

# Fibra Óptica

Transmisión de datos por pulsos de luz:

“1” = luz

“0” = no luz

Frecuencias 1 E14 Hz (850 nm, 1310 nm, 1550 nm).

Gran capacidad en ancho de banda (Gbps).

Ligera y de tamaño reducido.

Poca atenuación

Inmune a la interferencia electromagnética.

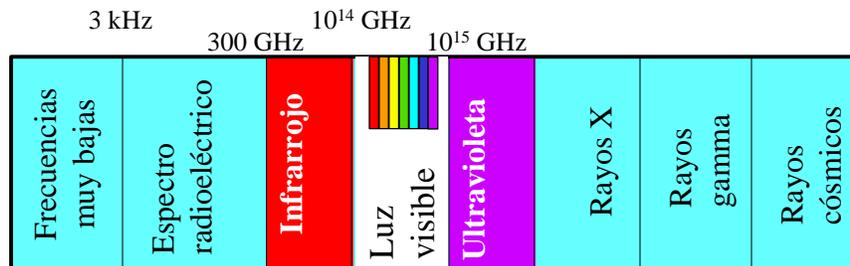


Constantino Carlos Reyes Aldasoro

**ITAM**

# Espectro electromagnético

- Las fibras ópticas trabajan en la región del espectro en infrarrojo y luz visible.
- Por las altas frecuencias se utiliza la longitud de onda en lugar de la frecuencia.



Constantino Carlos Reyes Aldasoro

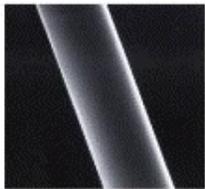
**ITAM**

## Longitud de onda e índice de refracción

- La longitud de onda está dada por la relación entre velocidad de propagación y frecuencia, para  $1 * 10^{15}$  Hz:
  - $\lambda = c / f \quad \lambda = 3 * 10^8 / 1 * 10^{15} = 3 * 10^{-7} = 0.3 \mu\text{m} = 300 \text{ nm}$
- El índice de refracción está dado por la relación de velocidad de propagación en el medio y el espacio libre.
  - $n = c/u_p = \sqrt{\epsilon_p}$

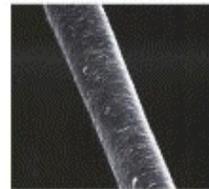
Constantino Carlos Reyes Aldasoro

**ITAM**



100  $\mu\text{m}$

## Ventajas y desventajas



100  $\mu\text{m}$

- Alta capacidad de transmisión
- Baja atenuación
- Inmunidad al ruido electromagnético
- Cables ligeros y flexibles
- Seguridad
- Se puede evolucionar en equipo sin cambiar fibras.
- Costo elevado (aunque se va reduciendo) tanto la fibra como el equipo.
- Empalmes y conectores más caros y complicados.
- Requieren trato delicado: curvaturas.
- Requieren derecho de vía.

Constantino Carlos Reyes Aldasoro

**ITAM**

# Transmisores y receptores

## Transmisores

- LED
  - *Light emitting diode*
  - Barato, vida duradera gran rango de temperatura, poco eficiente = tasas de información bajas
- ILD
  - *Injection Laser Diode*
  - Efecto láser, más eficiente
  - Tasas elevadas Gbps

## Receptores

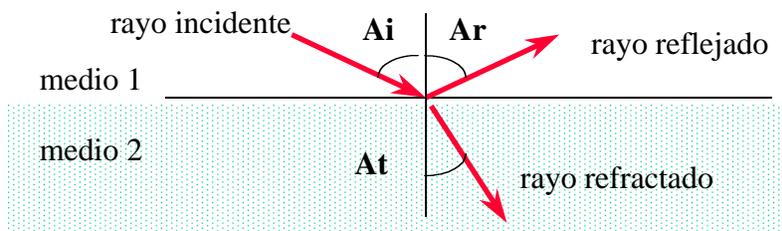
- PIN
  - Tiene una capa de material intrínseco entre las capas P y N de un diodo.
  - Barato y poco sensitivo
- APD
  - Avalanche Photo Diode
  - Fotodiodo de avalancha,
  - Más sensible que el PIN

Constantino Carlos Reyes Aldasoro

**ITAM**

# Reflexión interna total

La luz se propaga dentro de la fibra gracias a un fenómeno llamado **reflexión interna total**.



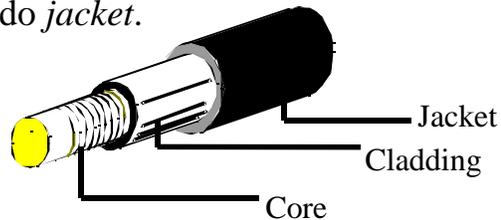
El ángulo incidente es igual al reflejado. Si se utiliza la ley de Snell con el ángulo refractado igual a  $90^\circ$ , toda la luz se queda en la fibra.

Constantino Carlos Reyes Aldasoro

**ITAM**

## Estructura de la fibra

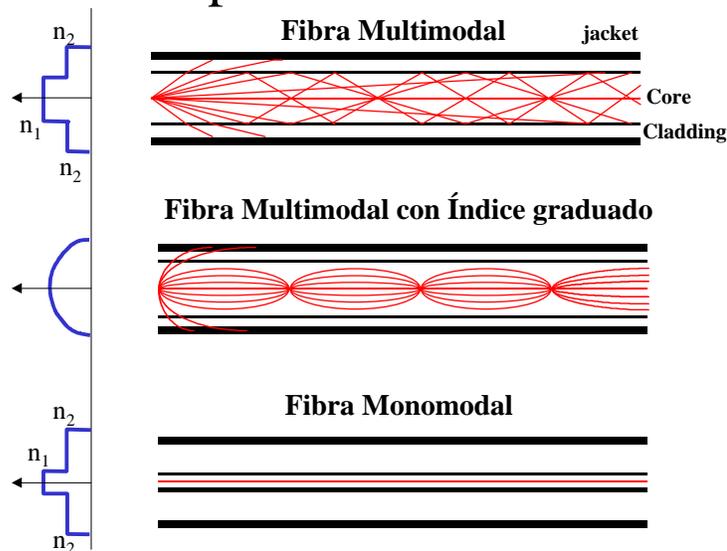
- La fibra cuenta con material que permite el paso de la luz en el centro; *core*, y otra capa de material que también permite el paso de la luz; *cladding*, pero con diferentes índices de refracción. Además cuenta con un recubrimiento para proteger las capas internas llamado *jacket*.



Constantino Carlos Reyes Aldasoro

ITAM

## Tipos de Fibras

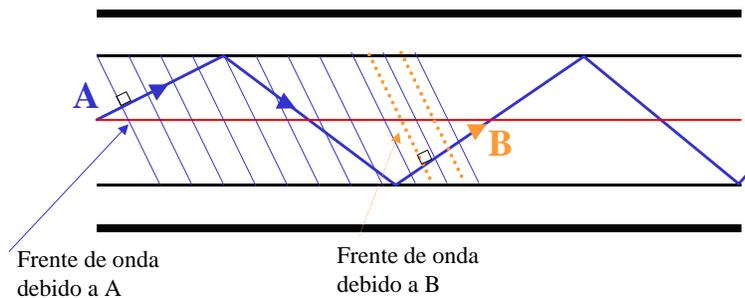


Constantino Carlos Reyes Aldasoro

ITAM

## Modos de propagación

- La luz se puede propagar en diferentes modos según sea la incidencia y la propagación interna.
- Los frentes de onda deben de estar en fase entre ellos después de cada rebote, si no, se cancelan entre ellos.



Constantino Carlos Reyes Aldasoro

**ITAM**

## Comparación de tipos de fibras

	Multimodo Normal	Multimodo Índice graduado	Monomodal
Fuente de luz	LED o láser	LED o láser	Láser
Ancho de banda	extenso (hasta 200 MHz / km.)	muy extenso (200 MHz a 3 GHz / km.)	extremadamente extenso (3 GHz a 50 GHz / km.)
Aplicación típica	enlaces de datos entre computadoras	líneas telefónicas de moderada extensión	telecomunicación a grandes distancias
Diámetro del <i>core</i>	50 a 125 $\mu\text{m}$	50 a 125 $\mu\text{m}$	2 a 8 $\mu\text{m}$
Diámetro del <i>cladding</i>	125 a 440 $\mu\text{m}$	125 a 440 $\mu\text{m}$	15 a 60 $\mu\text{m}$

Constantino Carlos Reyes Aldasoro

**ITAM**

# Dispersión

Variación de la velocidad de la fase. Afecta el ancho de banda.



- Dispersión del material
- Ancho espectral de la señal
- Polarización - asimetría en dobleces

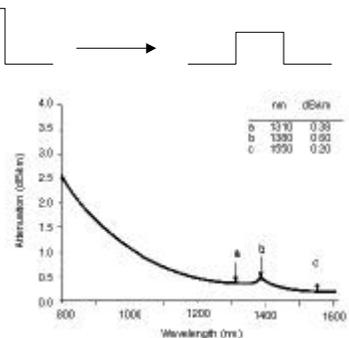
Constantino Carlos Reyes Aldasoro



# Atenuación

Absorción de la luz en calor o pérdidas por salida de la luz de la fibra (leak). Afecta a la potencia

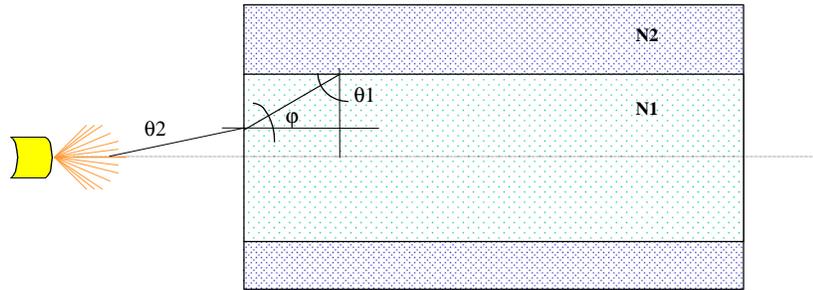
- obstáculos
- vibración atómica
- impurezas O - H
- dobleces



Constantino Carlos Reyes Aldasoro



## Apertura numérica



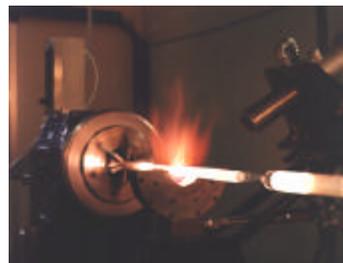
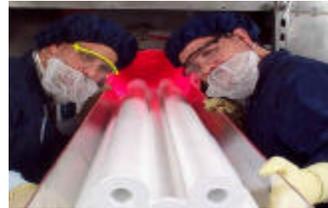
$$\text{sen}\theta_2 = \sqrt{N1^2 - N2^2}$$

Constantino Carlos Reyes Aldasoro

**ITAM**

## Construcción de las fibras

- Para construir una fibra se produce primero un gel con partículas de sílica.
- Con este gel se produce una varilla de fibra óptica.
- La varilla se estira a una tensión y velocidad controladas para formar los hilos de fibra delgados.



Constantino Carlos Reyes Aldasoro

**ITAM**

## Empalmes y conectores

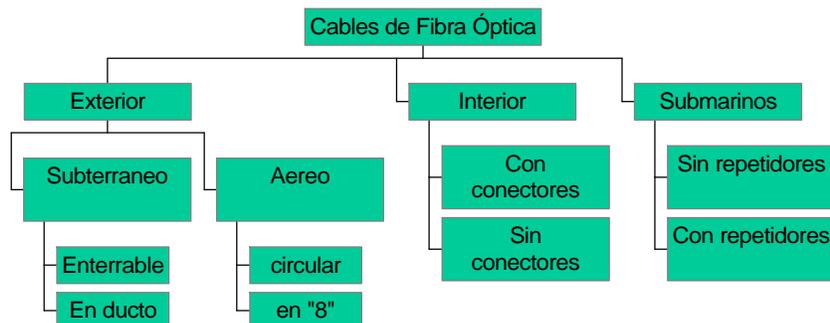
- Los rollos de fibra óptica se fabrican en distancias predeterminadas, 2,4,6,7 km., según el fabricante.
- En un tendido largo se debe empalmar tramos de fibra. Se puede hacer por fusión o mecánicamente.
- Al terminar la línea se requiere un conector al dispositivo receptor



Constantino Carlos Reyes Aldasoro

**ITAM**

## Cables con fibra óptica



Constantino Carlos Reyes Aldasoro

**ITAM**

## Cables para exterior

- Subterráneo
  - Mayor resistencia a la tensión, a la humedad.
  - Puede ir dentro de un ducto o directamente enterrado.
- Aéreo
  - Diseñado para ir tendido entre postes.
  - Puede ser circular o en forma de “8”



En ducto



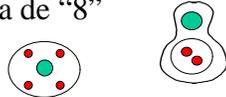
Enterrable



Circular



En “8”



Constantino Carlos Reyes Aldasoro

**ITAM**

## Cables para interiores

- Existen gran variedad de cables para interiores, tanto para redes como para otro tipo de aplicaciones.
- Pueden tener una o varias fibras.
- Algunos son resistentes al fuego



Constantino Carlos Reyes Aldasoro

**ITAM**

## Cables submarinos

- Para los enlaces submarinos como el que cruza el mar de Cortés o el *Columbus* se requiere gran resistencia a los esfuerzos mecánicos.
- Puede contarse con repetidores intermedios dependiendo de la distancia del enlace.



Constantino Carlos Reyes Aldasoro

**ITAM**

## Tendido de cables

- Dependiendo del terreno puede necesitarse distintos equipos para el tendido de fibras.



Constantino Carlos Reyes Aldasoro

**ITAM**

## Balance de potencia

- La atenuación por cada tramo se calcula con base en la siguiente fórmula:

$$\bullet \quad A = \alpha L + a_s x + a_c y$$

- Donde:
  - $\alpha$  = Coeficiente de atenuación de la Fibra (dato fabricante)
  - L = Longitud en Km. del tramo
  - $a_s$  = Atenuación promedio de los empalmes (depende del tipo de empalme, de fusión/mecánico)
  - x = Número de empalmes en el tramo
  - $a_c$  = Atenuación promedio en los conectores (dato fabricante)
  - y = Número de conectores en el tramo
- La potencia recibida se calcula por:

$$\bullet \quad Pr = Pt - A$$

Constantino Carlos Reyes Aldasoro



## Ejemplo: México-Querétaro

$\alpha$  0.25 Atenuación por empalme: 0.50 dB  
 Longitud Bobina: 25.00 km. Atenuación por conector: 0.50 dB

	LONGITUD	DISTANCIA ACUMULADA	ATENUACIÓN DE LA FIBRA	EMPALMES	ATENUACIÓN EMPALMES	ATENUACIÓN CONECTORES	ATENUACIÓN SEGMENTO	ATENUACIÓN ACUMULADA
	(km)	(km)	$\alpha L$ (dB)		(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
México, D. F.	0	0	0					
Tepeji, Hgo.	70	70	17.5	2	1	1	19.5	19.5
San Juan del Río	93	163	23.25	3	1.5	1	25.75	45.25
Querétaro, Qro.	52	215	13	2	1	1	15	60.25

Constantino Carlos Reyes Aldasoro

