

# Refracción de la Luz.

**Angulo de aceptación / Apertura numérica**

# OBJETIVOS DEL MÓDULO:

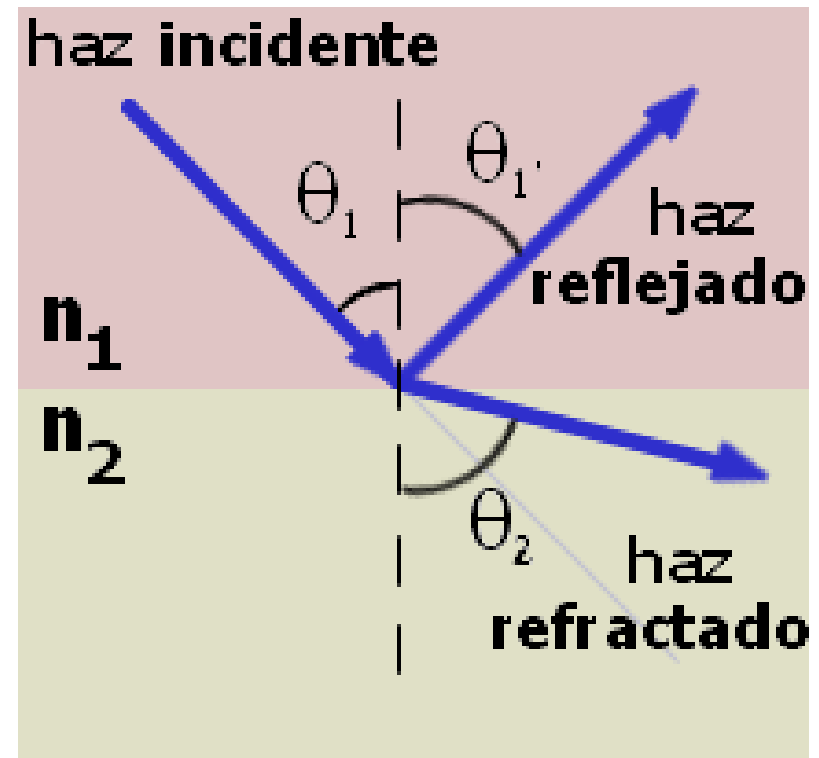
Conocer las condiciones para la transmisión de la Luz dentro de la Fibra Óptica

- Desarrollar los conceptos de:
  - Reflexión y Refracción de la luz
  - Ley de Snell
  - Índice de Refracción
- Conceptos de:
  - Ángulo Critico
  - Reflexión Interna Total
  - Ángulo de aceptación
  - Apertura numérica

# Fibra óptica

## Reflexión y refracción de la luz (cont.)

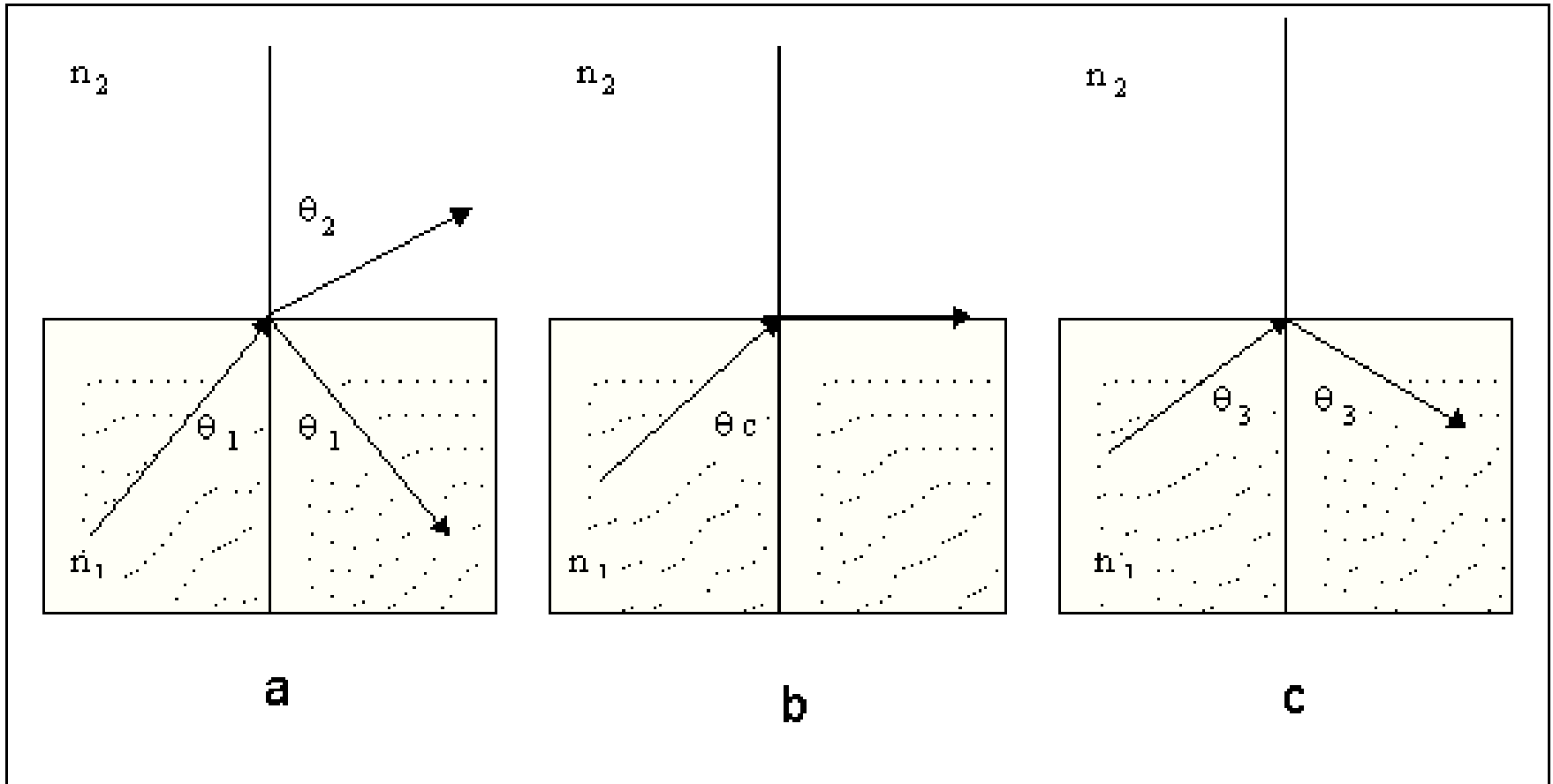
Cuando un haz de luz incide con una inclinación tal que forme un ángulo diferente a  $90^{\circ}$  con relación a la superficie, se presenta un cambio en la velocidad y en su dirección, parte de los rayos se refractan y parte se refleja, dependiendo del ángulo de inclinación y de la naturaleza de los dos medios ( $n$ )



# Fibra óptica

## LEY DE SNELL O LEY DE LA REFRACCIÓN

- Para una sustancia isotrópica, es decir, un medio o material que presente idénticas propiedades en todas sus direcciones, aplica la Ley de Snell.
- Cuando un rayo luminoso incide con un ángulo  $\theta_1$  desde una sustancia menos densa (p.e. El aire) a otra más densa (p.e. El vidrio o agua), su dirección de propagación se quiebra y su trayectoria continúa en la segunda sustancia con un ángulo de refracción  $\theta_2$ .
- De dos sustancias transparentes, se considera más densa a aquella que posee la menor velocidad de propagación de la luz.



# Fibra óptica

La relación entre los dos ángulos  $\theta_1$  (incidente) y  $\theta_2$  (refractado) está dada por la ley de Snell:

$$n_1 \text{sen } \theta_1 = n_2 \text{sen } \theta_2$$

siendo  $n$  el índice de refracción de cada medio

## Índice de refracción

Es la relación entre la velocidad de la luz en el vacío  $c_0$  y la velocidad en la sustancia 1,  $c_1$   $n_1 = c_0 / c_1$

# Fibra óptica

- Cuando el rayo luminoso incide con un ángulo  $\theta_1$  cada vez mayor desde una sustancia ópticamente más densa con índice de refracción  $n_1$  sobre la superficie de separación con una sustancia ópticamente menos densa con índice de refracción  $n_2$ , el ángulo del rayo refractado  $\theta_2$  puede llegar a ser igual a  $90^\circ$  con relación a la normal, en ese caso el rayo se propaga paralelamente a la superficie de separación de ambas sustancias y el ángulo incidente recibe el nombre de **ángulo crítico** o ángulo límite.

# Fibra óptica

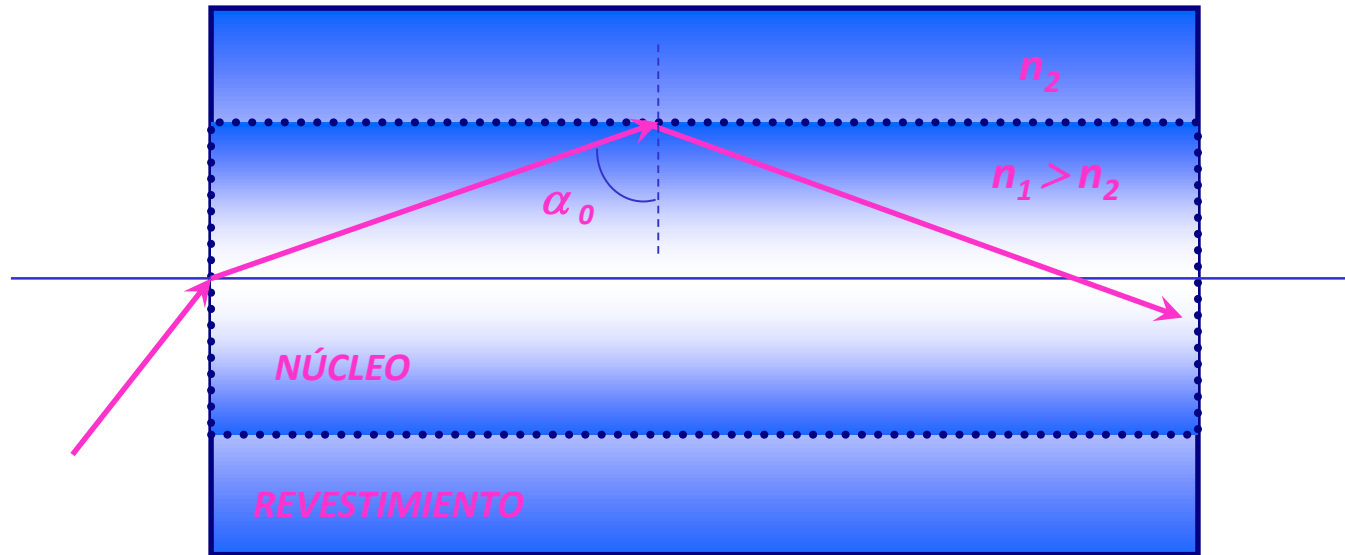
- El **ángulo crítico** depende solamente de los índices de refracción de los materiales en los cuales se propague la señal  $\text{Sen } \theta_1 = n_2/n_1$

• Cuando el ángulo del rayo incidente  $\theta_1$  sigue creciendo y se hace mayor que el ángulo crítico, el rayo incidente será totalmente reflejado, es decir, regresa al medio de incidencia. Este efecto se denomina Reflexión total

• La Reflexión total puede ocurrir únicamente cuando un rayo luminoso incide desde una sustancia ópticamente más densa (ej: vidrio con  $n_1=1.5$ ) sobre otra ópticamente menos densa (ej: aire con  $n_0= 1$ ) y nunca se da en el caso inverso.



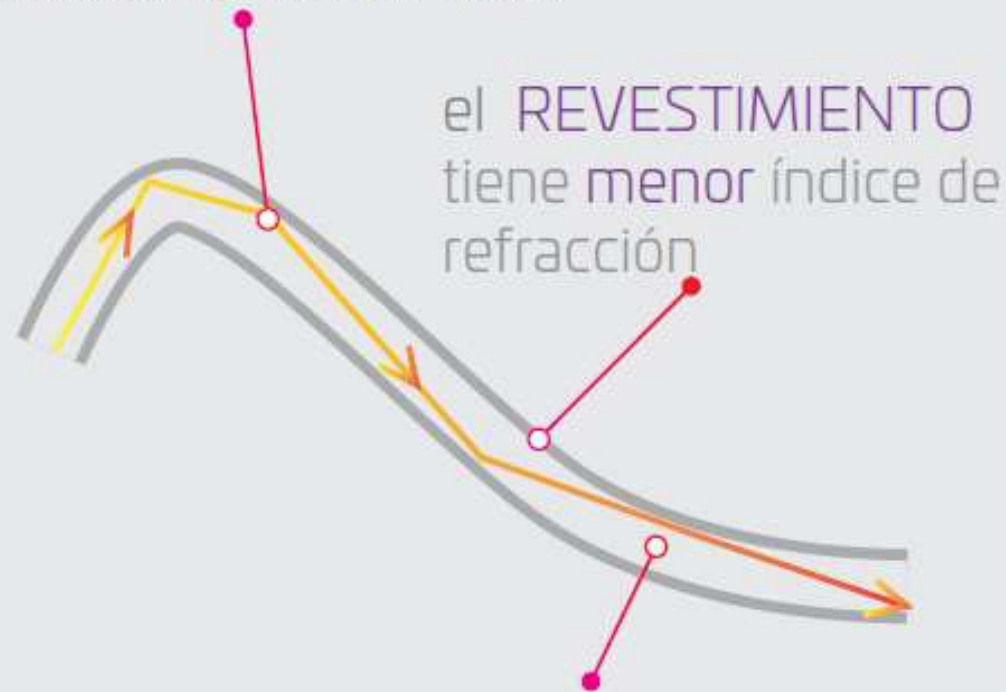
- En los conductores de fibra óptica se utiliza el efecto de la reflexión total para conducir el rayo luminoso, usando un núcleo de vidrio con un índice de refracción  $n_1$  envolviéndolo con un recubrimiento con un índice de refracción  $n_2$ , donde  $n_1 > n_2$ .



**CONDICIÓN PARA LA TRANSMISIÓN DE LA  
LUZ DENTRO DE LA FIBRA:**

$$\rightarrow n_1 > n_2$$

## Reflexión interna total

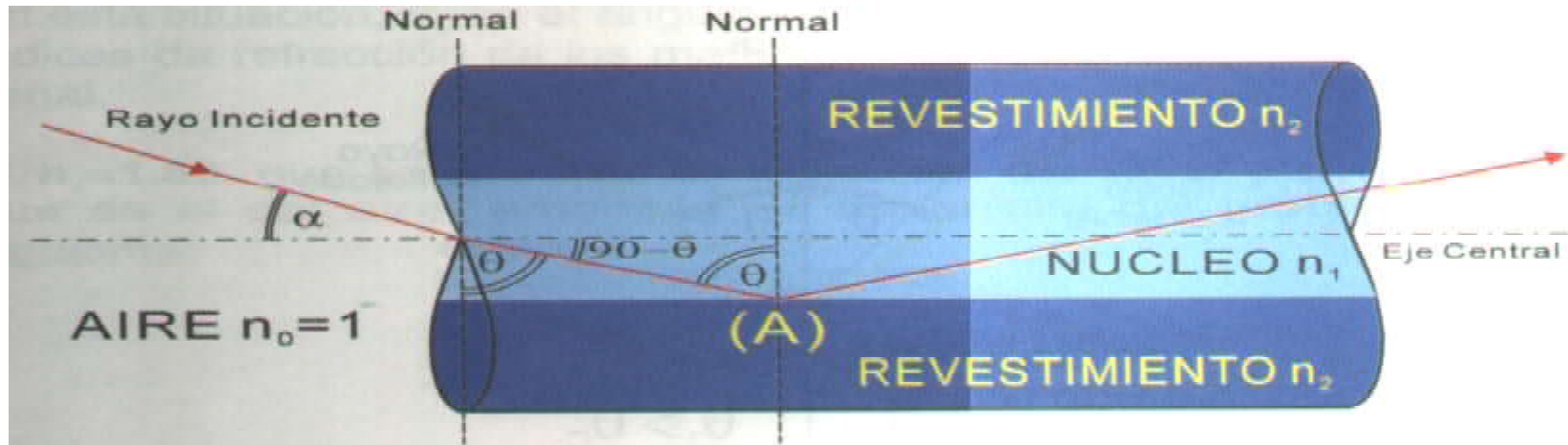


el REVESTIMIENTO  
tiene menor índice de  
refracción

el NÚCLEO tiene  
mayor índice de  
refracción

# Fibra óptica

## ÁNGULO MEDIO DE ACEPTACIÓN



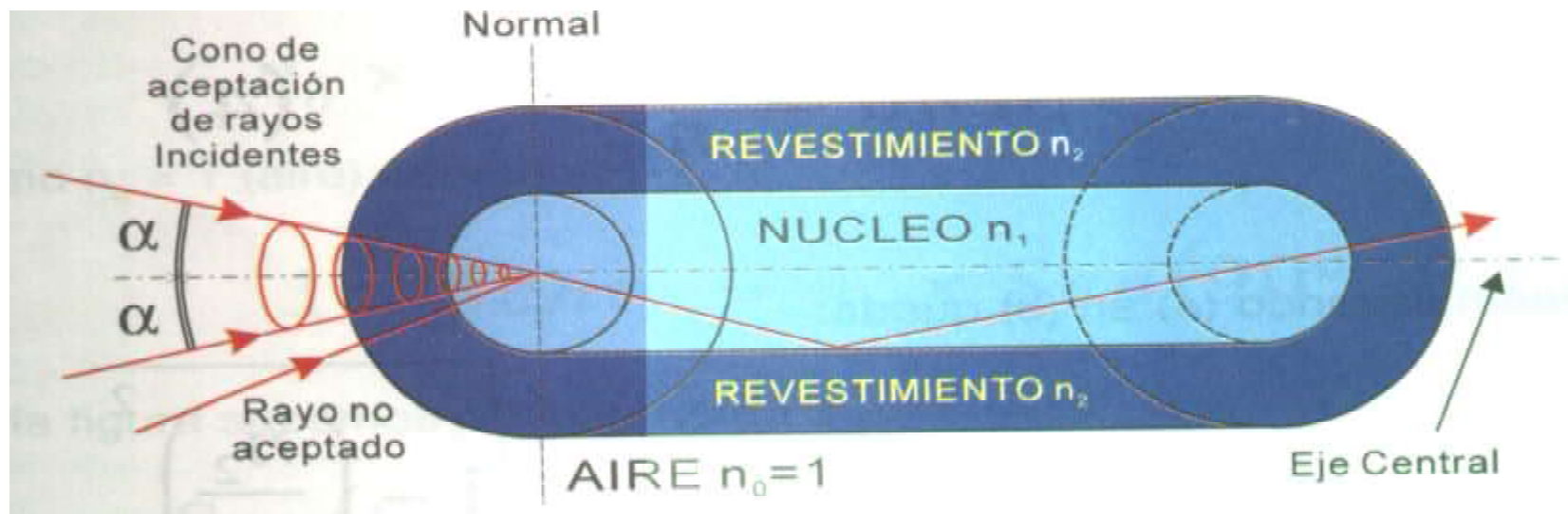
En la figura  $\theta$  es el ángulo crítico, es decir, todos los rayos que incidan con un ángulo mayor a  $\theta$  con relación a la normal, serán conducidos por el núcleo de la fibra óptica.

Para acoplar al núcleo de la fibra óptica un rayo luminoso incidente desde el exterior (aire  $n_0=1$ ), el ángulo  $\alpha$  formado entre el rayo incidente y el eje de la fibra se rige por la ley de Snell y puede demostrarse que:

$$\text{Ángulo medio de Aceptación } \alpha = \text{Sen}^{-1} \sqrt{(n_1)^2 - (n_2)^2}$$

# Fibra óptica

## Angulo medio de aceptación



- El ángulo medio de aceptación es función de los índices de refracción del núcleo y del revestimiento.
- El ángulo medio de aceptación representa la mitad del cono de aceptación.
- La fibra óptica sólo conducirá los rayos que estén dentro del cono de aceptación.

# Fibra óptica

## APERTURA NUMÉRICA:

- Al seno del ángulo medio de aceptación ( $\alpha$ ) se le denomina **Apertura Numérica**.

$$\mathbf{AN} = \mathbf{\text{sen } \alpha} \quad \mathbf{AN} = \sqrt{(n_1)^2 - (n_2)^2}$$

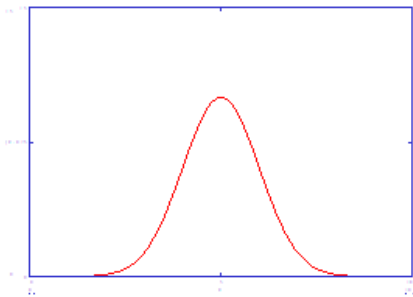
- Puede decirse que la **Apertura Numérica** es equivalente al porcentaje de potencia de luz que, desde la fuente, entra a la fibra óptica.
- Valores típicos de A.N (fibras multimodo) son 0.2 (para 50/125  $\mu\text{m}$ ) y 0.275 (para 62,5/125  $\mu\text{m}$ );
- Valor típico de A.N (fibras monomodo) es de 0,14

*Significa que sólo del 14 al 28% de la luz emitida por la fuente (led-láser) son aceptados por la fibra (seg. Tipo de FO)*

## Distribución Espectral de Fuentes Ópticas (Emisores ópticos)

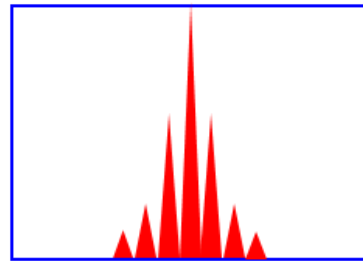
Las fuentes utilizadas para transmisores ópticos, que convierten las señales eléctricas en señales ópticas, son básicamente tecnologías: LED o LASER.

*100 nm*



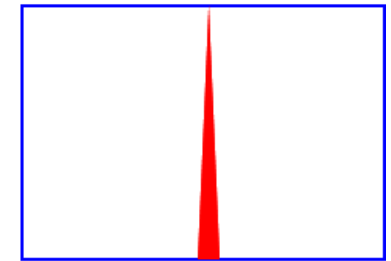
*LED*

*3 nm*



*Laser FP*

*<<1 nm*

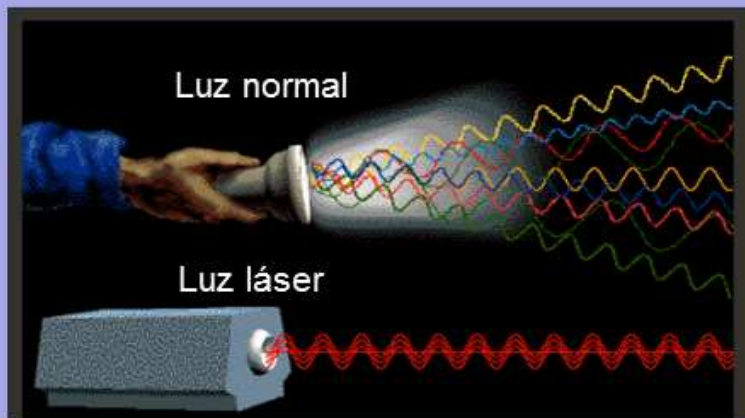


*Laser DFB*

Los LED tienen una potencia disponible mucho menor que los láser y su patrón divergente y amplio de salida de la luz hace que sea más difícil que se acoplen a las fibras, por lo que se pueden utilizar sólo con fibras multimodo. Los láser tienen un patrón de salida de la luz menor y más estrecho, por lo que se pueden acoplar fácilmente a fibras monomodo, lo que los hace ideales para transmisiones de alta velocidad en larga distancia. Los LED tienen un ancho de banda menor que los láser y su uso se limita a sistemas que operan a 500 MHz o 400 Mb/s aproximadamente. Por otro lado, los láser tienen una capacidad de ancho banda muy elevada, por lo que pueden ser útiles en 40 GHz o 40 Gb/s.

# Emisores Ópticos

- Como fuente de luz se emplean LEDs (Light Emitting Diode) por su rapidez y bajo consumo. Los LEDs pueden ser de dos tipos:
  - LED de luz normal, no coherente: se utilizan en aplicaciones de corto alcance y baja velocidad (600 Mb/s o menos). Son muy baratos. Solo se emplean en fibra multimodo.
  - LED de luz láser, coherente: son más caros pero permiten alcances y velocidades mayores. Se emplean en fibra multimodo y monomodo.



Tipo de emisor	LED normal	LED Láser
Ancho de banda espectral	50-100 nm	0,5 – 5 nm
Potencia	0,1 mW	20 – 3200 mW
Velocidad máx.	300-600 Mb/s	10-40 Gb/s
Tipo de fibra	MM	MM o SM
Ventana	1ª y 2ª	1ª, 2ª, 3ª y 4ª, Banda E y S
Alcance max.	2 Km	160 Km