< 1 m	> 300 MHz	> 19.8·10 <sup>-26</sup> J
Muy Alta Frecuencia - Radio	< 10 m	> 30 MHz	> 19.8·10 <sup>-28</sup> J
Onda Corta - Radio	< 180 m	> 1,7 MHz	> 11.22·10 <sup>-28</sup> J
Onda Media - Radio	< 650 m	> 650 kHz	> 42.9·10 <sup>-29</sup> J
Onda Larga - Radio	< 10 km	> 30 kHz	> 19.8·10 <sup>-30</sup> J
Muy Baja Frecuencia - Radio	> 10 km	< 30 kHz	< 19.8·10 <sup>-30</sup> J



# Frecuencia y Longitud de Onda

- La naturaleza de toda radiación electromagnética permite analizarla como el movimiento de fotones o bien de ondas que se propagan viajando a la **velocidad de la luz:  $c = 300.000 \text{ Km/seg}$ .**
- Según la parte del espectro resultará mas familiar trabajar con la **frecuencia de la radiación, energía del fotón o con longitud de onda**
- La longitud de onda y la frecuencia están relacionadas por:  
**velocidad = longitud de onda x frecuencia**

- Muy pocas de las personas que trabajan con fibra óptica utilizan el concepto de la **«Energía del Fotón»**.
- La **«Ley de Plank»** vincula la energía del fotón con la longitud de onda:  
 **$E = \text{Energía del Fotón} = h \times \text{frecuencia}$**   
Siendo :  $h = \text{Constante de Plank}$
- En el caso de la luz es más práctico trabajar con la longitud de onda y en ese caso resulta:  
 **$E \text{ (eV)} = \text{Energía del Fotón en Electrón Volt} =$**   
 **$= 1.2406 / \text{longitud de onda (um)}$**

# Índice de Refracción



- El Índice de Refracción es el parámetro óptico mas importante que permite caracterizar un medio o material.
- El Índice de Refracción es un número adimensional que expresa la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en un medio determinado.
- La velocidad de la luz en cualquier medio siempre resulta menor que en el vacío.
- En la práctica usualmente se toma como referencia la velocidad de la luz en el aire en vez de en el vacío.

# Índices de Refracción

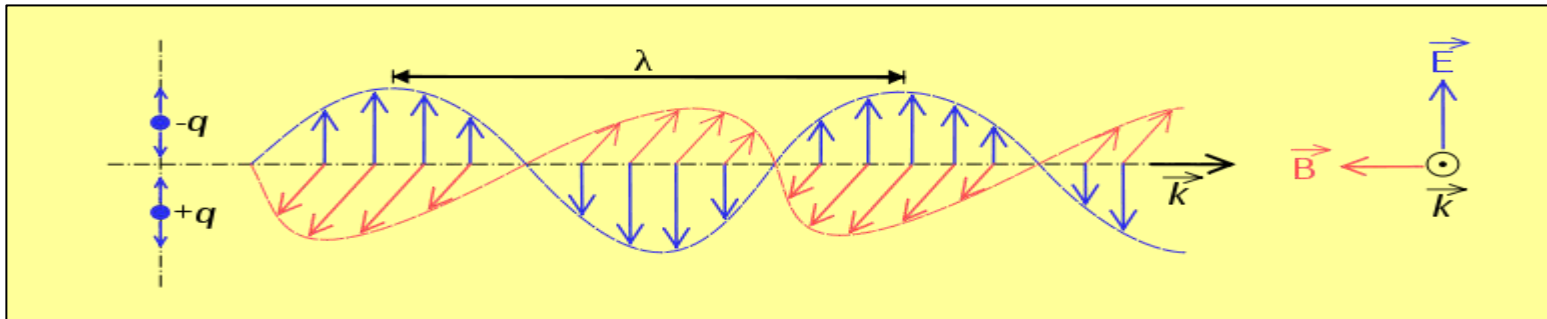
Material	Índice de Refracción	Velocidad m/seg
Vacío	1	299792458
Aire	1,00029	299705543
Dióxido de carbono	1,0004	299672589
Hielo	1,31	228849205
Agua (a 20° C)	1,333	224748825
Acetona	1,36	220435631
Alcohol etílico	1,36	220435631
Solución de azúcar (30%)	1,38	217240912
Fluorita	1,434	209060291
Glicerina	1,473	203525090
Benceno	1,501	199728486
Solución de azúcar (80%)	1,52	197231880
Cuarzo	1,544	194166099
Rubí	1,767	169661832
Diamante	2,417	124034943

# Prefijos Sistema Métrico

$1000^n$	$10^n$	Prefijo	Símbolo	Escala Corta	Equivalencia decimal
$1000^4$	$10^{12}$	tera	T	Trillón	1 000 000 000 000
$1000^3$	$10^9$	giga	G	Billón	1 000 000 000
$1000^2$	$10^6$	mega	M	Millón	1 000 000
$1000^1$	$10^3$	kilo	k	Mil / Millar	1 000
$1000^{2/3}$	$10^2$	hecto	h	Cien / Centena	100
$1000^{1/3}$	$10^1$	deca	da	Diez / Decena	10
$1000^0$	$10^0$	ninguno		Uno / Unidad	1
$1000^{-1/3}$	$10^{-1}$	deci	d	Décimo	0,1
$1000^{-2/3}$	$10^{-2}$	centi	c	Centésimo	0,01
$1000^{-1}$	$10^{-3}$	mili	m	Milésimo	0,001
$1000^{-2}$	$10^{-6}$	micro	$\mu$	Millonésimo	0,000 001
$1000^{-3}$	$10^{-9}$	nano	n	Billonésimo	0,000 000 001
$1000^{-4}$	$10^{-12}$	pico	p	Trillonésimo	0,000 000 000 001

# Características de la Luz

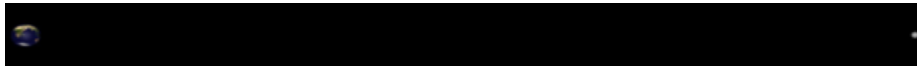
- Podemos considerar a la luz como una forma de radiación electromagnética caracterizada por:
  - Amplitud
  - Período
  - Frecuencia
  - Longitud de Onda
  - Velocidad de Propagación





# Velocidad de Propagación

- La luz se propaga en el vacío a una velocidad de 300.000 Km/seg
- El índice de refracción expresa la relación entre la velocidad de propagación en el vacío respecto a la velocidad en un medio dado .
- El índice de refracción del aire a temperatura ambiente es de 1.00029



# Reflexión y Refracción

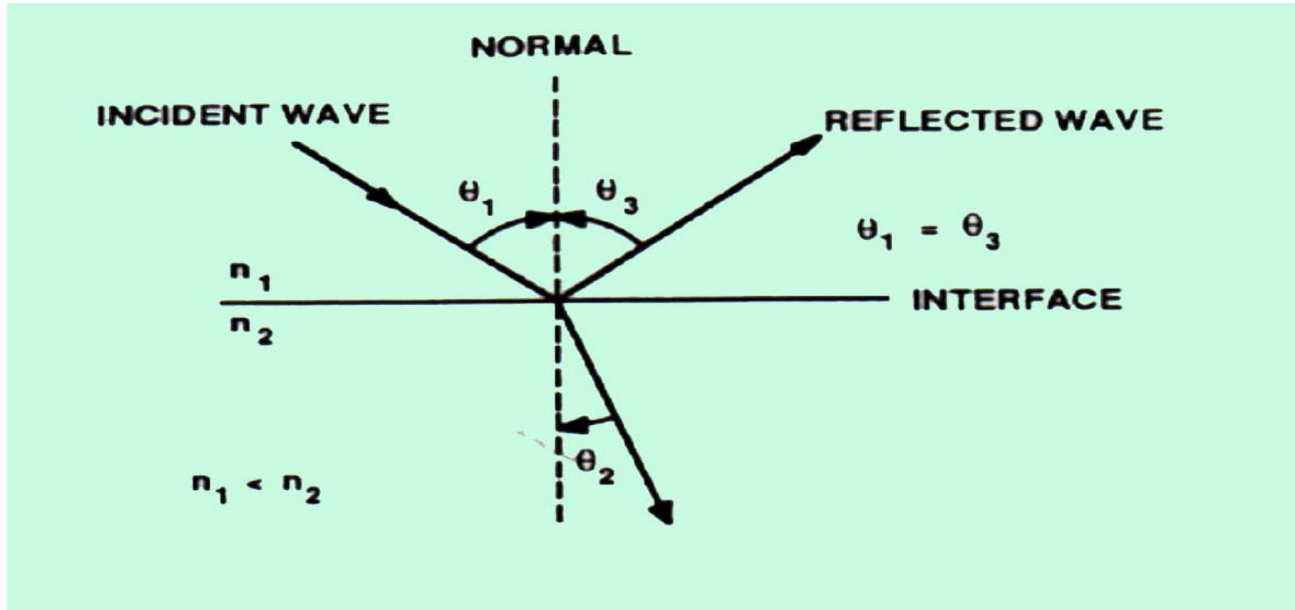


- Cuando un rayo de luz incide sobre la superficie de separación entre dos medios una parte de la energía se refleja mientras otra parte se refracta.
- La energía “reflejada” es un rayo que vuelve al mismo medio de origen formando un ángulo igual al del rayo incidente.
- La energía refractada es un rayo que penetra al segundo medio pero con un cambio de ángulo.
- Si el índice de refracción del segundo medio es mayor entonces ángulo del rayo refractado resultará menor.
- La ley de Snell define el fenómeno de la “Refracción”



# Reflexión & Refracción

Ley de Snell :  $n_1 \cdot \text{sen } q_1 = n_2 \cdot \text{sen } q_2$



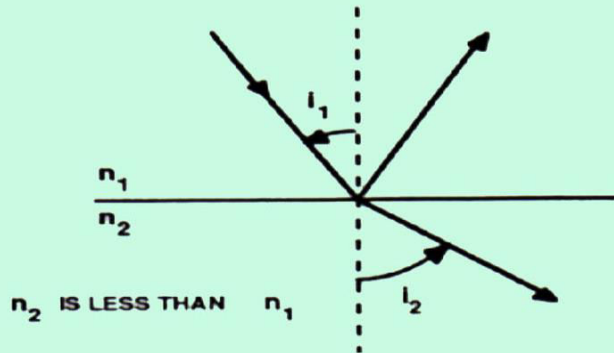
# Reflexión Parcial y Total



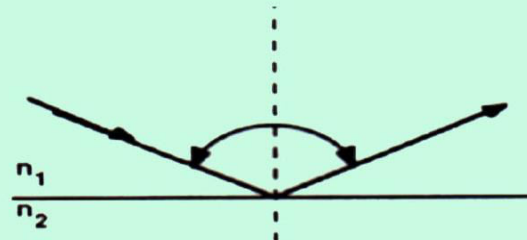
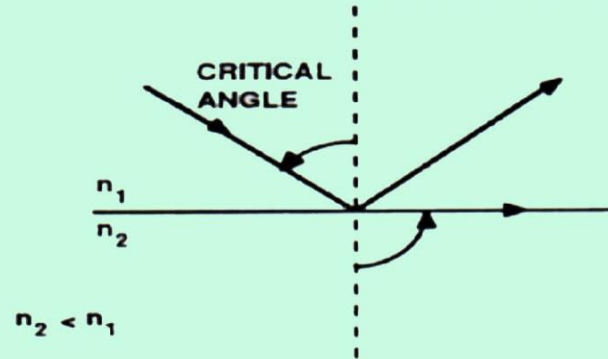
- Contrariamente al caso anterior, supongamos un rayo que pasa de un medio con un índice de refracción  $n_1$  a otro con un índice de refracción  $n_2$ , siendo  $n_2$  menor que  $n_1$ .
- El rayo refractado formara con la perpendicular a la superficie de separación un ángulo mayor que el incidente.
- Si vamos aumentando el ángulo incidente llegaremos a un punto donde el rayo refractado pasa por la superficie de separación de los dos medios  
→ **ángulo crítico.**
- A partir del ángulo crítico si continuamos aumentando el ángulo incidente tendremos “Reflexión Total”

# Reflexión Parcial & Total

LIGHT BENT AWAY FROM NORMAL

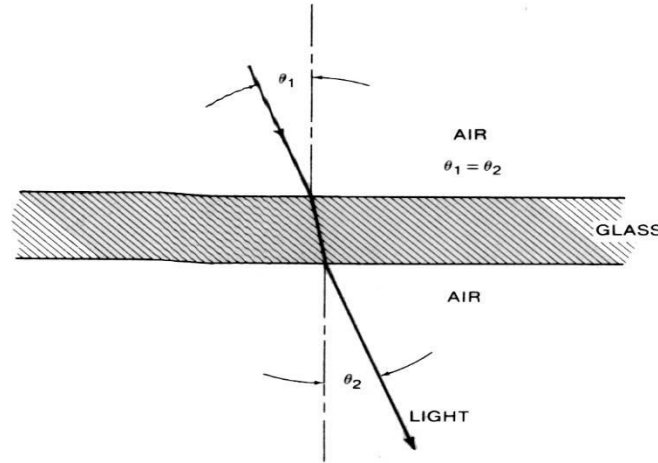


LIGHT DOES NOT ENTER SECOND MEDIUM



TOTAL INTERNAL REFLECTION

# Refracción en una Ventana

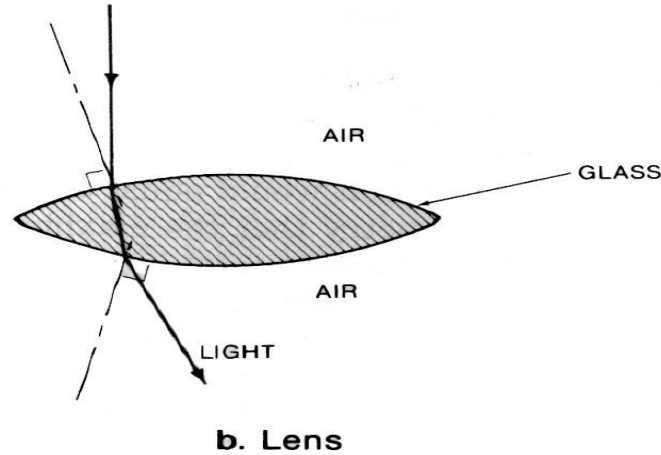


a. Window

El rayo de luz que atraviesa el cristal de una ventana sufre dos refracciones, una al entrar y otra al salir.

Sin embargo el ángulo de entrada es igual al de salida

# Refracción en una Lente



En un rayo de luz que atraviesa una lente el ángulo de entrada resulta diferente del ángulo de salida.

# Dispersión

- Cuando el rayo de luz atraviesa partículas cuyas dimensiones son mucho menores que su longitud de onda este se refleja en forma difusa e irregular.
- La dispersión permite ver la trayectoria de un rayo de luz en un ambiente que tiene partículas de polvo en suspensión o una atmosfera con neblina (gotas de agua en suspensión).

Ejemplo:

Puntero laser

Reflectores



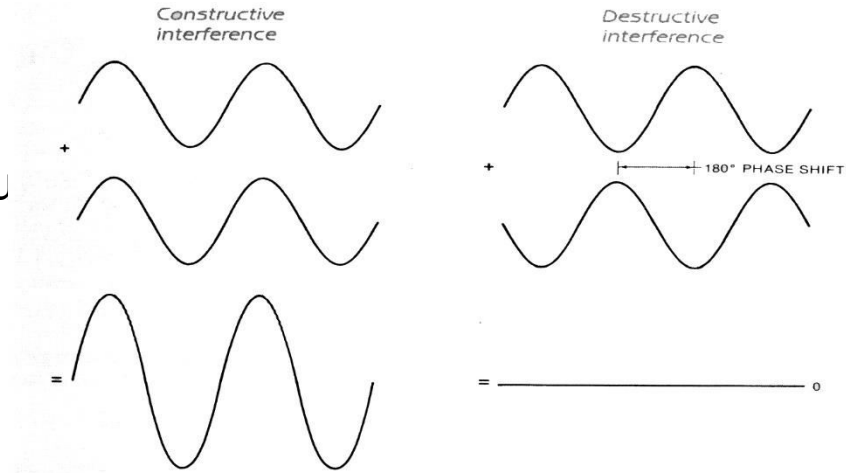
# Absorción



- Las moléculas de aire absorben la luz y provocan atenuación sobre el rayo luminoso.
- La absorción depende de la longitud de onda.
- El ozono atenúa la radiación ultravioleta UV pero deja pasar la luz visible (por eso el agujero de la capa de ozono deja pasar la radiación UV perjudicial para el ser humano)
- Las longitudes de onda donde la luz sufre menor atenuación se las llama ventanas de la atmósfera
- Hay dos ventanas:
  - 1.- Entre 3 y 4  $\mu\text{m}$
  - 2.- Entre 8 y 12  $\mu\text{m}$

# Interferencia Óptica

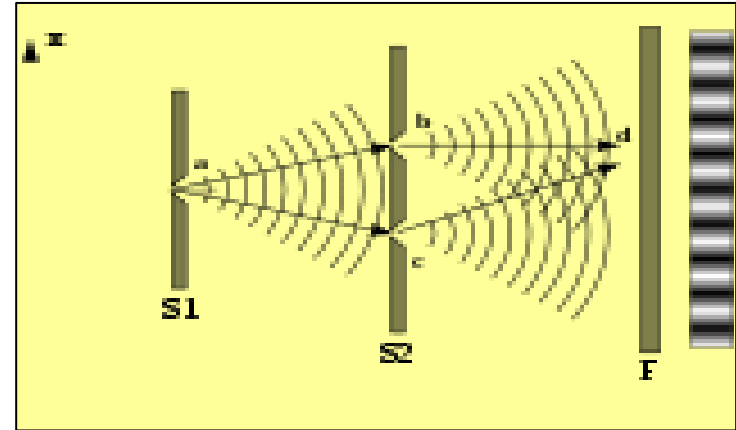
- Normalmente tenemos tantas ondas luminosas presentes que es difícil ver la interferencia óptica.
- Si tenemos dos ondas luminosas idénticas que arriban a un punto, las diferencias de fase entre las mismas puede hacer que estas se sumen o resten.





# Interferencia Óptica

- La forma mas simple de visualizar la interferencia es el experimento de Young.
- Se hace incidir la luz monocromática sobre una pantalla con un orificio muy pequeño lo cual genera un frente de onda.
- Se interpone una segunda pantalla con dos orificios
- Sobre una tercer pantalla se visualizaran anillos claros y oscuros producto de la interferencia



# Polarización

- La luz tiene polarización circular, o sea que puede descomponerse en una componente con polarización vertical y otra horizontal.
- Cristales especiales permiten filtrar una de las dos polarizaciones convirtiéndola en polarización lineal.
- Esta propiedad permite construir lentes para conducir que eliminan reflexiones indeseadas.
- Esto mismo fenómeno también se aplica para lograr efectos tridimensionales en la cinematografía. Se genera una imagen independiente para cada ojo las cuales luego se separan utilizando el lente adecuado.



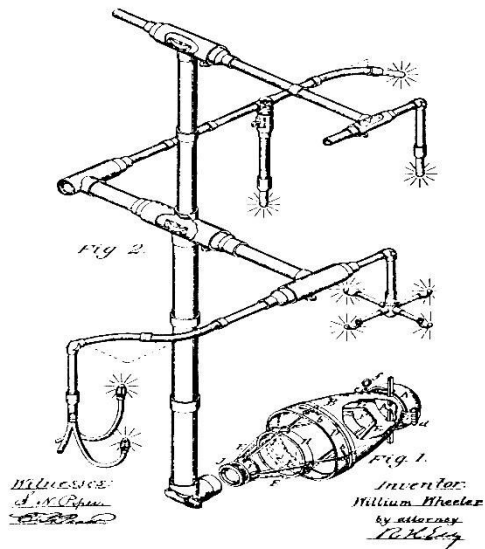
# Que es la Fibra Óptica



- El cable de Fibra Óptica es un cable muy delgado de vidrio o de plástico que en determinadas condiciones de excitación puede transmitir un haz de luz.
- En realidad se requieren dos materiales de diferente índice de refracción pues la propagación de la luz se basa en la reflexión total en el interior de la fibra.
- La investigación comenzó en los años 70 en laboratorios de Corning, Bell Labs, ITT UK, etc.

# Evolución Fibra Óptica

(No Model.)  
W. WHEELER.  
APPARATUS FOR LIGHTING DWELLINGS OR OTHER STRUCTURES.  
No. 247,229. Patented Sept. 20, 1881.



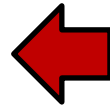
La idea de poder transportar la luz a distancia es muy antigua.

En 1880 el Ing William Wheeler patentó un sistema de **«cañerías ópticas»** para transportar la luz dentro de la casa.

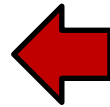
En los años 50 descubren que una fibra de vidrio de dos capas puede transportar la luz.

Recién cuando se pudo reducir la atenuación a valores razonables comenzó a utilizarse en telecomunicaciones

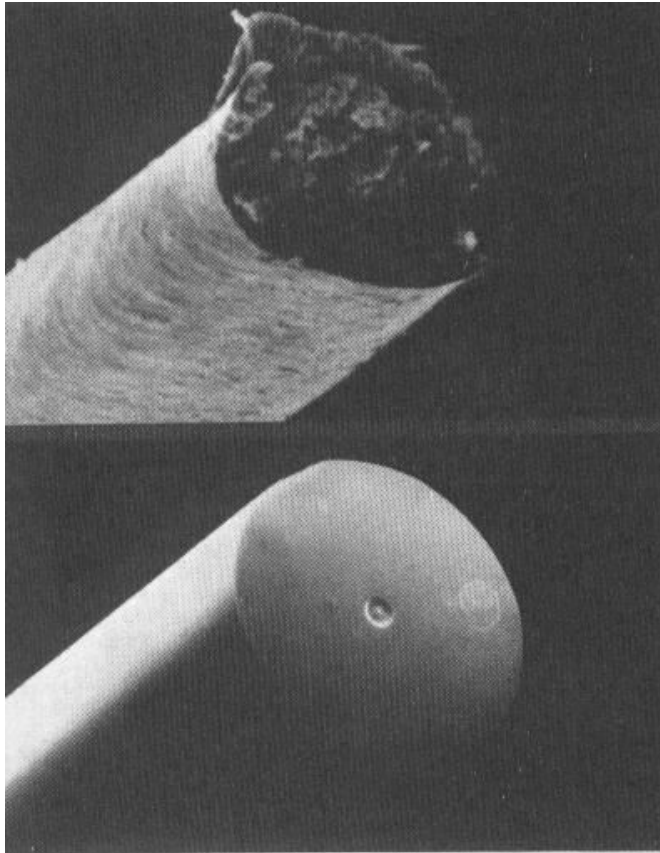
## Comparación Fibra Óptica & Cabello Humano



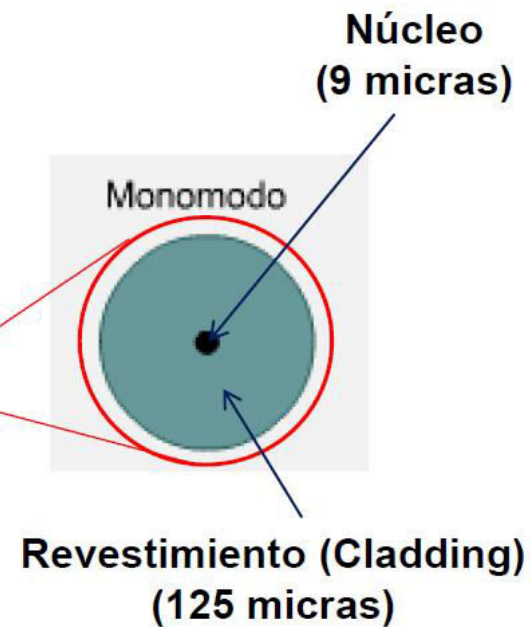
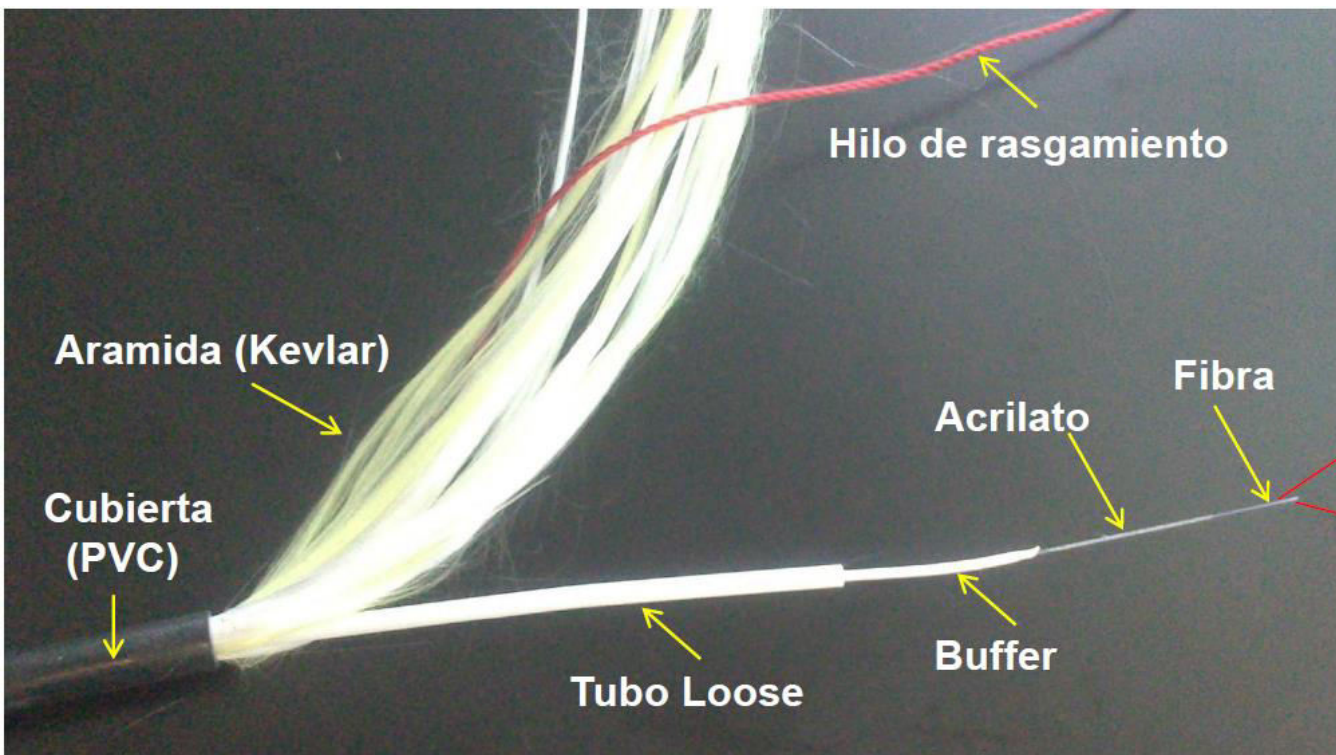
Cabello humano  
(diámetro medio: 80  $\mu\text{m}$ )



Fibra Óptica  
(diámetro exterior: 125  $\mu\text{m}$ )



# Cables de Fibra Óptica



# Porque usamos Fibra Óptica



- Insensible a campos eléctricos y magnéticos  
La señal se transmite en forma de paquetes de energía llamados “fotones”.
- Toda la energía queda confinada al interior de la fibra.  
No existe irradiación ni interferencia entre distintas fibras del mismo cable ( no se produce cross-talk)
- Peso reducido (muy liviana)
- Baja atenuación (permite saltos de mas de 100 km sin amplificación ni regeneración)
- Gran capacidad de transmisión  
(cientos de Gbps por una simple fibra utilizando DWDM)

# Quienes Utilizan Fibra Óptica



- A mediados de los años 80 la FO reemplazaba los grandes troncales de cobre de las Telcos sustituyendo también enlaces de micro-onda y satelitales.
- Computadoras & Redes de datos comenzaron a utilizar la FO al mismo tiempo que las Telcos.
- Los sistemas de CATV introducen la fibra en los 90 para actualizar sus redes a mayor ancho de banda y mejorar su confiabilidad.
- También utilizada en sistemas de control industrial por su inmunidad al ruido, además por la industria automotriz y aeronáutica



Gracias por su Atención !

[jrgbish@hotmail.com](mailto:jrgbish@hotmail.com)

