

## 5. Optoelectrónica

- 5.1. Introducción
- 5.2. Naturaleza ondulatoria de la luz
- 5.3. Elementos de la física de estado sólido
- 5.4. Modulación de la luz
- 5.5. Dispositivos de visualización
- 5.6. Lasers
- 5.7. Fotodetectores y fotoemisores**
- 5.8. Fibra óptica
- 5.9. Sistemas de comunicación óptica
- 5.10. Otras aplicaciones de la fibra óptica

## Fotodetectores y fotoemisores

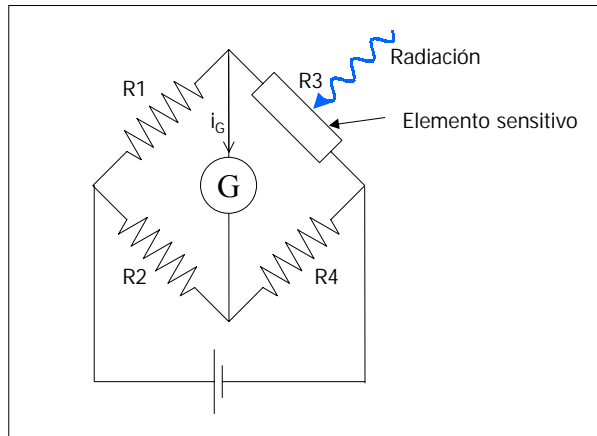
### Fotoemisores.

- Dispositivos que al ser sometidos a una corriente o diferencia de potencial, generan un haz de luz. Transforman energía eléctrica en energía lumínica.
- No vamos a ver más que los LED y los Láser, que son los necesarios para cualquier aplicación optoelectrónica.

### Fotodetectores.

- Dispositivos que al ser atacados por la luz, generan una corriente eléctrica. Transforman energía lumínica en energía eléctrica.
- Existen dos tipos:
  - **Fotodetectores térmicos.** La luz incidente calienta el dispositivo y este calor provoca un cambio en la conductividad del dispositivo que se traduce en un cambio en una tensión o corriente
  - **Fotodetectores fotónicos.** La luz es directamente responsable de la corriente eléctrica generada

# Fotodetectores



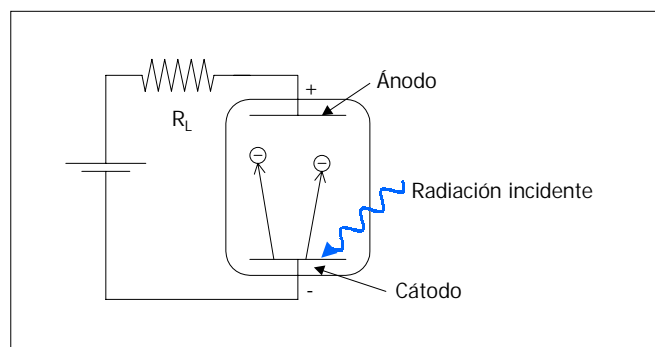
**Puente de Wheatstone.** Si  $R1/R2 = R3/R4$   $i_G = 0$ . Si  $R3$  cambia en valor un poco, aparece una corriente  $i_G$  proporcional al cambio.

# Fotodetectores fotónicos

**Efecto fotoeléctrico.** Luz incidente en un metal (NaKCsSb), se genera una corriente eléctrica, a partir de una frecuencia umbral de la luz incidente.

**Fotodiodos de vacío.**

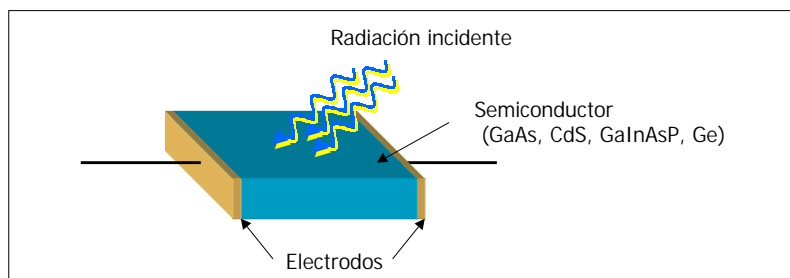
Tensión umbral. Del orden de cientos de voltios.



# Fotodetectores fotónicos

**Detectores fotoconductivos.** Modifican su conductividad al incidir la luz.

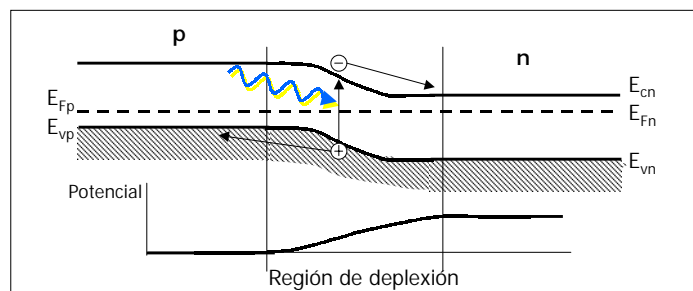
- Al incidir un fotón de adecuada energía arranca un electrón a la capa de conducción.
- Al haber más electrones en la capa de conducción que en equilibrio, aumenta la conductividad del material
- Este efecto sólo se puede hacer con materiales semiconductores: tienen los electrones en la capa de valencia pero cerca de la capa de conducción.



# Fotodetectores fotónicos

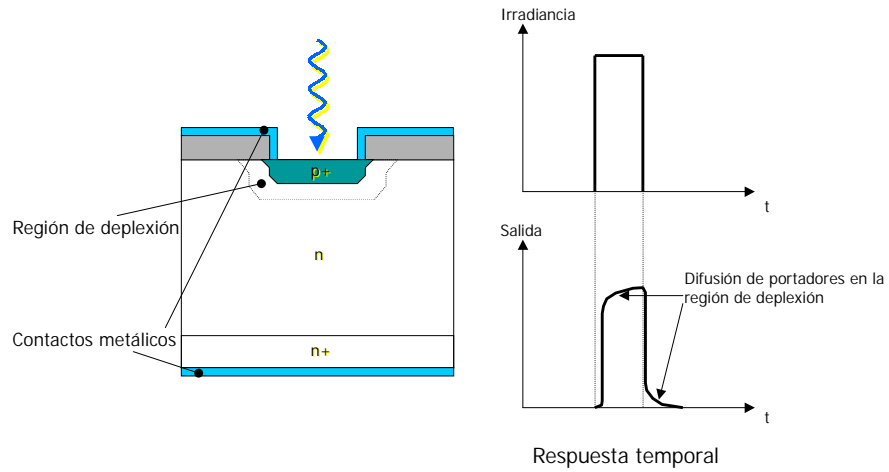
**Detector de unión p-n. Fotodiodo p-n**

- Incide un fotón y genera un par electrón-hueco
- Existe un campo eléctrico en la unión en equilibrio
- El electrón va hacia la zona de más potencial mientras que el hueco hacia la de menos potencial
- Se genera una corriente eléctrica



# Fotodetectores fotónicos

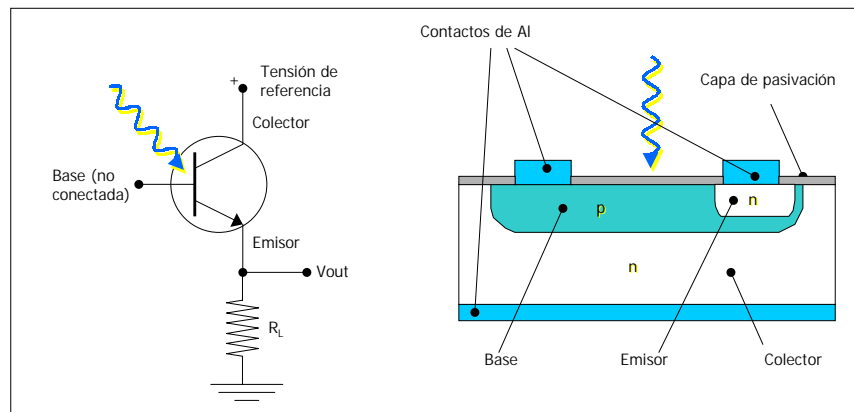
## Detector de unión p-n



# Fotodetectores fotónicos

## Fototransistores

- El principio de funcionamiento es el mismo que el del fotodiodo
- A diferencia que el fotodiodo, tenemos un efecto amplificador.



## 5. Optoelectrónica

- 5.1. Introducción
- 5.2. Naturaleza ondulatoria de la luz
- 5.3. Elementos de la física de estado sólido
- 5.4. Modulación de la luz
- 5.5. Dispositivos de visualización
- 5.6. Lasers
- 5.7. Fotodetectores y fotoemisores
- 5.8. Fibra óptica**
- 5.9. Sistemas de comunicación óptica
- 5.10. Otras aplicaciones de la fibra óptica

## Fibra óptica

La fibra óptica se engloba dentro de una categoría de componentes denominados “**guías de onda**”.

La función de las guías de onda en un sistema optoelectrónico es la **conducción de la onda luminosa** de un lugar a otro.

Para conducir la onda electromagnética es necesario **confinarla en la guía de onda**.

Se hace **variar el índice de refracción** en la guía de onda para que se quede confinada dentro de la guía.

Las guías de onda se componen de **un núcleo** con un índice de refracción y un **recubrimiento** con otro índice de refracción distinto, de esta forma la luz es confinada en su interior

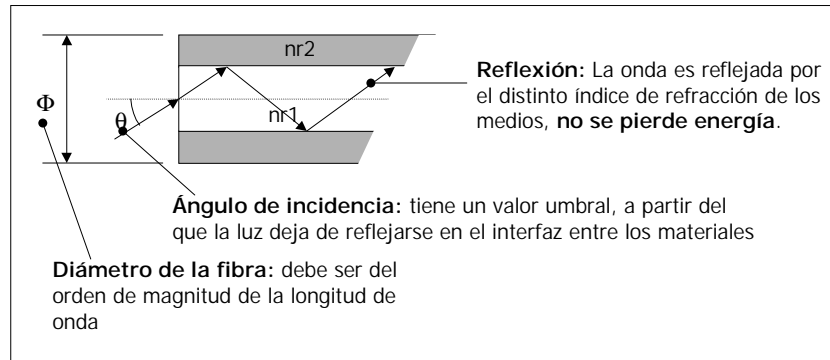
La fibra óptica es una guía de onda con **sección circular**.

# Fibra óptica

Universidad Antonio de Nebrija

Tecnología electrónica II. Tema 5

## Transmisión de una onda luminosa



La transmisión debe ser estudiada por mecánica ondulatoria

La orientación de los campos eléctrico y magnético influyen en la transmisión

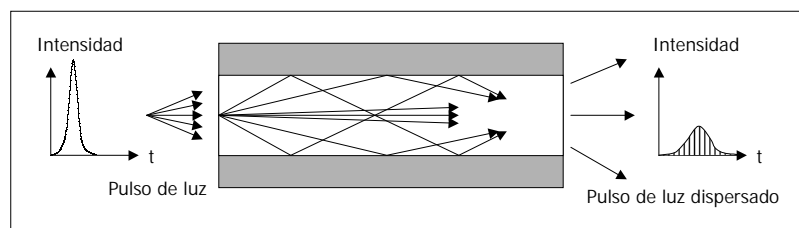
La naturaleza ondulatoria de la luz provoca la aparición de **“modos de transmisión”**

# Fibra óptica

Universidad Antonio de Nebrija

Tecnología electrónica II. Tema 5

## Dispersión en la transmisión de una onda luminosa



El pulso inicial **no es direccional**: algunos haces de onda recorren **más distancia**

Esos haces de onda llegan más tarde

El pulso a la salida de la fibra será más ancho en el tiempo: se **ha dispersado**

Este efecto **limita el ancho de banda de la fibra óptica**.

# Fibra óptica

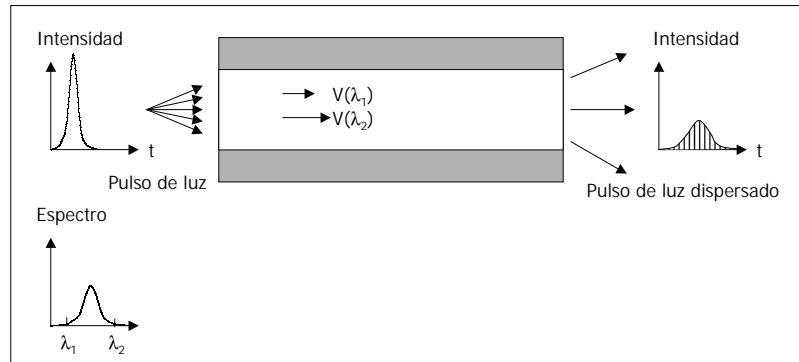
Universidad Antonio de Nebrija

Tecnología electrónica II. Tema 5

## Dispersión cromática en la transmisión de una onda luminosa

A distinta longitud de onda corresponde distinta velocidad de transmisión en el medio

Si se transmiten dos ondas de distinta frecuencia una de ellas (con  $\lambda$  mayor) llegará antes.



# Fibra óptica

Universidad Antonio de Nebrija

Tecnología electrónica II. Tema 5

## “Bit rate” y ancho de banda

**Bit rate (kbps, Mbps).** Número de bits que puede ser transmitido por segundo a través de un canal de información sin deterioro significativo. Se usa en comunicaciones digitales.

**Ancho de banda (kHz, MHz).** Rango de frecuencias en el que una señal puede ser transmitida. Se usa en comunicaciones analógicas, aunque también se hace una analogía con las comunicaciones digitales.

La dispersión en la fibra óptica restringe el “bit rate”:

- A lo largo de la longitud de la fibra, los pulsos se van ensanchando.
- En determinado punto se solapan los pulsos
- Finalmente la información se pierde.

La relación bit rate - distancia la dan los fabricantes como producto: por ejemplo 600 Mbits/s · km (para 2 km : 300 Mbits/s)

# Fibra óptica

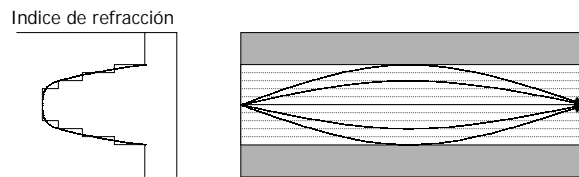
Universidad Antonio de Nebrija

Tecnología electrónica II. Tema 5

## Fibra óptica con índice de refracción que varía gradualmente

**Concepto:** hacer que el haz de luz que recorre más distancia lo haga a más velocidad (variando el índice de refracción)

El índice de refracción varía radialmente



### Fibra monomodo.

El diámetro es tan pequeño que sólo se permite un modo de transmisión

Con una fibra monomodo se pueden alcanzar 200 Gbits/s km

Para reducir la difusión cromática se deben usar láser en lugar de LED's

# Fibra óptica

Universidad Antonio de Nebrija

Tecnología electrónica II. Tema 5

## Atenuación en las fibras ópticas

Existe atenuación: pérdida de potencia

Hay que utilizar amplificadores repetidores a lo largo del recorrido

### Causas de la atenuación

- Absorción por interacción de los electrones de los átomos con la radiación. Pico a frecuencias UV
- Absorción por vibración molecular. Pico a frecuencias IR
- Dispersión. La energía de la luz escapa de la fibra

### Medida de la atenuación

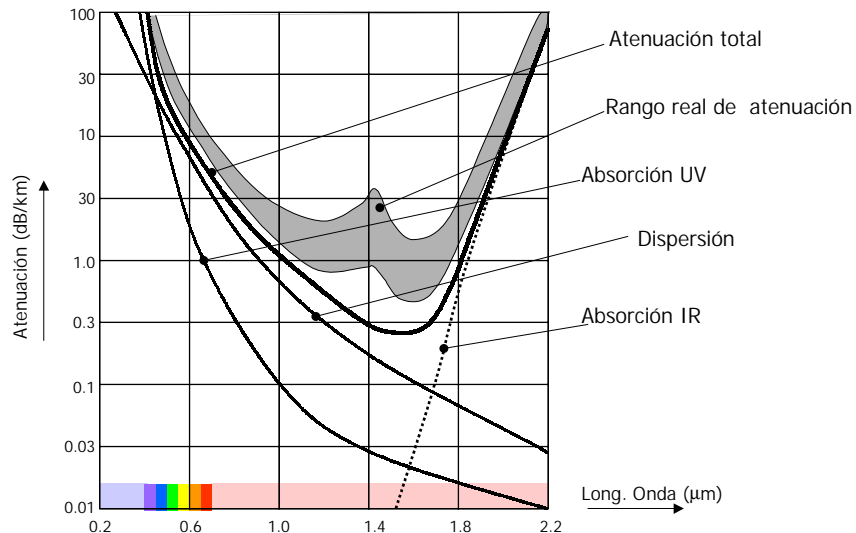
$$- A \text{ (dB/km)} = 10 \log_{10} (P_i/P_f) / L$$

siendo  $P_i$  : potencia inicial,  $P_f$  : potencia final,  $L$ : longitud (km)



# Fibra óptica

## Atenuación en las fibras ópticas



# Fibra óptica

## Tipos de fibras ópticas

Material	Tipo	Diámetro (μm) Recubrimiento/ Núcleo	Atenuación dB/km	Bit rate MB/s km	Aplicación
Todo plástico	Multimodo	200-600 450-1000	330-1000	bajo	Bajo coste conexiones cortas 100m
Recubrimiento plástico	Multimodo	50-100 125-300	4 - 15	4 -15	Bajo coste corto recorrido
Silicio	Multimodo	50-400 125-300	4 - 50	6 -25	Bajo coste corto recorrido
Silicio	Multimodo Índice gradual	30-60 100-150	2 - 10	150 -2.000	Recorrido medio Ancho Banda medio Fuente láser
Silicio	Monomodo Índice escalón	3-10 50-125	0,5 - 5	500 -40.000	Largo recorrido Ancho Banda alto sistemas láser
Silicio	Monomodo			Hasta 100.000.000	Sist. Intercontinen- tales de gran ancho de banda

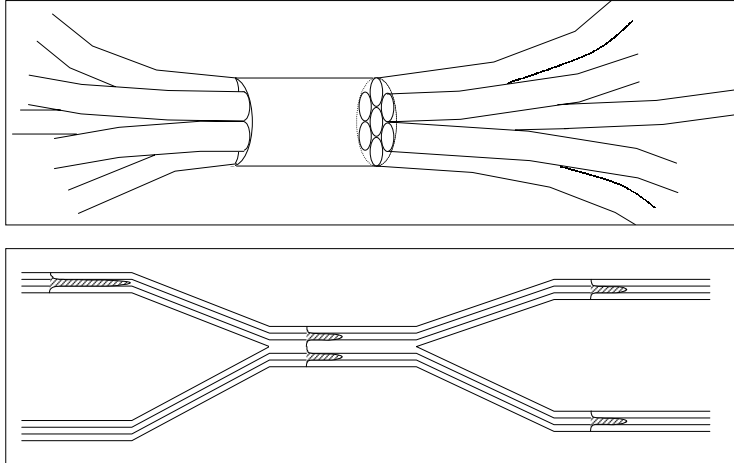
# Fibra óptica

Universidad Antonio de Nebrija

Tecnología electrónica II. Tema 5

## Dispositivos acopladores

Si queremos mezclar las ondas de dos fibras distintas o si queremos pasar la onda de una fibra a otra:



# Fibra óptica

Universidad Antonio de Nebrija

Tecnología electrónica II. Tema 5

## Empalmes y conectores

En un conector o empalme se debe transmitir todo el flujo entrante.

La alineación entre fibras debe ser casi perfecta

**Conectores:** Los extremos de las fibras se alinean mecánicamente con un tercer medio, normalmente aire

**Empalmes:** Las extremos de las fibras se sueldan, no existe ningún medio entre ellas. Se pueden utilizar pegamentos de determinadas características

# Fibra óptica

## Fuentes luminosas para fibras ópticas y detectores

- Deben emitir en las ventanas de mínimas pérdidas.
- Adecuado perfil de intensidad para máximo acoplamiento a la fibra
- Tiempos de subida/bajada muy cortos

Los **LED's** y los **diodos LASER** son los dispositivos que cumplen los requisitos:

Parámetro	LED	Diodo LASER	Unidad
Potencia de salida	1 a 10	1 a 100	mW
Potencia acoplada a la fibra	0,0005 a 0,5	0,5 a 5	mW
Ancho de banda en 800 nm	35 a 50	2 a 3	nm
Ancho de banda en 1300 nm	70 a 100	3 a 5	nm
Tiempo de subida	2 a 50	<1	ns
Respuesta en frecuencia	<500	>500	MHz
Coste	Bajo	Alto	