



## **SENSORES Y ACONDICIONADORES**

# **TEMA 5 (1)**

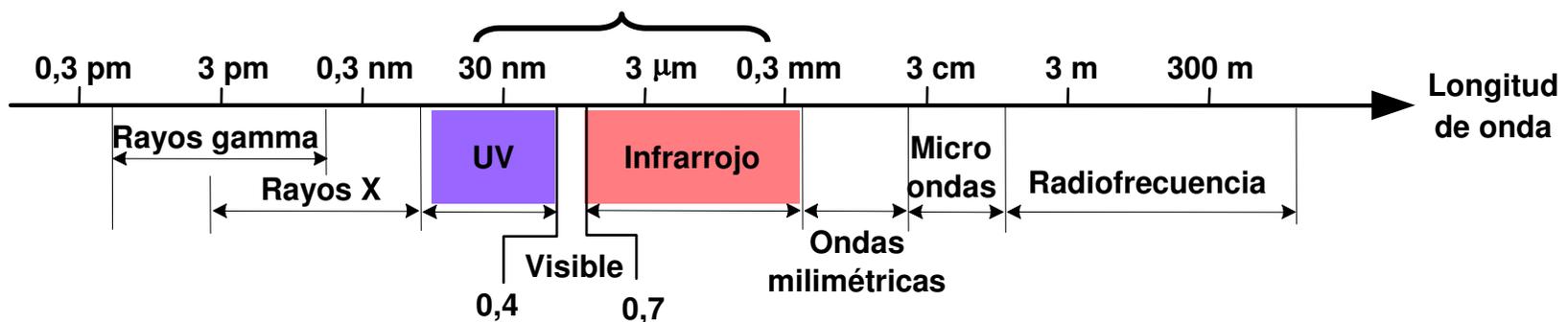
## **SENSORES OPTOELECTRÓNICOS** **(Principios físicos de funcionamiento)**

**Profesores: Enrique Mandado Pérez**  
**Antonio Murillo Roldan**



## DEFINICIÓN

Sensores basados en las propiedades de diversos dispositivos electrónicos cuyo comportamiento depende de la luz que se les aplica. Reciben la denominación de sensores optoelectrónicos y pueden ser sensibles a la luz ultravioleta, visible o infrarroja.





## CLASIFICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS OPTOELECTRÓNICOS

Los dispositivos optoelectrónicos pueden ser emisores de luz o sensibles a la luz

### **Emisores de luz**

Convierten el movimiento de cargas eléctricas en energía luminosa.

Los más utilizados son:

- Diodo Luminescente (*Light Emitting Diode*) (LED)
- Diodo de infrarrojos (*Infrared Emitting Diode*) (IRED)
- Diodo láser (*Light Amplification by Estimulated Emission of Radiation*)



## **CLASIFICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS** **OPTOELECTRÓNICOS**

### **Sensibles a la luz**

**Convierten la energía luminosa en una carga o corriente eléctrica.**

**Los más utilizados son:**

- Fotorresistencia**
- Fotodiodo**
- Fototransistor**
- FOTOSENSOR capacitivo**



## SENSOR OPTOELECTRÓNICO

Además de uno o más dispositivos optoelectrónicos, los sensores optoelectrónicos pueden contener un conjunto de componentes ópticos que actúan sobre la luz.

### Fenómenos relacionados con la luz:

- Reflexión



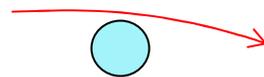
- Refracción



- Evanescencia



- Difracción



- Absorción



- Interferencia

- Polarización

- Velocidad

### Óptica geométrica

Conjunto de elementos cuyo tamaño es mucho mayor que la  $\lambda$  de la luz:

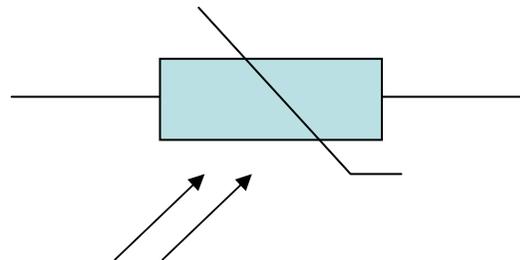
- Ventanas o rejillas
- Espejos
- Filtros
- Prismas



## SENSORES SENSIBLES A LA LUZ FOTORRESISTENCIAS

**Sensores basados en la interacción entre los fotones de una radiación óptica y un material semiconductor. Dicha interacción produce un incremento de los portadores de carga y por ello modifica la resistencia del dispositivo.**

**Se estudian en el tema 4 (3).**





## SENSORES SENSIBLES A LA LUZ: FOTODIODO

Diodo en el que se generan pares electrón-hueco cuando inciden sobre él fotones que poseen una energía superior a la banda prohibida.

### Fundamentos [PERE 04 pág 387] [PALL 03 pag 388]

Si un fotodiodo iluminado se polariza inversamente, los electrones y los huecos generados por los fotones se desplazan hacia la zona N y la P respectivamente.

Si se cierra el circuito externo se produce una corriente denominada fotocorriente.

La energía necesaria para que los electrones traspasen la banda prohibida depende del tipo de semiconductor utilizado. Por ello los fotodiodos son sensibles a radiaciones luminosas de diferente  $\lambda$  según el material con el que están contruidos.

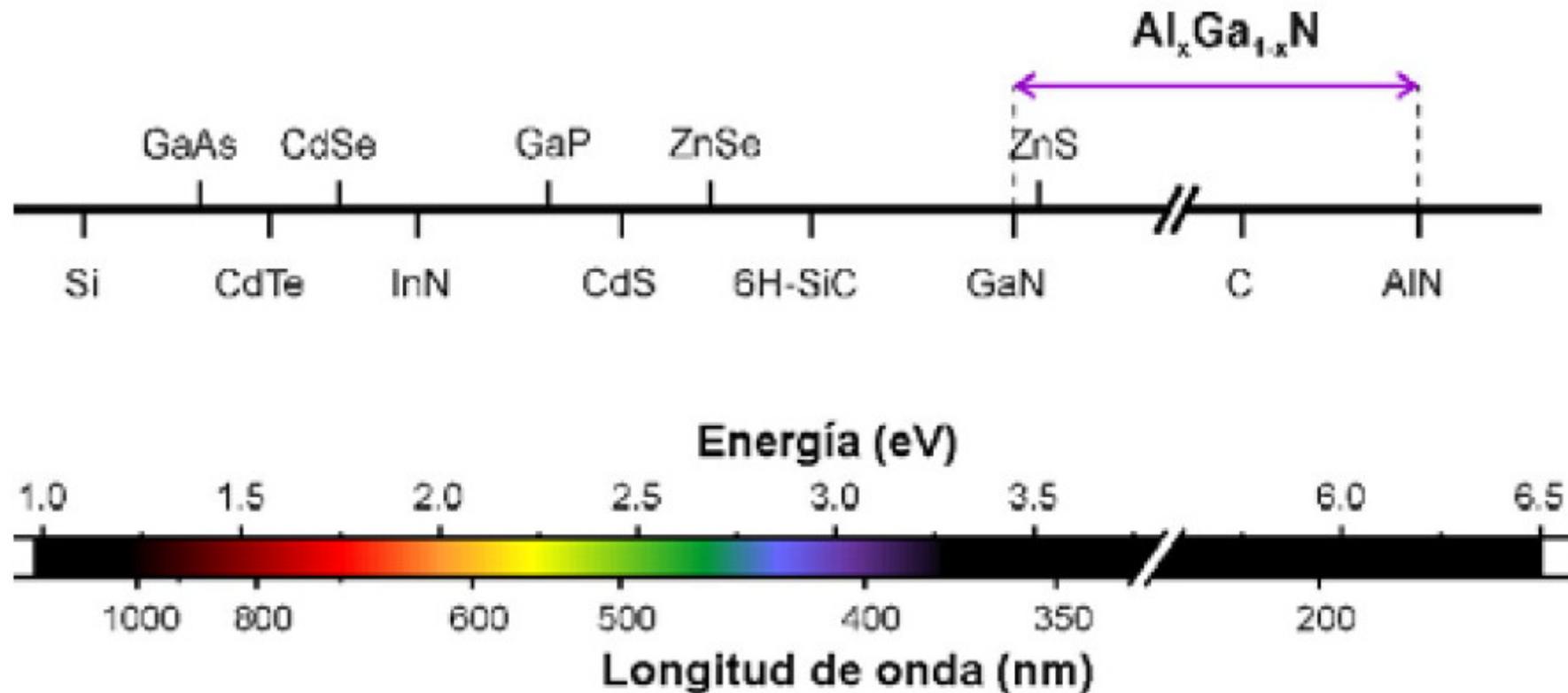
Semiconductores	Energía de la banda prohibida, $E_h$ (eV)	Longitud de onda de corte, $\lambda_h$ (nm)
Si	1,12	1100
Ge	0,66	1870
InP	1,35	910
InGaAsP	0,89	1400
InGaAs	0,75	1650

Valores de la energía de la banda prohibida y de la longitud de onda de corte para diferentes semiconductores

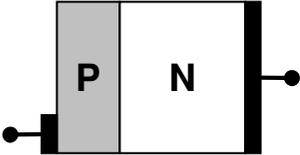
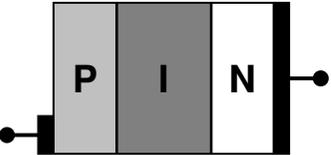


## SENSORES SENSIBLES A LA LUZ: FOTODIODO

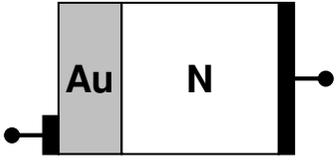
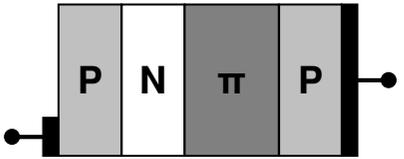
Espectro electromagnético relacionado con la sensibilidad de diferentes materiales semiconductores





<u>Tipo</u>	<u>Estructura</u>	<u>Características</u>
PN		<ul style="list-style-type: none"><li>• Buenas características generales.</li><li>• Muy utilizado para medir el nivel de iluminación.</li></ul>
PIN		<ul style="list-style-type: none"><li>• El diodo PIN presenta una región P fuertemente dopada y otra región N también fuertemente dopada, separadas por una región de material casi intrínseco (I).</li><li>• En AF el diodo tiene una impedancia muy alta con polarización inversa y muy baja en polarización directa, por lo que se utiliza como interruptor o como modulador de amplitud.</li><li>• Las tensiones de ruptura superan los 100V por lo que también se le puede utilizar para conmutar corrientes muy intensas o tensiones muy grandes. Tensión inversa 5~100 V.</li><li>• Capacidad de transición pequeña.</li><li>• Muy rápidos.</li><li>• Buena respuesta a las radiaciones ópticas de longitud de onda larga (Infrarrojos).</li><li>• Se utilizan en comunicaciones.</li></ul>

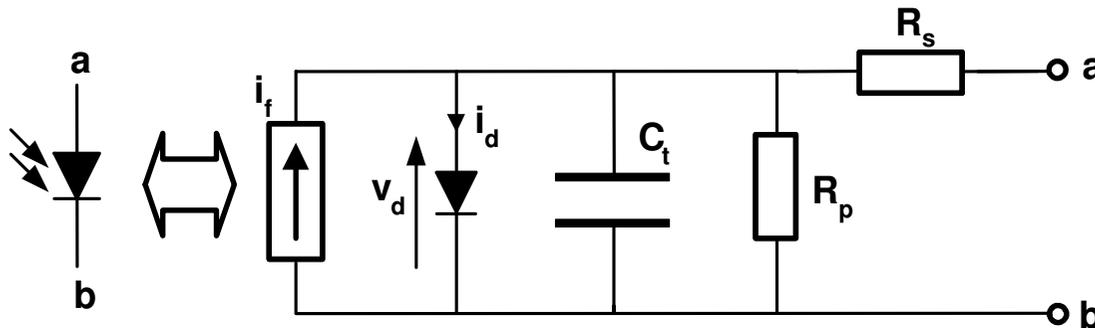


<u>Tipo</u>	<u>Estructura</u>	<u>Características</u>
<b>Schottky</b>		<ul style="list-style-type: none"><li>• Diodo formado por un contacto entre un semiconductor y un metal, lo que elimina el almacenamiento de carga y el tiempo de recuperación.</li><li>• Un diodo Schottky puede rectificar corrientes de frecuencia superior a 300 MHz.</li><li>• Buena respuesta a las radiaciones ópticas de longitud de onda corta (ultravioleta).</li></ul>
<b>Avalancha (Avalanche)</b>		<p>Diodo rectificador en el que, mediante una técnica apropiada, se reparte la ruptura inversa, debida al fenómeno de avalancha, en todo el volumen de la unión. Debido a ello, el diodo soporta grandes corrientes en conducción inversa sin destruirse. <math>\pi</math> es una región de tipo P poco impurificada.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Tensiones inversas 150~200 V.</li><li>• La aceleración de los pares electrón-hueco genera nuevos pares debido a los choques con los electrones de los enlaces covalentes.</li><li>• Ganancia <math>\sim 100</math>, depende mucho de la temperatura.</li><li>• Muy rápidos.</li></ul>



# FOTODIODO

## Modelo y curvas características



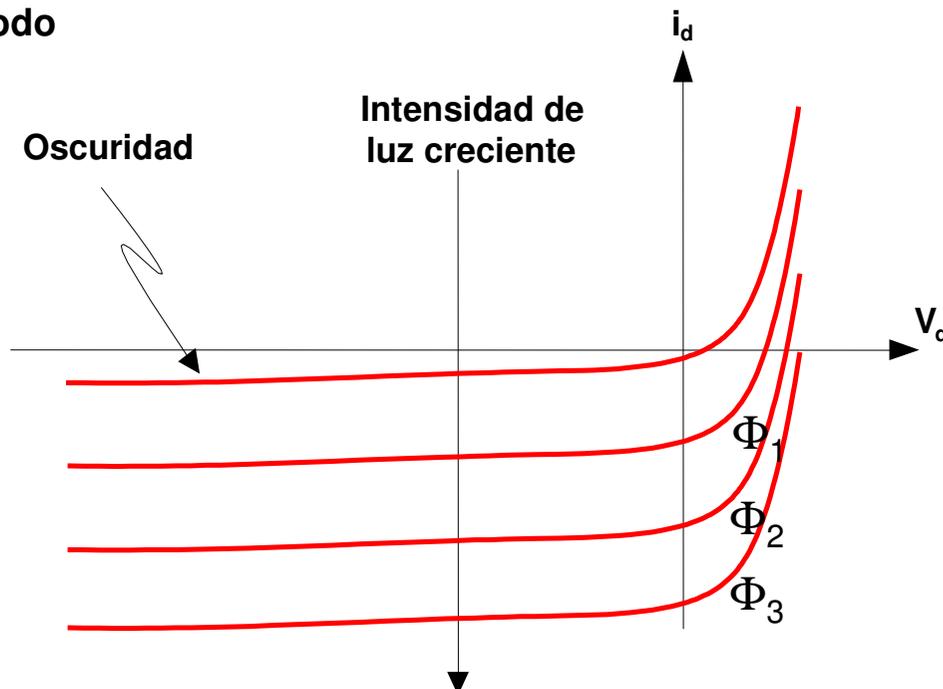
### Modelo eléctrico de un fotodiodo

$C_t$  = Capacidad de transición

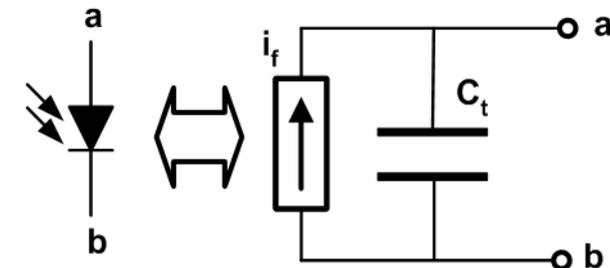
$R_i$  = Debida al semiconductor y los contactos

$R_p$  = Refleja el incremento de corriente al incrementar la tensión inversa

### Fotodiodo



Curvas características corriente-tensión de un fotodiodo

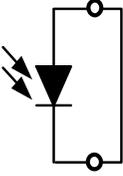
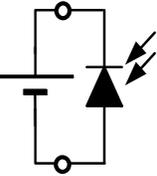
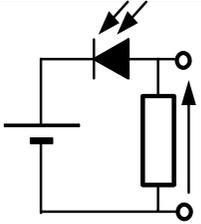
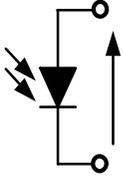
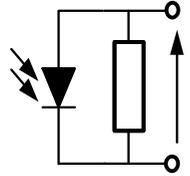
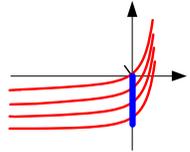
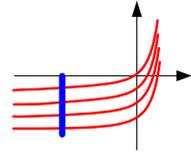
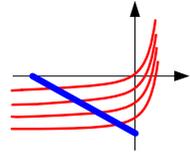
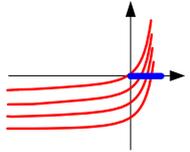
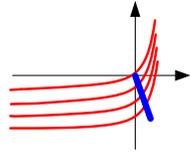


### Modelo eléctrico de un fotodiodo polarizado inversamente



# FOTODIODO

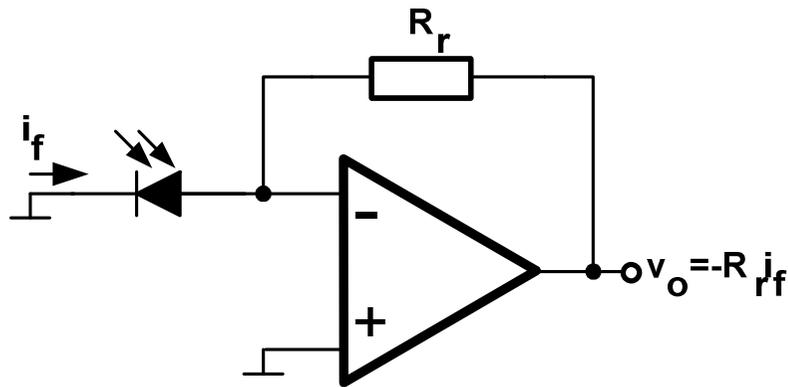
## Fundamentos de los circuitos básicos de acondicionamiento

	ZONA DE TRABAJO				
	Inversa			Directa	
<b>Circuito</b>	 (a)	 (b)	 (c)	 (d)	 (e)
<b>Objetivo</b>	Medida de la corriente a tensión cero	Medida de la corriente con una tensión inversa fija	Medida de la corriente en zona inversa sobre una resistencia de carga	Medida de la tensión en un circuito abierto	Medida en zona directa sobre una resistencia de carga
<b>Rectas de carga</b>					
<b>Linealidad</b>	Excelente	Buena	Aceptable	No es lineal	Media baja
<b>Dependencia con la temperatura</b>	Muy baja	Baja	Baja	Muy elevada	Elevada
<b>Corriente de oscuridad</b>	Baja	Elevada	Media	Muy baja	Muy baja
<b>Tiempo de respuesta</b>	Medio	Muy pequeño	Medio	Alto	Alto
<b>Ruido</b>	Medio	Alto	Alto	Bajo	Bajo
<b>Comentarios</b>	Excelentes características generales	Adecuado cuando se requiere un ancho de banda elevado	Muy simple. Aplicaciones poco exigentes	No es lineal. Poco recomendable	Comportamiento intermedio entre los circuitos (a) y (d). Ruido reducido

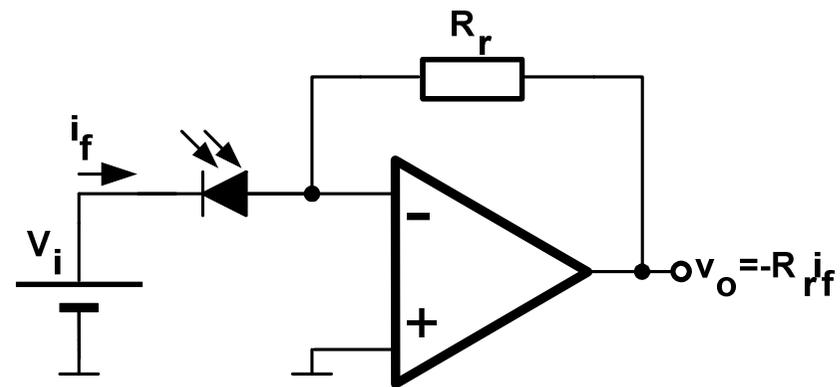


## FOTODIODO

### Circuitos básicos de acondicionamiento (convertidor corriente-tensión)



Medida de la fotocorriente con tensión cero en extremos del fotodiodo



Medida de la fotocorriente con el fotodiodo polarizado inversamente

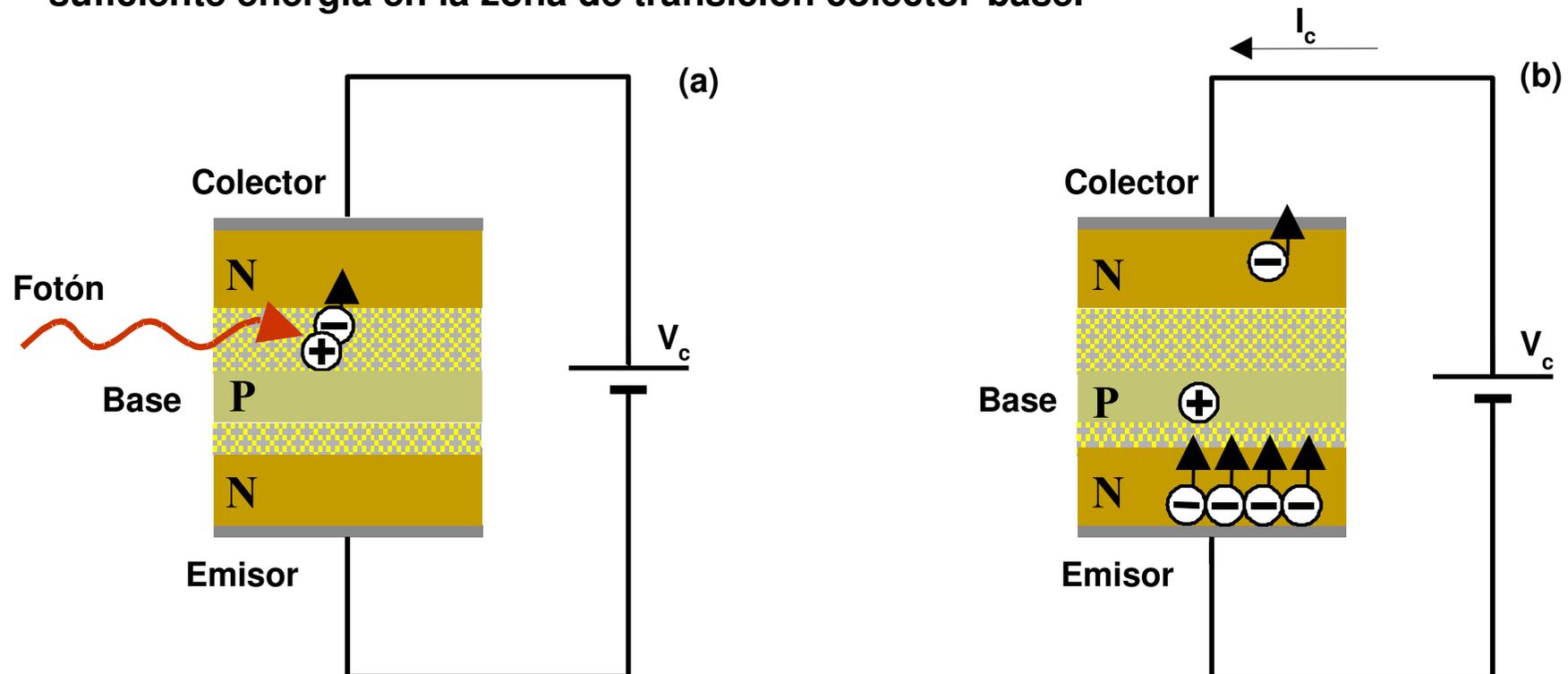
Tanto en un caso como en el otro, la fotocorriente es muy pequeña (del orden del nA a  $\mu$ A). Esto obliga a que  $R_r$  tenga que ser elevada (desde centenas de  $K\Omega$  hasta centenas de  $M\Omega$ ). El AO debe tener una corriente de polarización prácticamente nula.



## SENSORES SENSIBLES A LA LUZ: FOTOTRANSISTOR

[PERE 04 pág 405] [PALL 03 pag 362]

Transistor bipolar en el que la corriente de base se produce mediante el fenómeno fotoeléctrico de generación de pares electrón-hueco cuando incide un fotón con suficiente energía en la zona de transición colector-base.

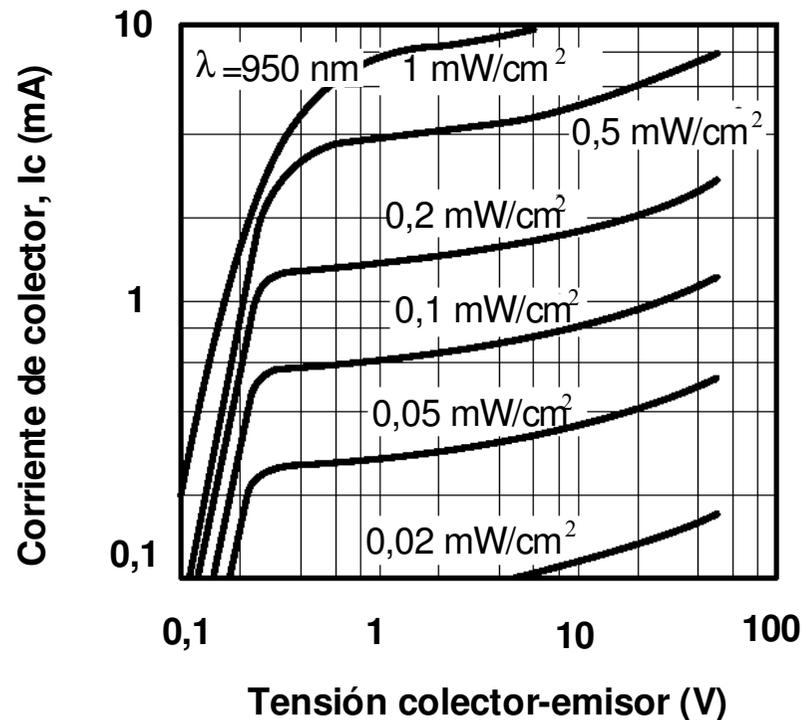


Generación de un par electrón-hueco al incidir un fotón con energía mayor que la banda prohibida

Una vez que el hueco alcanza la zona N provoca la inyección de un elevado número de electrones para cancelarlo y todos menos uno, alcanzan el colector



## FOTOTRANSISTOR



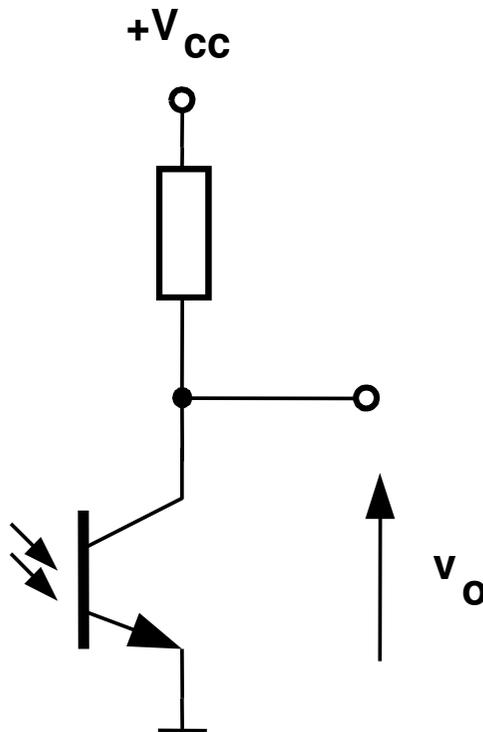
Curvas características del fototransistor  
BPW77N sensible a radiaciones de  $\lambda = 950 \text{ nm}$

- Mayor ganancia que el fotodiodo
- Depende más de la temperatura y tiene mayor tiempo de respuesta que el fotodiodo
- Solo se utiliza como detector de nivel de luz en sensores todo-nada (*On-off*) o en optoacopladores (*Optocouplers*)

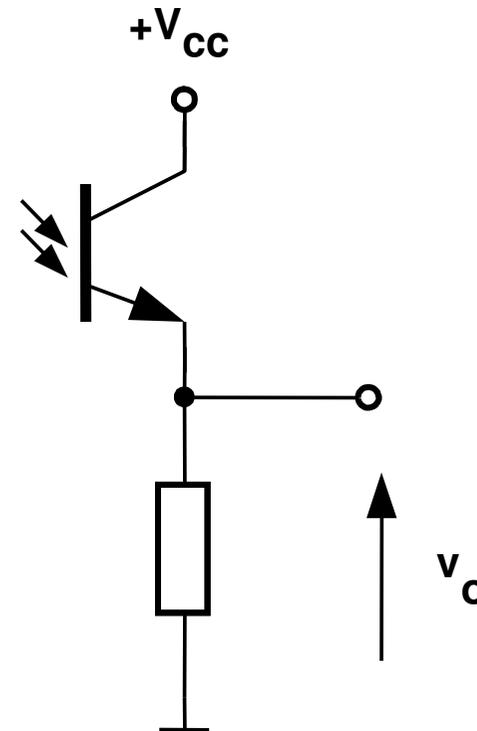


# FOTOTRANSISTOR

## Circuitos básicos de acondicionamiento de fototransistores



(a) Salida por colector



(b) Salida por emisor



## APLICACIONES DE LOS FOTODIODOS Y DE LOS FOTOTRANSISTORES

- **Medida de la intensidad de luz (Fotómetros).**
- **Detección de la luz procedente de una fuente: Combinación de un emisor de luz (en general un diodo luminoso o un diodo de infrarrojos) con un elemento sensible a la luz.**
  - **Detectores de objetos**
  - **Optoacopladores (*Optocouplers, Optoisolators*)**
  - **Codificadores de posición (*Encoders*)**



## SENSORES SENSIBLES A LA LUZ: SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DE POSICIÓN

Sensor optoelectrónico conocido por las siglas PSD (*Position Sensing Detector*), que proporciona una señal cuyo nivel es función de la posición en la que incide sobre él un haz de luz.

Existen varios tipos de PSD:

- *Fotodetector Knife edge photodetector.*
- *Fotodetector Bicelular o Cuadricelular (Bicell or Quadcell photodetector).*
- *Fotodiodo Lateral (Continuous solid-state position sensor or lateral effect photodetector).*



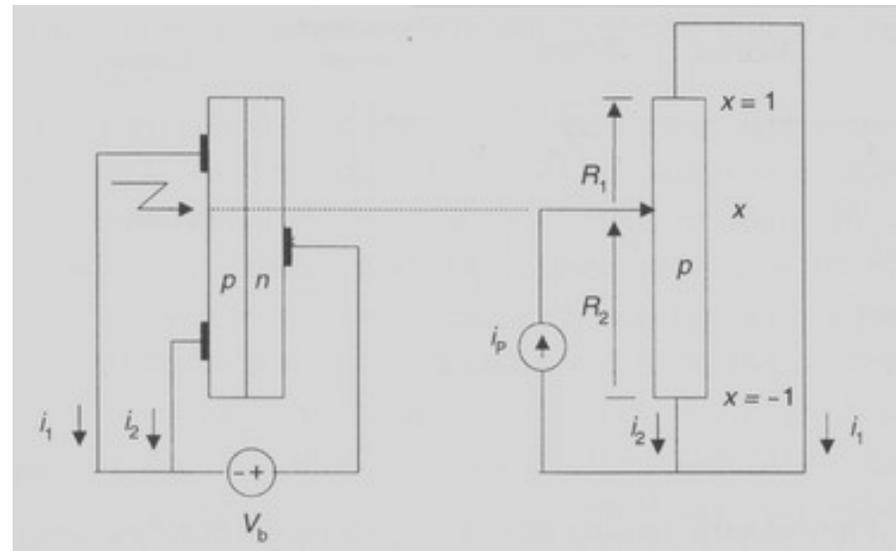
## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DE POSICIÓN

### Fotosensor o fotodiodo lateral (*Lateral photodetector*)

Fotodiodo en el que una de las capas posee dos contactos óhmicos y trabaja como un potenciómetro optoelectrónico.

Aplicando la misma tensión a los dos terminales, la fotocorriente  $i_p$  se divide en dos componentes  $i_1$  e  $i_2$ , tal que  $i_1 R_1 = i_2 R_2$ , es decir que la relación entre las corrientes es proporcional a la posición en la que el haz de luz incide sobre la superficie del sensor:

$$x = \frac{R_2 - R_1}{R_2 + R_1} = \frac{i_1 - i_2}{i_1 + i_2}$$



Circuito real

Modelo simplificado

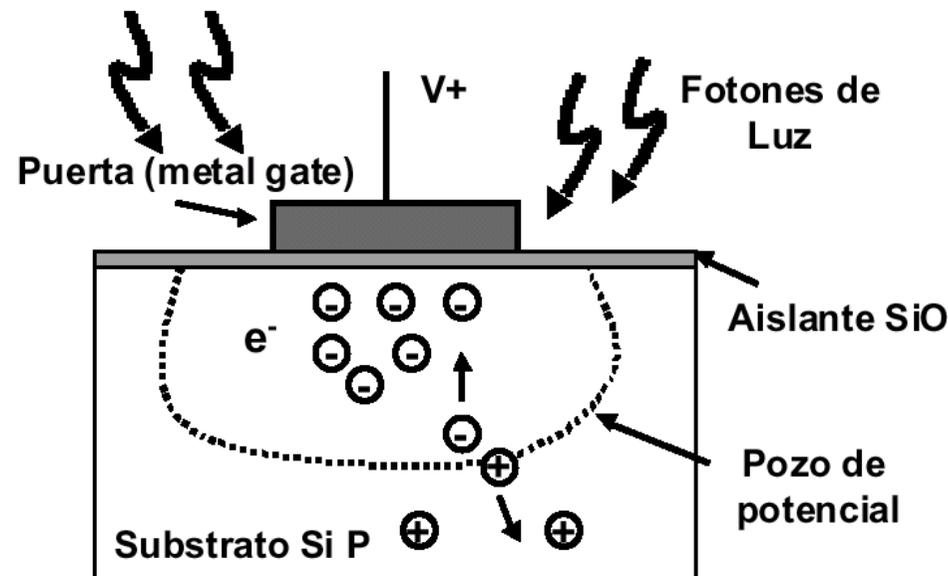


## SENSORES SENSIBLES A LA LUZ: SENSOR DE IMÁGENES (IMAGE SENSOR) [PERE 04 pág. 413] [PALL 03 pág. 401]

### Fotosensor capacitivo

Sensor constituido por una puerta (electrodo) colocada sobre un dieléctrico que a su vez está situado sobre un sustrato semiconductor.

Al incidir un fotón en la zona situada debajo de la puerta polarizada positivamente, el electrón del par electrón-hueco creado queda atrapado en ella.



Fotosensor capacitivo



## SENSOR DE IMÁGENES (*IMAGE SENSOR*)

### Definición

Sensor optoelectrónico que combina una matriz de fotosensores capacitivos con un circuito de acoplamiento de cargas. Se le conoce como CCD (*Charge Coupled Devices*).

### CCD

Conjunto de transistores MOS conectados en serie de tal forma que la carga almacenada en la capacidad de uno de ellos se puede transferir al adyacente aplicando impulsos a un terminal de control. Constituye, por lo tanto, un registro de desplazamiento analógico en el que la carga de cada uno de los elementos que lo forman se transfiere al siguiente.

Cuando los transistores MOS son fotosensores, el CCD se convierte en un sensor de imágenes.

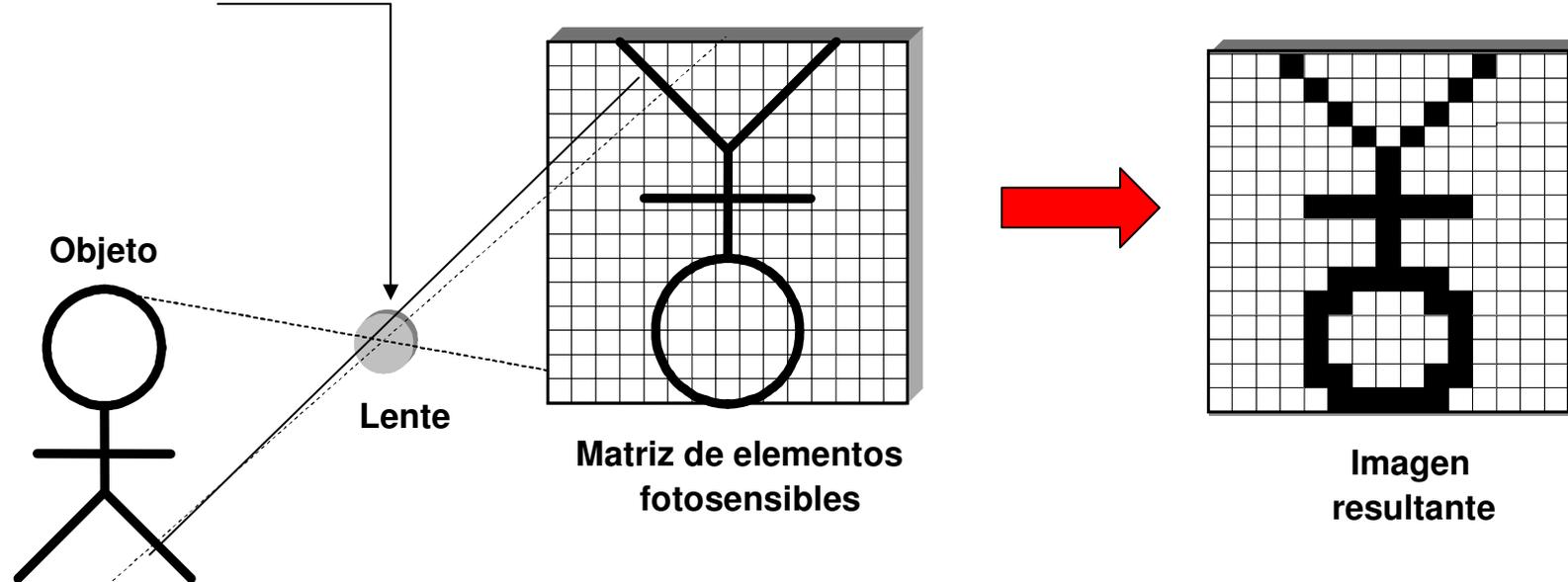


## SENSOR DE IMÁGENES (*IMAGE SENSOR*)

### Fases de funcionamiento de un CCD

1º) Conversión de una imagen en un conjunto de cargas situadas en elementos fotosensibles (pixels)

Enfoca la luz sobre el sensor



Obtención de una imagen de un objeto mediante una matriz de elementos fotosensibles



## SENSOR DE IMÁGENES (*IMAGE SENSOR*)

### Fases de funcionamiento de un CCD

- 2º) Transferencia o desplazamiento de las cargas

La transferencia de las cargas se realiza mediante una secuencia de impulsos que se aplican a los electrodos de control.

Según el tipo de fotosensor capacitivo la transferencia de las cargas se realiza mediante una secuencia de:

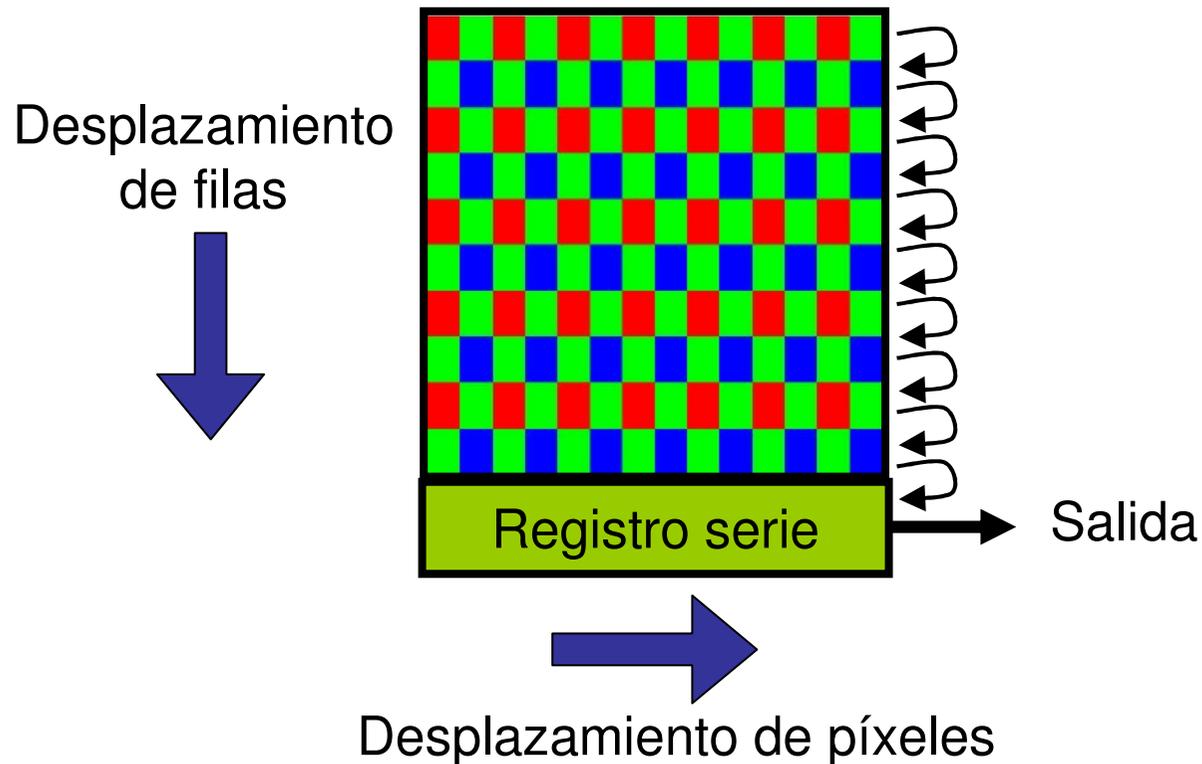
- 4 impulsos
- 3 impulsos
- 2 impulsos aplicados a cuatro electrodos
- 2 impulsos aplicados a dos electrodos (auténticas dos fases)



## SENSOR DE IMÁGENES (*IMAGE SENSOR*)

### Fases de funcionamiento de un CCD

- 2º) Transferencia o desplazamiento de las cargas





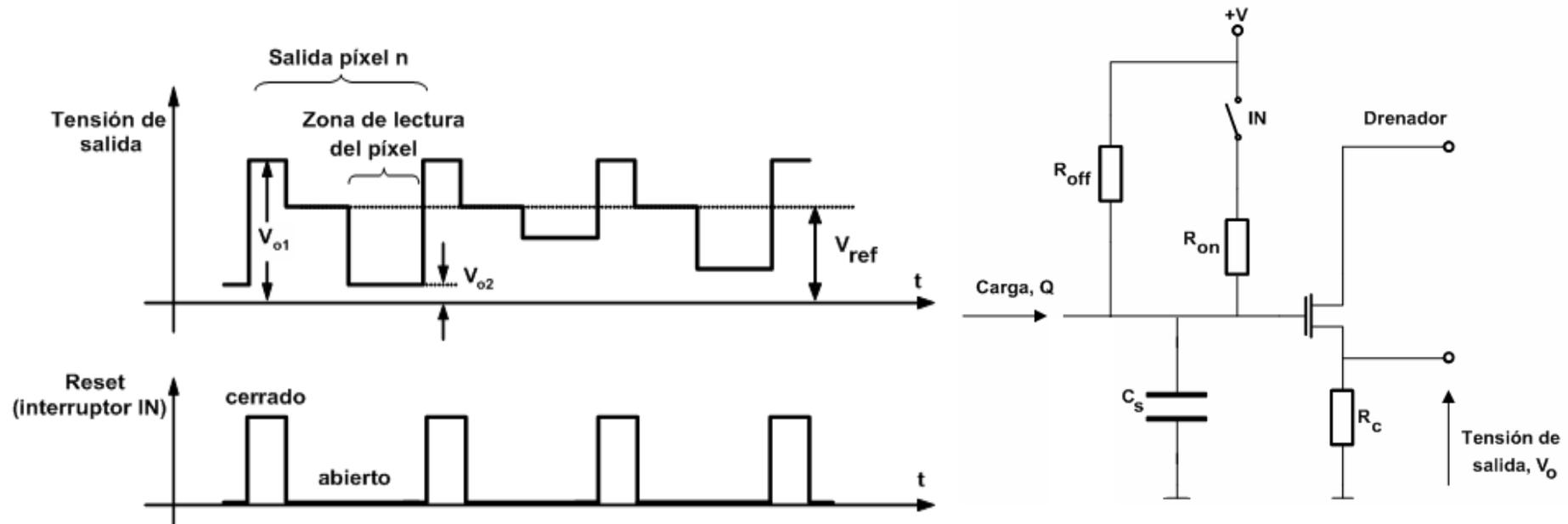
## SENSOR DE IMÁGENES (IMAGE SENSOR)

### Fases de funcionamiento de un CCD

#### ▪ 3º) Conversión de la carga en una tensión

Realiza la conversión de la carga en una tensión. Para ello se transfiere la carga  $Q$  de cada elemento sensible a un condensador  $C_S$  que controla un transistor MOS en seguidor de surtidor.

Antes de transferir cada carga  $Q$  a  $C_S$ , este debe ser puesto a una tensión de referencia.



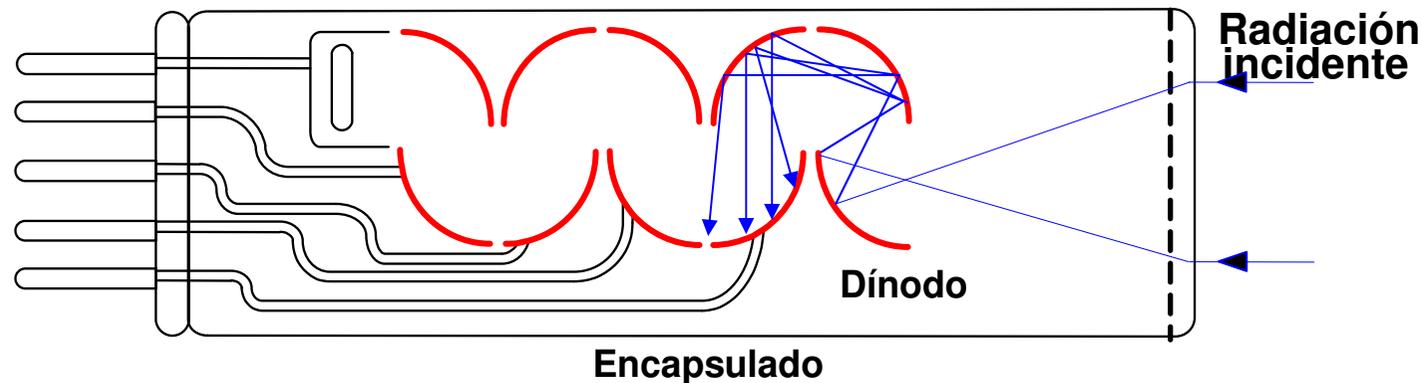


## FOTOMULTIPLICADORES [PHOTOMULTIPLIER TUBE (PMT)]

[PERE 04 pág 423]

### Fotomultiplicador

Dispositivo electrónico de vacío que genera a su salida una corriente proporcional a la luz incidente. Basado en el efecto fotoeléctrico, que produce una emisión de electrones cuando un fotón incide en un elemento recubierto con un material fotoemisor.

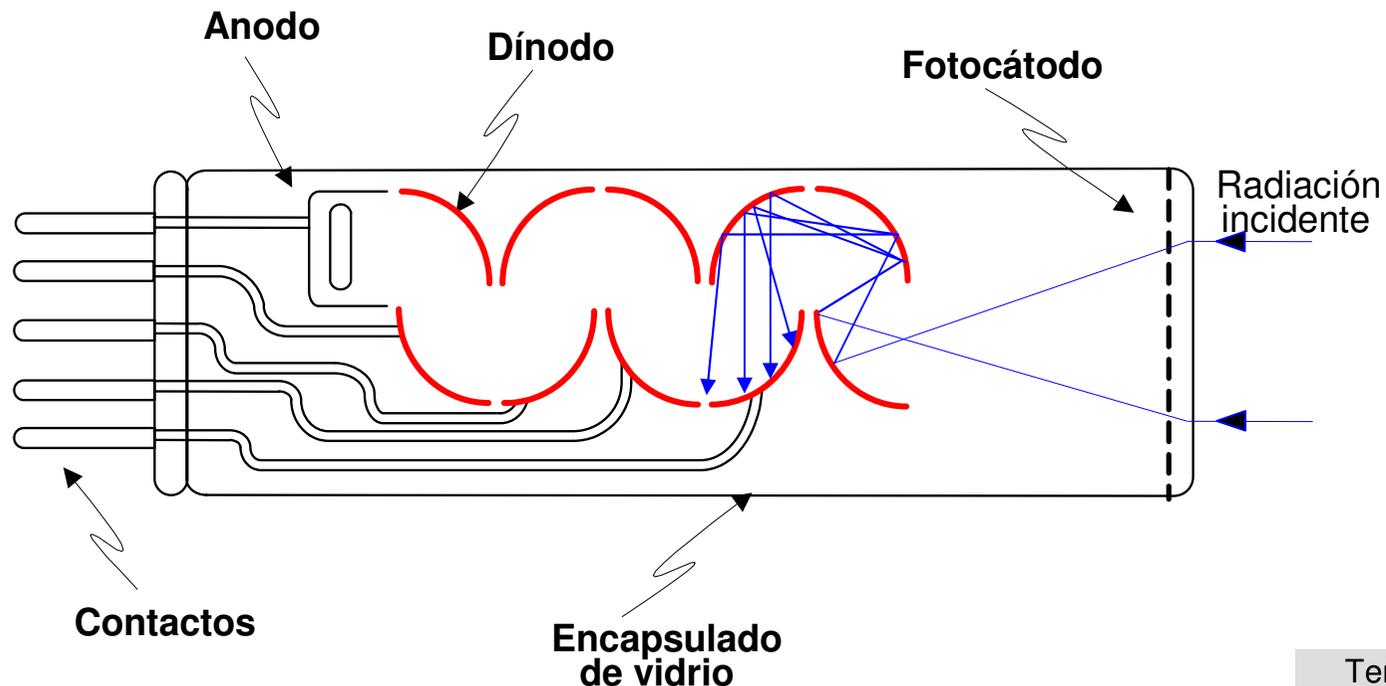




## FOTOMULTIPLICADORES [PHOTOMULTIPLIER TUBE PMT]

### Elementos

- **Fotocátodo:** Elemento recubierto de un material fotoemisor de electrones
- **Multiplicador de electrones:** Conjunto de electrodos, denominados dínodos, que emiten varios electrones cuando incide un electrón sobre ellos.
- **Ánodo:** Recoge todos los electrones y proporciona a la salida una corriente proporcional a la luz incidente.

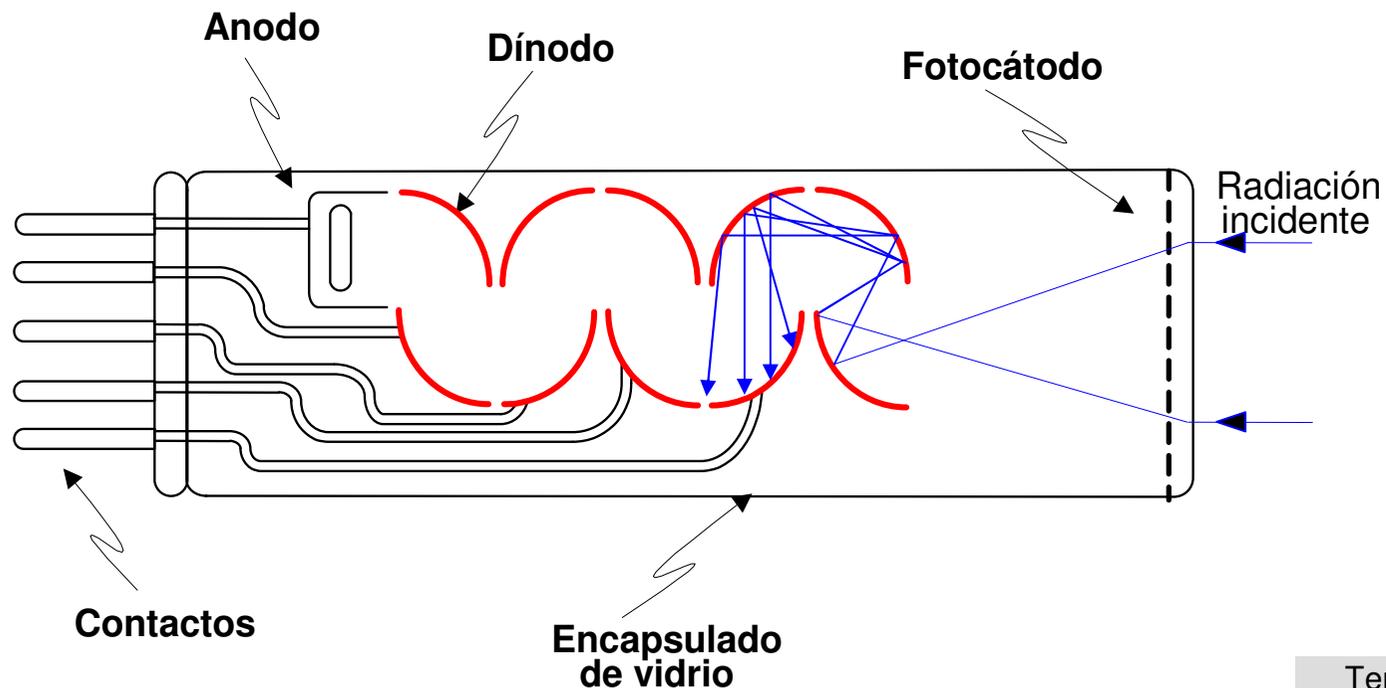




## FOTOMULTIPLICADORES [PHOTOMULTIPLIER TUBE (PMT)]

### Funcionamiento

Los electrones se aceleran y se dirigen hacia un multiplicador de electrones formado por varios electrodos llamados dinodos, cada uno de los cuales emite electrones al recibir los del electrodo precedente. El ánodo, situado al final, recoge los electrones y a través de una resistencia de carga se genera una corriente proporcional a la luz que recibe el cátodo.





## FOTOMULTIPLICADORES [PHOTOMULTIPLIER TUBE (PMT) ]

### Características principales

- **Respuesta espectral:** Depende del material del fotocátodo.
- **Ganancia:** Relación entre la corriente del fotoánodo y la del fotocátodo.
- **Sensibilidad con respecto al ánodo:** Corriente de ánodo por vatio de luz incidente.
- **Corriente en oscuridad:** Corriente de salida cuando no incide luz en el fotocátodo.
- **Tiempo de respuesta:** Tiempo que tarda la corriente de ánodo en pasar del 10% al 90% al aplicar al tubo un escalón de luz.
- **Alimentación:** Entre 500 y 2.000 V.

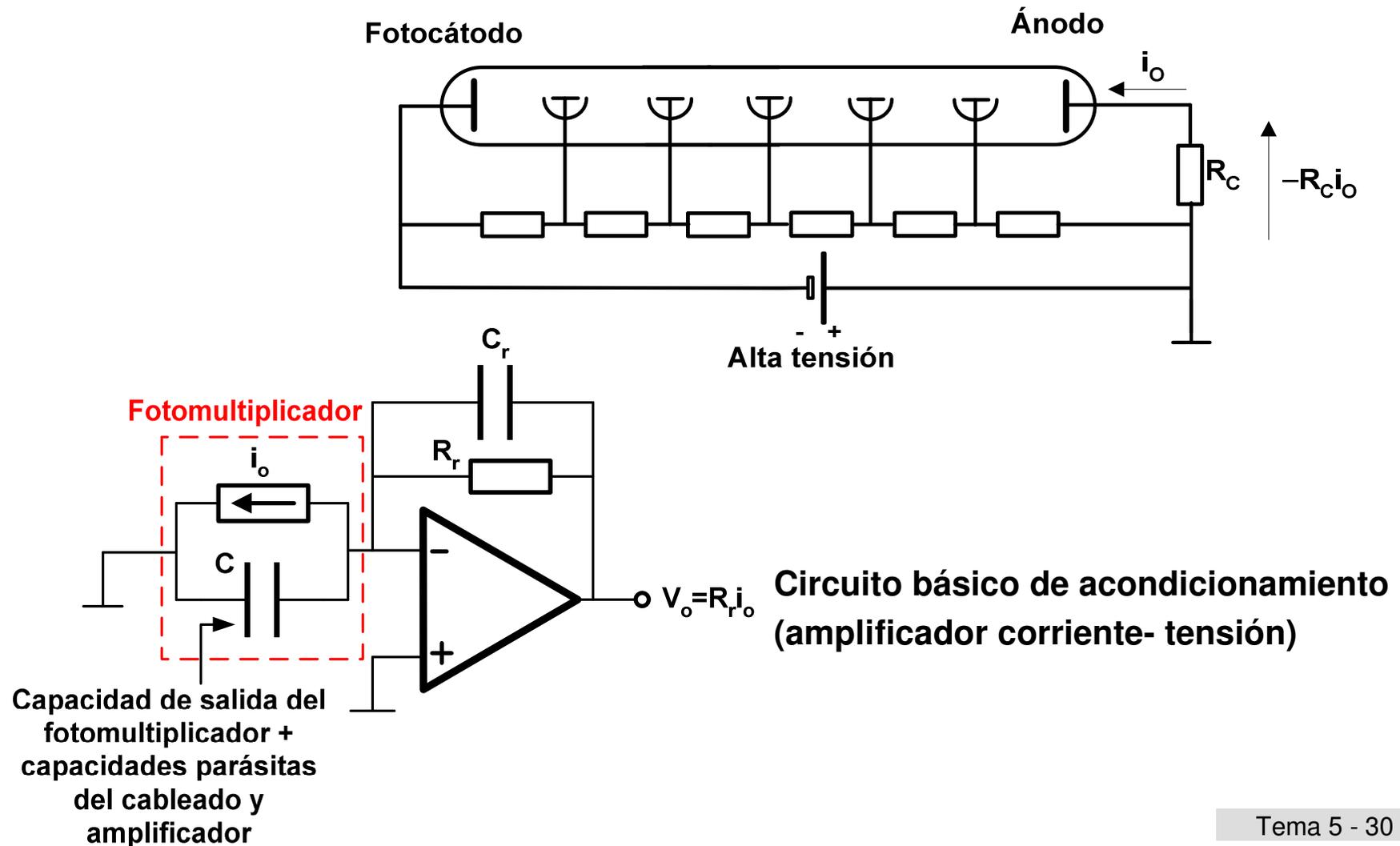
### Aplicaciones

Su sensibilidad le hace insustituible para medir niveles muy bajos de luz por ejemplo en visión nocturna y en sistemas de medida remota de contaminación atmosférica.



# FOTOMULTIPLICADORES [PHOTOMULTIPLIER TUBE (PMT)]

## Acondicionamiento de la señal





## DISPOSITIVOS OPTOELECTRÓNICOS EMISORES DE LUZ

Convierten el movimiento de cargas eléctricas en energía luminosa.

Los más utilizados son:

- Diodo Luminiscente (*Light Emitting Diode*) (LED)
- Diodo de infrarrojos (*Infrared Emitting Diode*) (IRED)
- Diodo láser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*)



# **DISPOSITIVOS OPTOELECTRÓNICOS EMISORES DE LUZ**

## **Dispositivos optoelectrónicos emisores de luz**

**Convierten el movimiento de las cargas eléctricas en energía luminosa. Los más utilizados se basan en las características de la unión P-N (diodos emisores de luz).**

**Cuando la unión P-N se polariza directamente, se inyecta en cada zona gran cantidad de portadores minoritarios procedentes de la otra.**

**Si la unión P-N está formada por un elemento del grupo III y otro del grupo V, así como sus mezclas, la inyección antes citada da lugar a un proceso de recombinación mediante el cual los electrones pasan de la banda de conducción a la de valencia y generan fotones.**

**La longitud de onda ( $\lambda$ ) de la radiación depende del intervalo  $E_g$  que separa la banda de conducción de la de valencia en los semiconductores utilizados.**

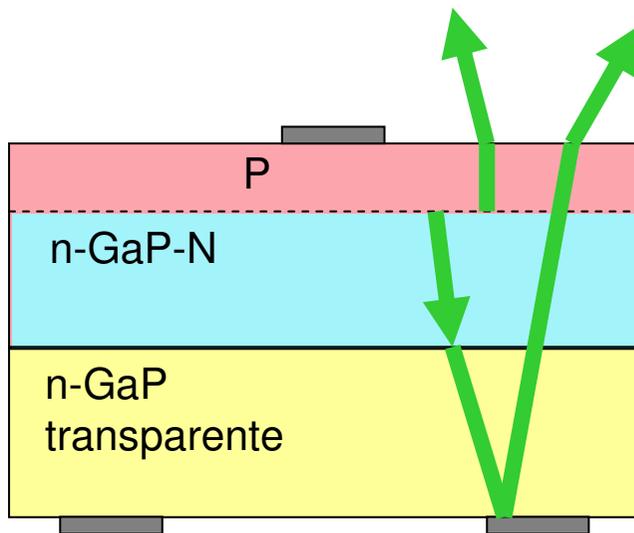


## DISPOSITIVOS OPTOELECTRÓNICOS EMISORES DE LUZ

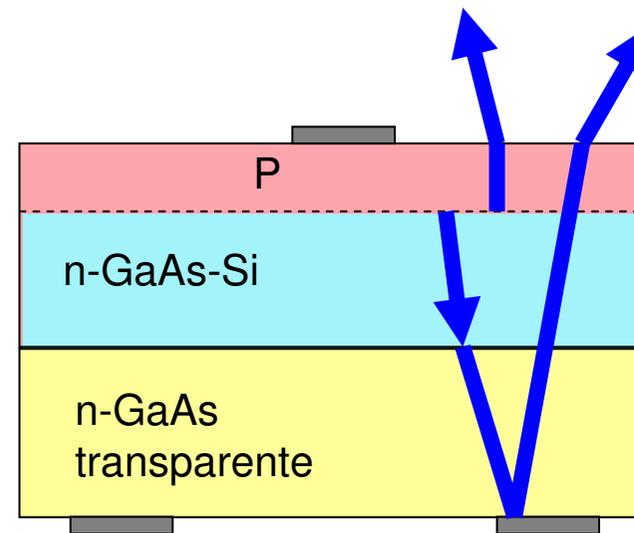
### Diodos emisores de luz (LED)

Según el tipo de elementos utilizados y la disposición de los mismos, los diodos emisores de luz son luminiscentes (*LED*), infrarrojos (*IREL*) o láser

Los luminiscentes (a) y los infrarrojos (b) generan luz mediante emisión espontánea al polarizarlos directamente.



(a)



(b)



## DISPOSITIVOS OPTOELECTRÓNICOS EMISORES DE LUZ

### Diodo láser emisor de luz

Los diodos láser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) se basan también en los fenómenos de la emisión de luz en la unión P-N, pero en ellos la generación de luz tiene lugar mediante emisión estimulada en lugar de espontánea.

La emisión estimulada se produce cuando la corriente directa que circula a través de la unión inyecta un número suficiente de portadores para que un fotón generado por la recombinación de una pareja electrón-hueco induzca más recombinaciones radiantes.

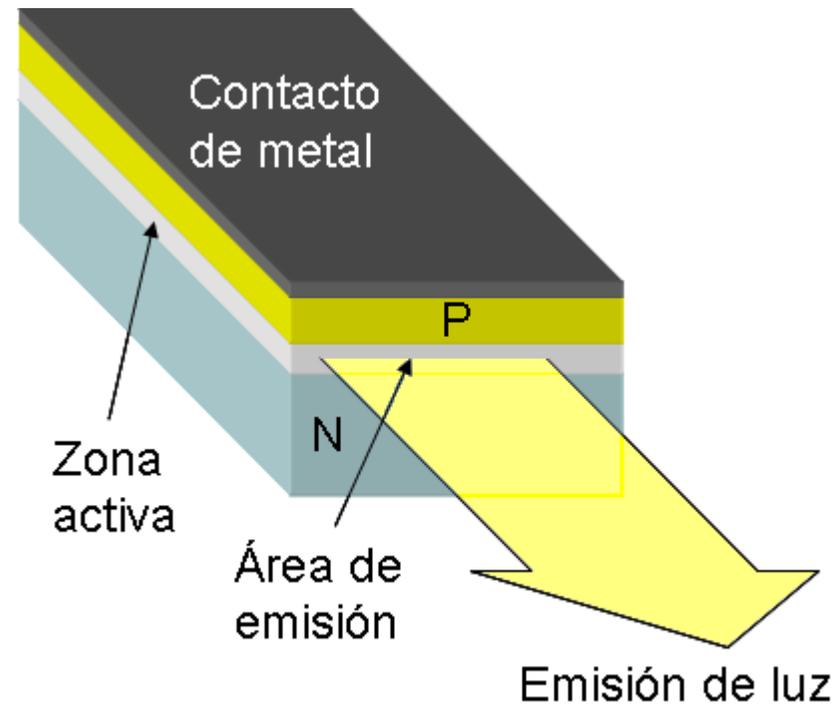


## DISPOSITIVOS OPTOELECTRÓNICOS EMISORES DE LUZ

### Estructura del diodo láser

El diodo láser consiste en una capa emisora (activa) de radiación situada entre otras dos capas de semiconductor.

La capa activa es estrecha para permitir la gran densidad de corriente necesaria para la acción láser. Dicha capa actúa también como guía de ondas a través de la cual se propaga la luz





## **SENSORES CON EMISOR Y RECEPTOR DE LUZ**

**Sensores que combinan un dispositivo emisor de luz y otro sensible a la luz.**

**Se caracterizan por estar compuestos por:**

- **Un emisor de luz que genera una radiación modulada dentro del espectro visible o infrarrojo cercano.**
- **Un receptor que recibe o no la radiación enviada por el emisor según que en su trayectoria encuentre o no un objeto.**
- **Elementos que se comportan de acuerdo con los principios de la óptica geométrica.**

**Además, utilizan en ocasiones, la polarización de la luz**

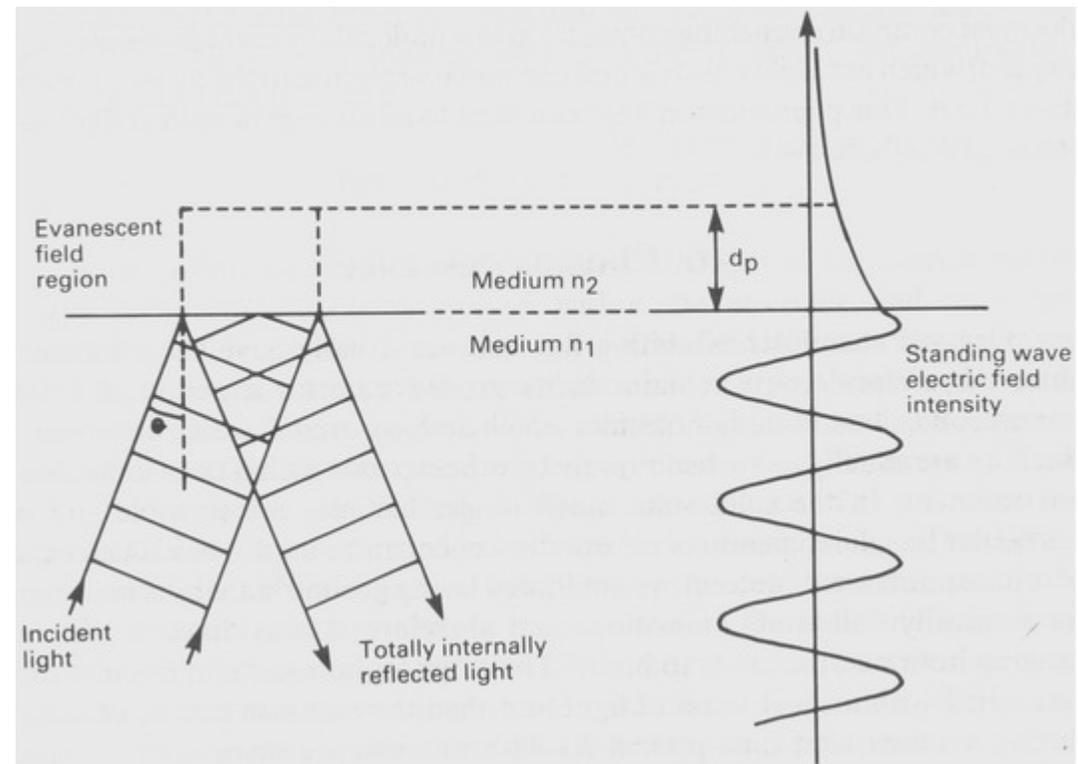


## SENSORES CON EMISOR Y RECEPTOR DE LUZ

### Evanescencia

Fenómeno que se produce cuando la luz incide con un ángulo superior al crítico en la superficie de separación entre dos medios. La luz incidente y la reflejada interactúan y el resultado es una perturbación estacionaria próxima a la superficie.

La forma más sencilla de interactuar con el campo evanescente se produce cuando un material absorbente se aproxima a la superficie de separación, lo que produce una atenuación de la onda reflejada.

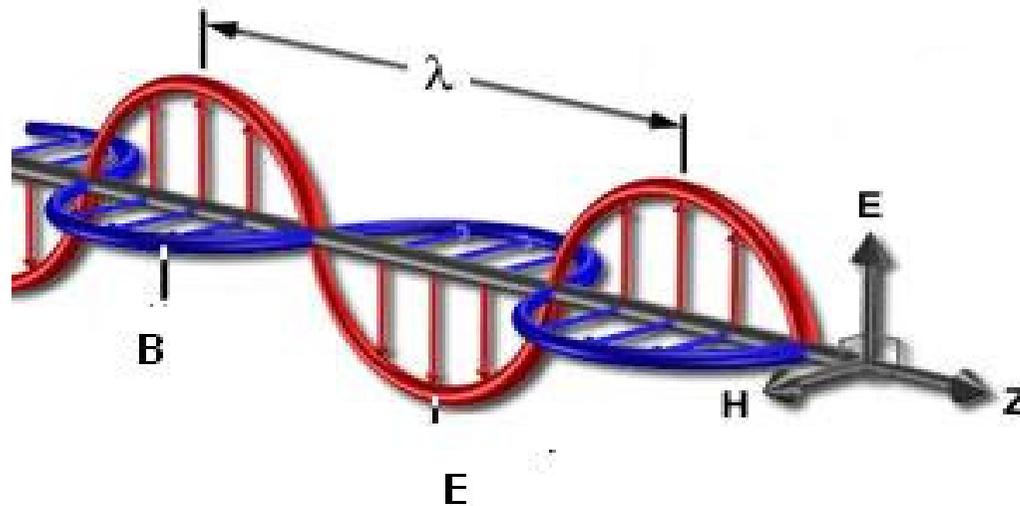




## SENSORES CON EMISOR Y RECEPTOR DE LUZ

### Polarización de la luz

Las ondas electromagnéticas se desplazan a lo largo de un eje y están formadas por un campo eléctrico **E** y un campo magnético **H** que oscilan perpendicularmente entre sí y con relación al desplazamiento.





## **SENSORES CON EMISOR Y RECEPTOR DE LUZ**

### **Polarización de la luz**

El término polarización hace referencia al hecho de que el campo eléctrico oscile en uno o más planos determinados.

Si la oscilación se mantiene siempre en un mismo plano se dice que la onda está polarizada linealmente.

Las ondas electromagnéticas generadas por un único elemento radiante están, por lo tanto, polarizadas, en cambio las que son generadas por diferentes emisores no oscilan en el mismo plano. Por lo tanto varios emisores próximos dan lugar a una onda electromagnética no polarizada. Este es el caso de los diodos luminiscentes e infrarrojos que están formados por un número muy elevado de átomos radiantes.



## SENSORES CON EMISOR Y RECEPTOR DE LUZ

### **Polarización de la luz**

La luz no polarizada se puede convertir en polarizada mediante los siguientes fenómenos:

- **Absorción**
- **Dispersión (*Scattering*)**
- **Reflexión**
- **Birrefringencia**

A continuación se analizan los fenómenos de absorción y dispersión, que se utilizan en algunos sensores.

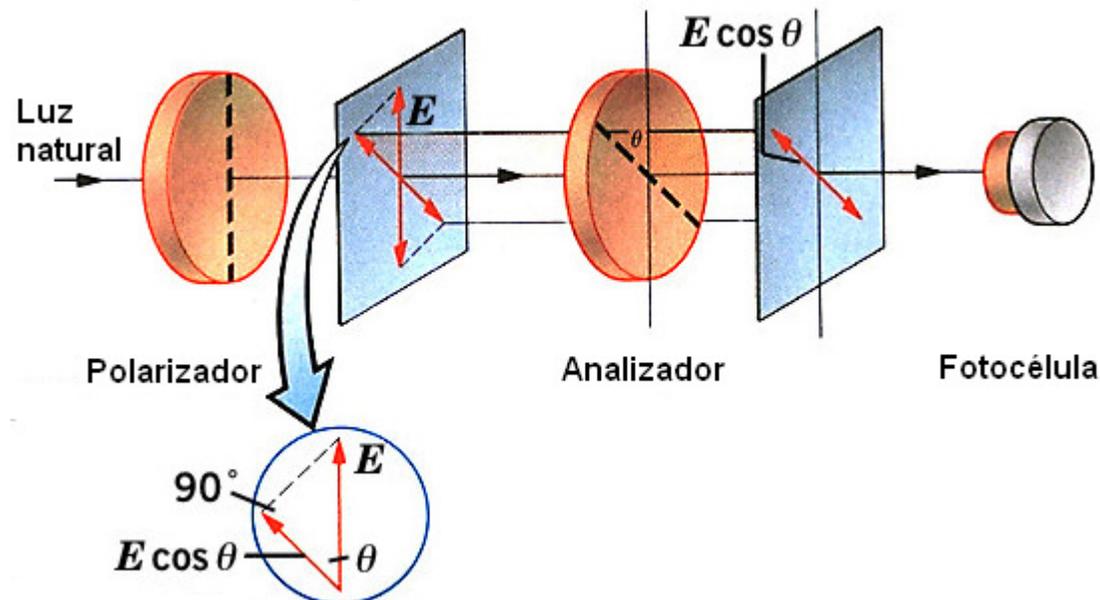


## SENSORES CON EMISOR Y RECEPTOR DE LUZ

### Polarización de la luz por absorción

Algunos materiales naturales (turmalina) y sintéticos (polaroide) son anisótropos y sus propiedades físicas dependen de la dirección. Por ello dichos medios absorben o transmiten la luz en función de la polarización de la misma.

Cuando a dichos materiales se les aplica luz no polarizada solo dejan pasar determinada componente y producen luz polarizada en una dirección denominada eje de transmisión.



Si en el camino de la luz se coloca un segundo polarizador (**analizador**) cuyo eje de transmisión forma un ángulo  $\theta$  con respecto al del primero a través de ella se transmite un campo eléctrico de valor  $E \cos \theta$ . Si  $\theta = 90^\circ$  el campo eléctrico es nulo.



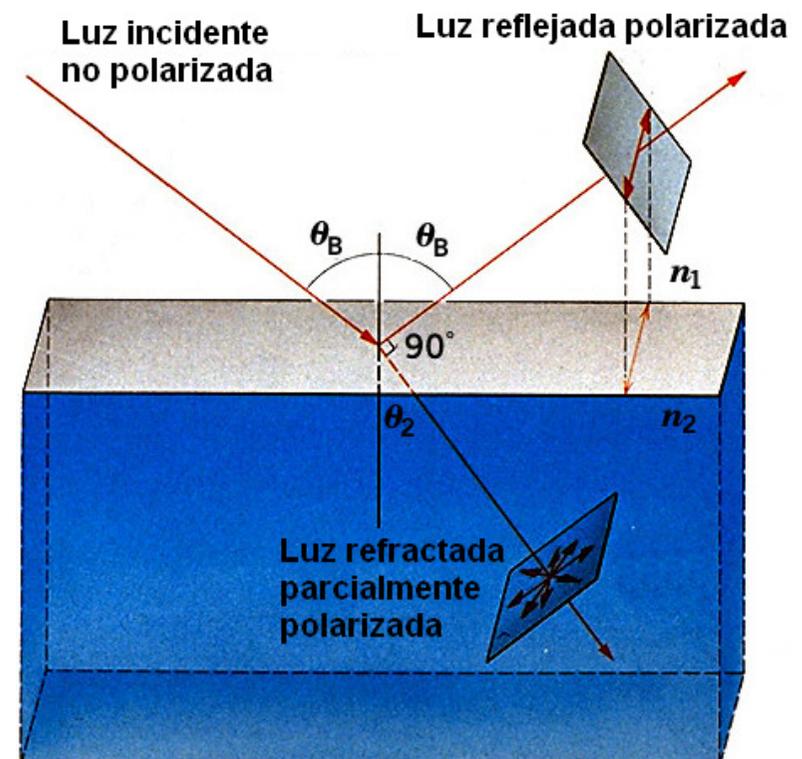
## SENSORES CON EMISOR Y RECEPTOR DE LUZ

### Polarización de la luz por reflexión

Cuando la luz no polarizada se refleja en una superficie plana entre dos medios transparentes con distinto índice de refracción ( $n_1$ ,  $n_2$ ), la luz reflejada está parcialmente polarizada. El grado de polarización depende del ángulo de incidencia y de  $n_1$  y  $n_2$ .

Cuando los rayos refractados y reflejados son perpendiculares, la onda reflejada está totalmente polarizada.

El ángulo de incidencia para el que ocurre este fenómeno se denomina  $\theta_p$ , que cumple la ecuación  $\text{tg}\theta_p = n_2/n_1$ .





## **SENSORES CON EMISOR Y RECEPTOR DE LUZ**

Se pueden realizar de distintas formas que tienen, por ello, diferentes aplicaciones.

- Detectores de color
- Detectores de humo
- Turbidímetros
- Espectrofotómetros de absorción
- Detectores de objetos
- Codificadores de posición
- Velocímetros
- Medida de pequeños desplazamientos
- Transferencia de información con aislamiento galvánico (optoacopladores)



## SENSORES CON EMISOR Y RECEPTOR DE LUZ

### Sensores de color

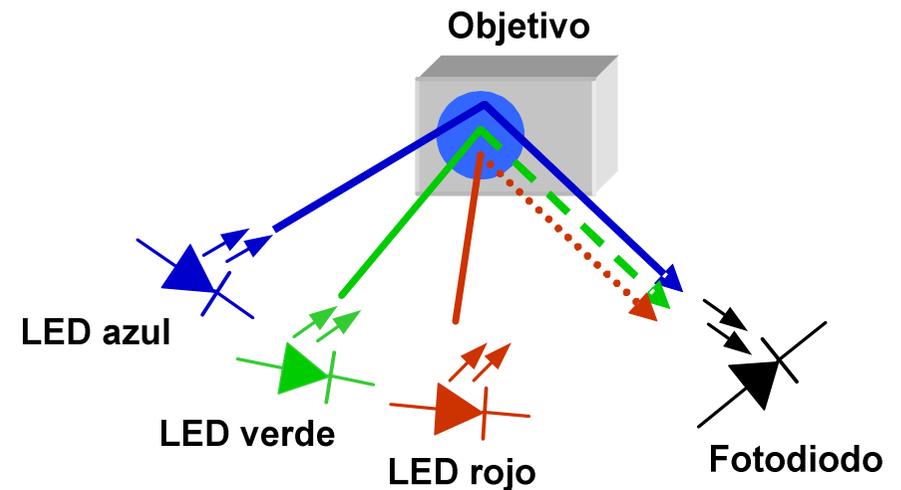
Sensores que detectan el color de un objeto.

Están formados habitualmente por tres diodos luminiscentes (LED) (azul, verde y rojo) que se iluminan secuencialmente y un fotodiodo que recibe parte de la luz reflejada en el objeto.

La cantidad de luz de cada color recibida por el fotodiodo es función del color del objeto.

### Ejemplo de aplicación

Detección de piezas marcadas con etiquetas de distintos colores.



Principio de funcionamiento  
de un sensor de color

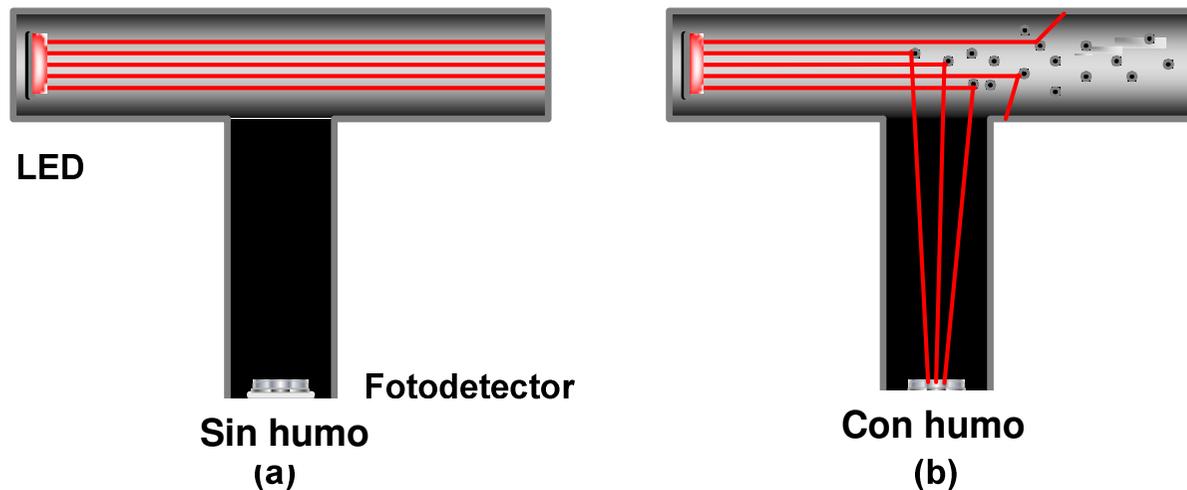


## SENSORES CON EMISOR Y RECEPTOR DE LUZ

### Detectores de humo

Están formados por un diodo luminiscente (LED) y un fotodiodo cuyos ejes de emisión y recepción forman un ángulo de 90°.

En ausencia de humo la luz del diodo luminiscente no llega al fotodiodo. En presencia de humo las partículas que lo forman dispersan parte de la luz y la envían hacia el fotodiodo.



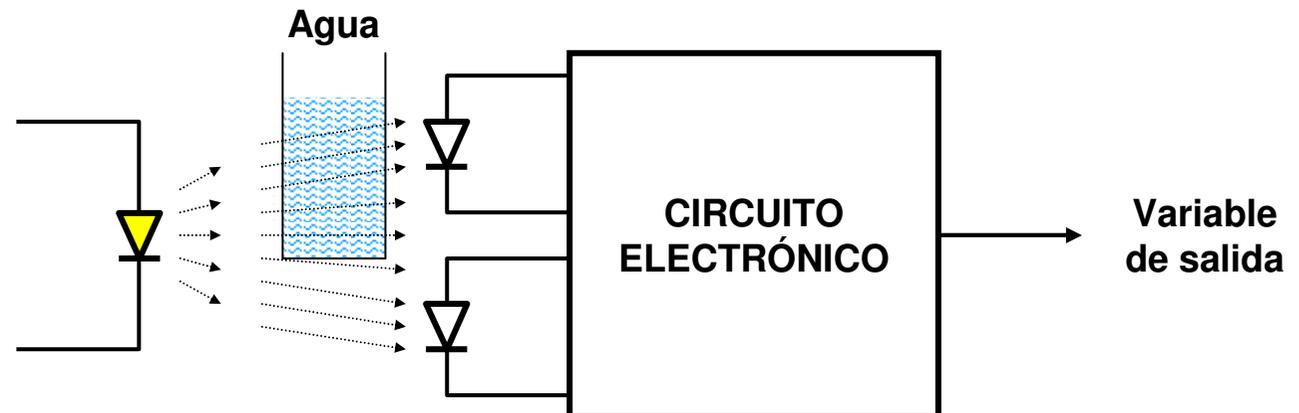


## SENSORES CON EMISOR Y RECEPTOR DE LUZ

### Turbidímetros

Sensores que miden la cantidad de partículas sólidas contenidas en el agua.

Se basan en el mismo principio de funcionamiento que los detectores de humo. Miden la diferencia entre la luz que recibe directamente un fotodiodo y la que recibe otro a través del agua.



### Aplicaciones

- Control de calidad del agua
- Lavadoras “inteligentes”



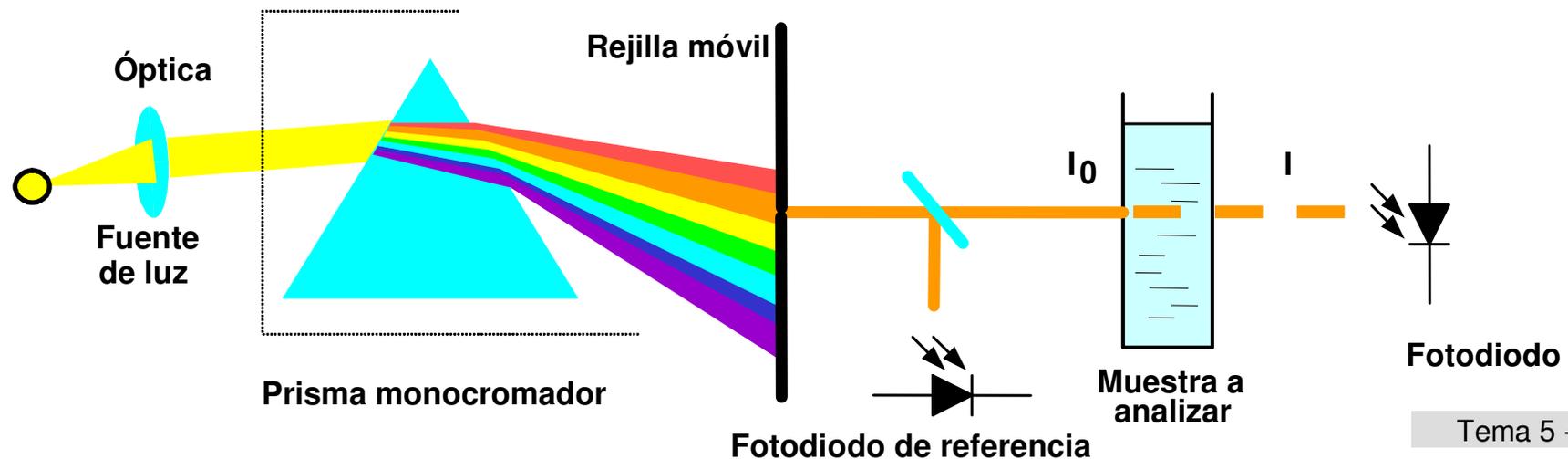
## SENSORES CON EMISOR Y RECEPTOR DE LUZ

### Espectrofotómetro de absorción

Instrumento que mide la cantidad de radiación electromagnética absorbida por un material. En general está comprendida entre el ultravioleta y el infrarrojo cercano. Se compone de:

- Una fuente de luz que emite radiaciones de las longitudes de onda adecuadas.
- Un monocromador (por ejemplo un prisma) que selecciona una banda espectral estrecha.
- Un rejilla desplazable.
- Un recipiente con la muestra.
- Un fotodiodo.

La medida se suele hacer mediante comparación de la luz recibida por un fotodiodo (de referencia) situado antes de la muestra a analizar y otro fotodiodo que recibe la luz que pasa a través de la muestra.





## SENSORES CON EMISOR Y RECEPTOR DE LUZ

### SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DETECTORES DE OBJETOS

[MAND 09 pág 509]

Detectan la presencia de un objeto mediante fenómenos relacionados con la luz. Suelen recibir diferentes nombres entre los que cabe citar:

- **Fotocélulas (*Photoelectric Switches or photocells*)**
- **Detectores optoelectrónicos (*Optoelectronic detectors*)**
- **Sensores de proximidad ópticos (*Optical proximity sensors*)**
- **Detectores de proximidad fotoeléctricos (*Proximity photoelectric detectors*).**

Se componen, en general, de un emisor y un receptor. El emisor genera un rayo de luz dentro del espectro visible, infrarrojo cercano o láser. El receptor recibe o no el rayo emitido por el emisor, o lo recibe con algún cambio específico de sus características, según que en su trayectoria encuentre o no el objeto a detectar.



# SENSORES CON EMISOR Y RECEPTOR DE LUZ

## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DETECTORES DE OBJETOS

**Clasificación  
de los sensores  
optoelectrónicos  
detectores  
de objetos**

• De barrera de luz

Cabeza de herradura  
(*Grooved head*)

Emisor y receptor separados

• De reflexión

Sobre espejo

Sobre objeto

• Difusa

• Definida



## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DETECTORES DE OBJETOS

[MAND 09 pág 509]

### Consideraciones importantes

- Tanto los sensores optoelectrónicos de barrera de luz con emisor y receptor separados como los de reflexión reciben la denominación de fotocélulas (*photocells*) porque integran elementos electrónicos y ópticos.
- Los sensores de barrera de luz con emisor y receptor separados y los de reflexión utilizan radiaciones ópticas moduladas para evitar la influencia de la luz ambiente, que se elimina mediante un filtro electrónico.

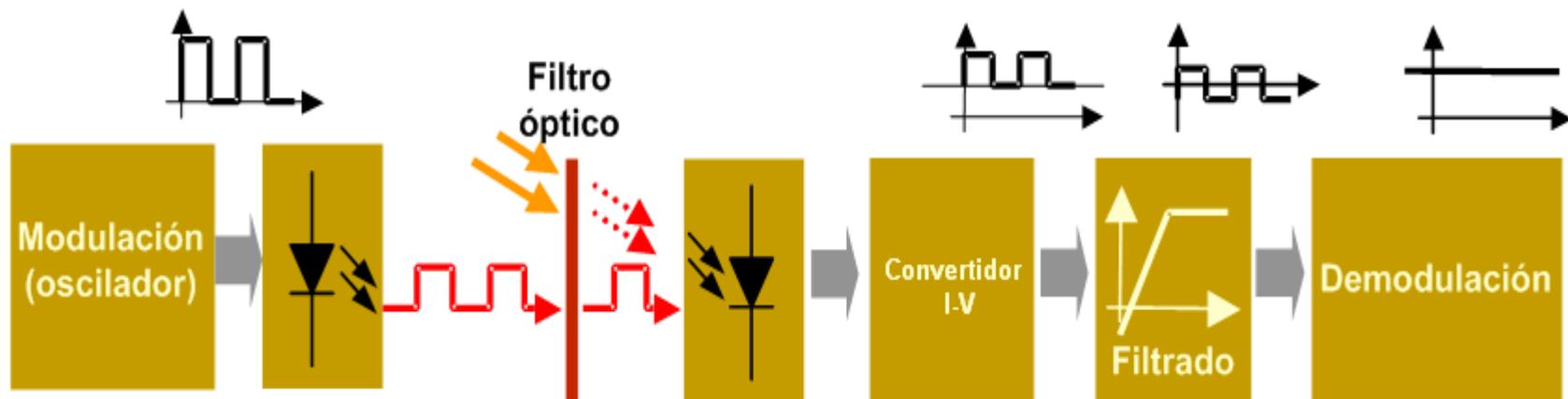


Diagrama de bloques típico de un sistema basado en la transmisión de la luz desde un emisor a un receptor

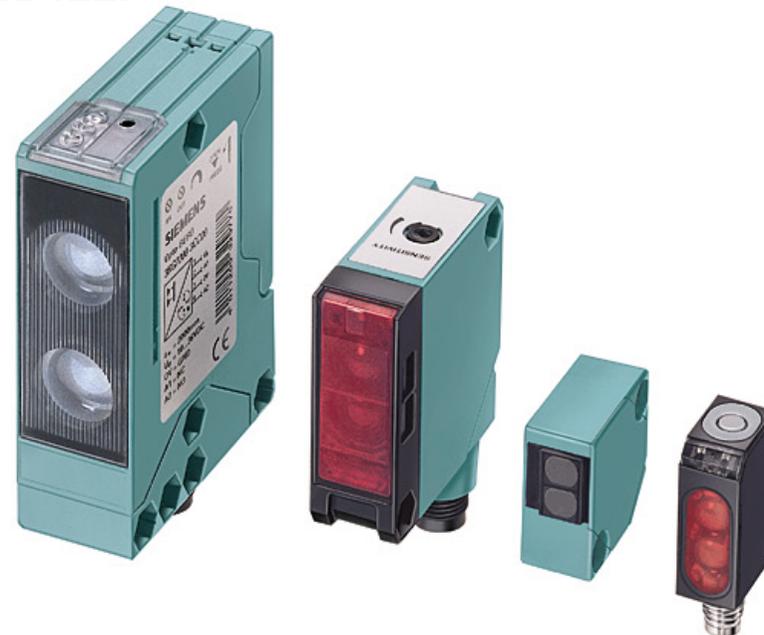


## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DETECTORES DE OBJETOS

### **Sensores de barrera de luz (*Through-beam photocells*)**

Están constituidos por un emisor y un receptor dispuestos de tal forma que en ausencia de un objeto los rayos alcanzan al receptor y constituyen una barrera.

Detectan un objeto que se coloca entre el emisor y el receptor e interrumpe el haz de luz.





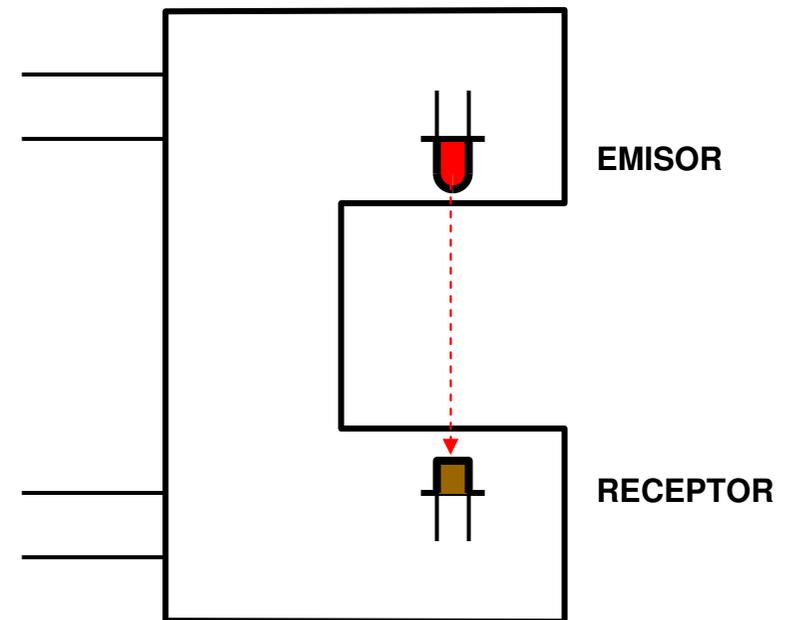
## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DETECTORES DE OBJETOS

### Sensores de barrera de luz en herradura

Formados por un emisor y un receptor de luz ensamblados conjuntamente en una estructura con forma de herradura (*Grooved optical sensor*).

#### Aplicaciones

- Detección de posición de un elemento de enclavamiento. Ejemplo: Detección de la inserción de un disco flexible dentro de un computador.
- Conteo del número de vueltas de un eje. Ejemplo: Disco perforado de un ratón.





## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DETECTORES DE OBJETOS

### Sensores de barrera de luz con emisor y receptor separados

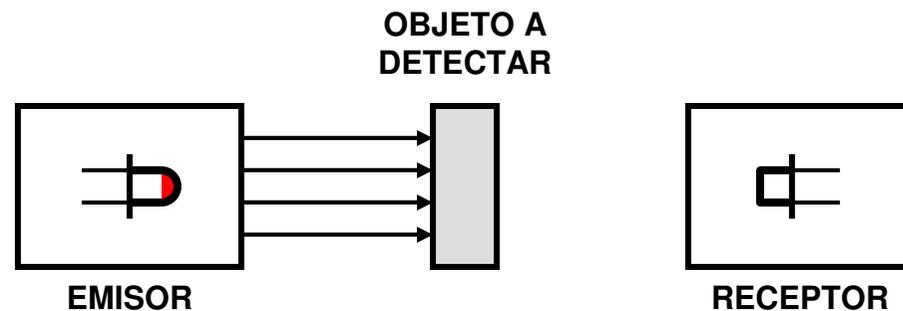
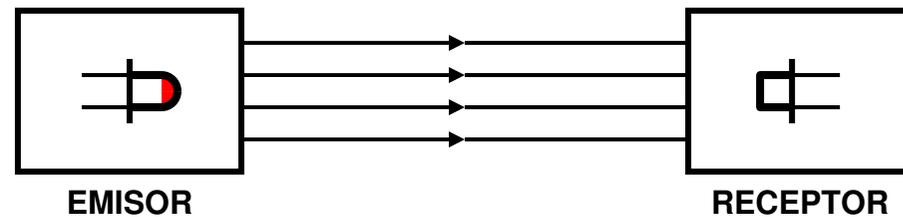
#### Fundamentos

Formados por un emisor y un receptor de luz separados.

Detectan el objeto cuando se sitúa entre ellos.

#### Distancia de detección

- LED: Hasta 50m
- Diodos láser: Hasta 200m

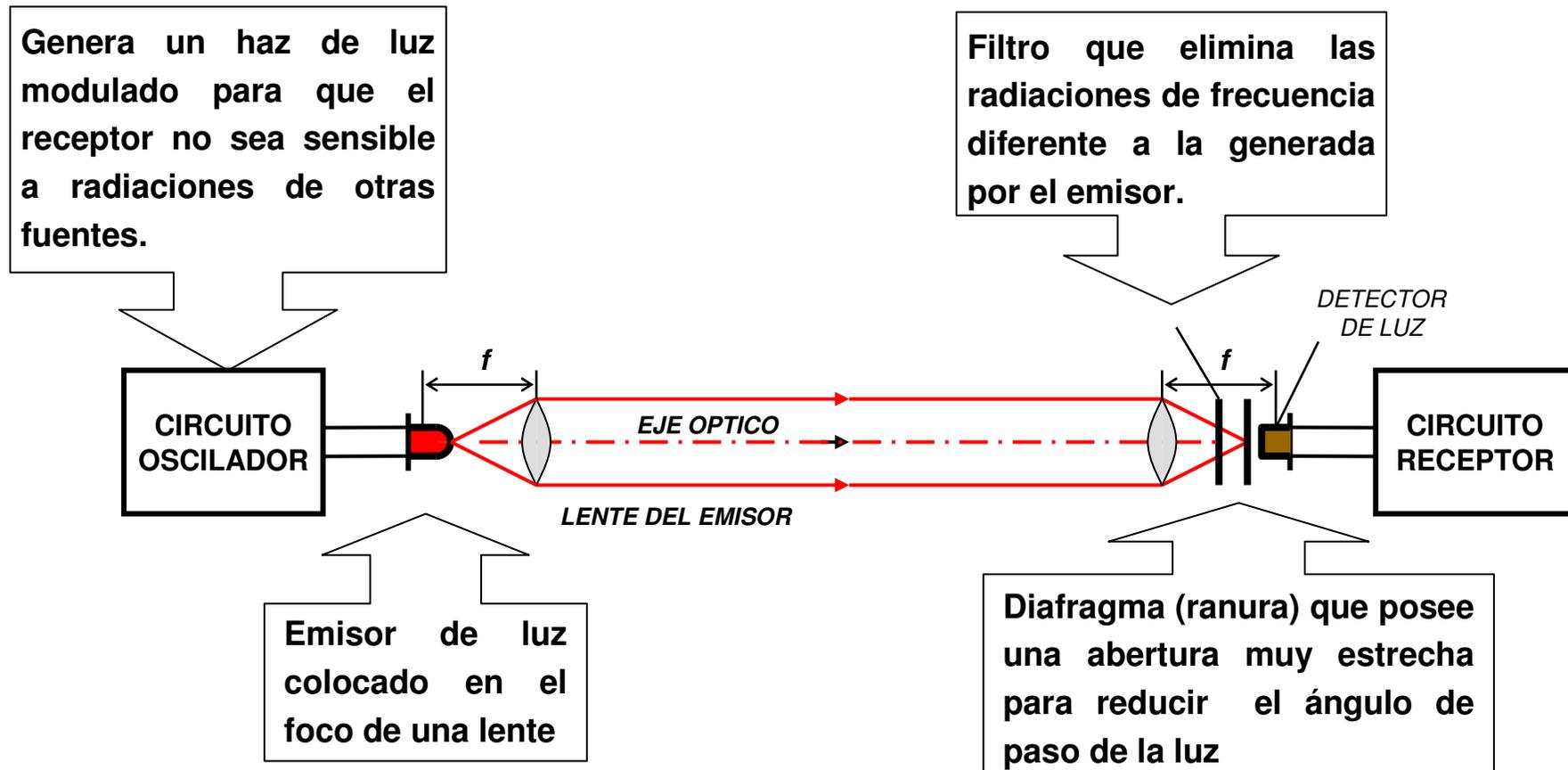




## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DETECTORES DE OBJETOS

### Sensores de barrera de luz con emisor y receptor separados

#### Constitución física



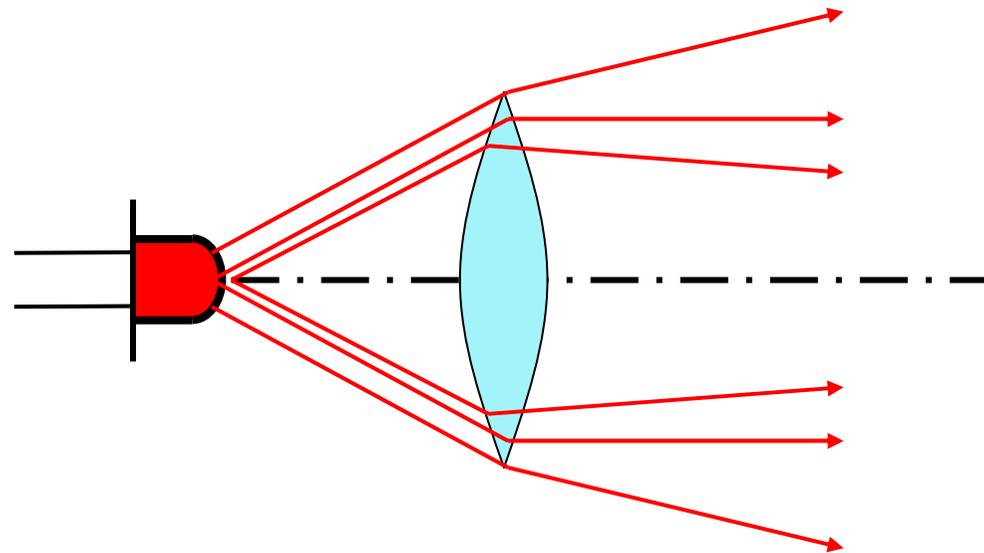


## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DETECTORES DE OBJETOS

### Sensores de barrera de luz con emisor y receptor separados

#### Funcionamiento real

No toda la luz generada es útil para crear la barrera de luz, debido a que el diodo no es una fuente puntual, lo que hace que una parte de la luz no salga del foco de la lente y al atravesarla no se propague paralelamente a su eje óptico.



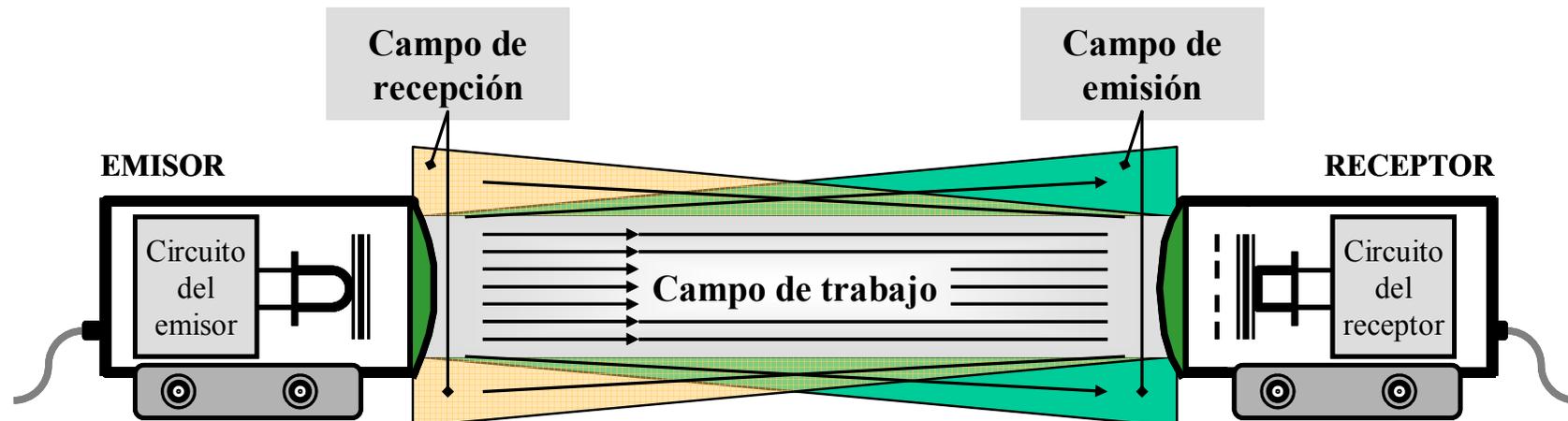


## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DETECTORES DE OBJETOS

### Sensores de barrera de luz con emisor y receptor separados

#### Campo de trabajo o rango de operación

Parte del espacio en la que se puede detectar un objeto. Es el cilindro que une al emisor con el receptor, y su diámetro coincide prácticamente con el de las lentes utilizadas, tal como se indica en la figura. El haz del emisor es ligeramente divergente lo que hace que lo sea también el campo de emisión. El receptor presenta también un cierto ángulo direccional y en consecuencia existe también un campo de recepción. El efecto conjunto de ambos campos hace que el sensor funcione correctamente aunque los ejes ópticos del emisor y del receptor no estén perfectamente alineados.



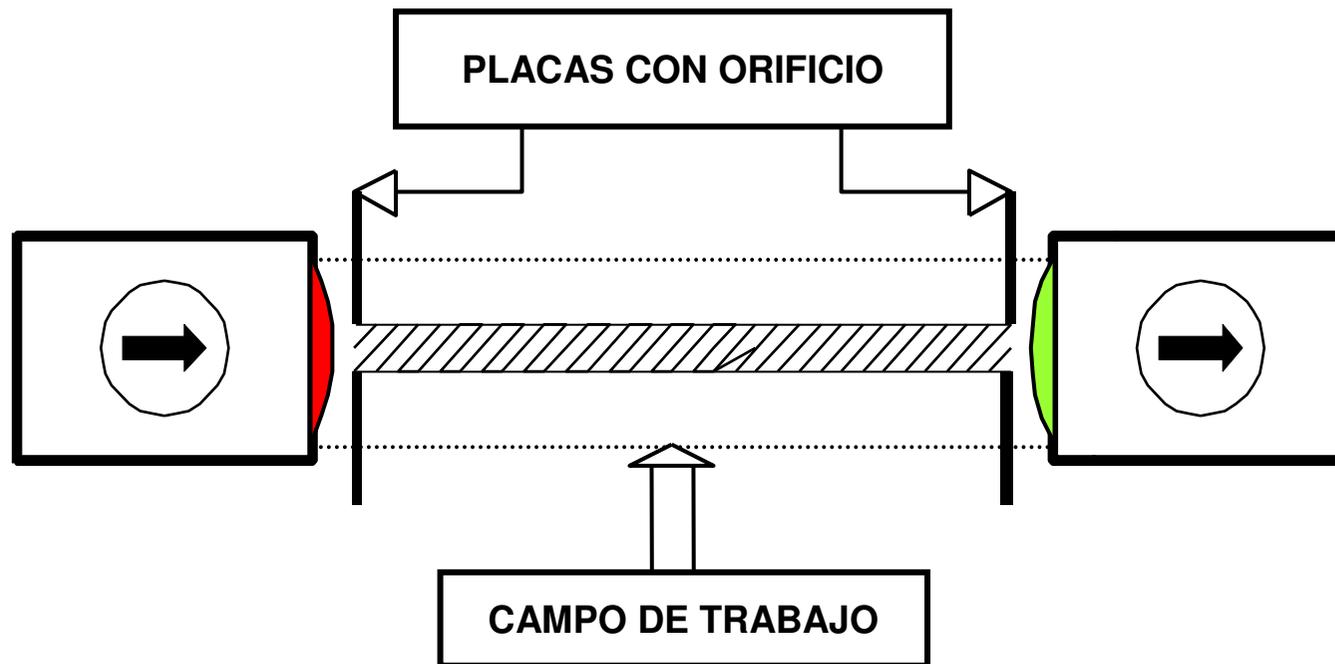


## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DETECTORES DE OBJETOS

### Sensores de barrera de luz con emisor y receptor separados

#### Detección de objetos pequeños

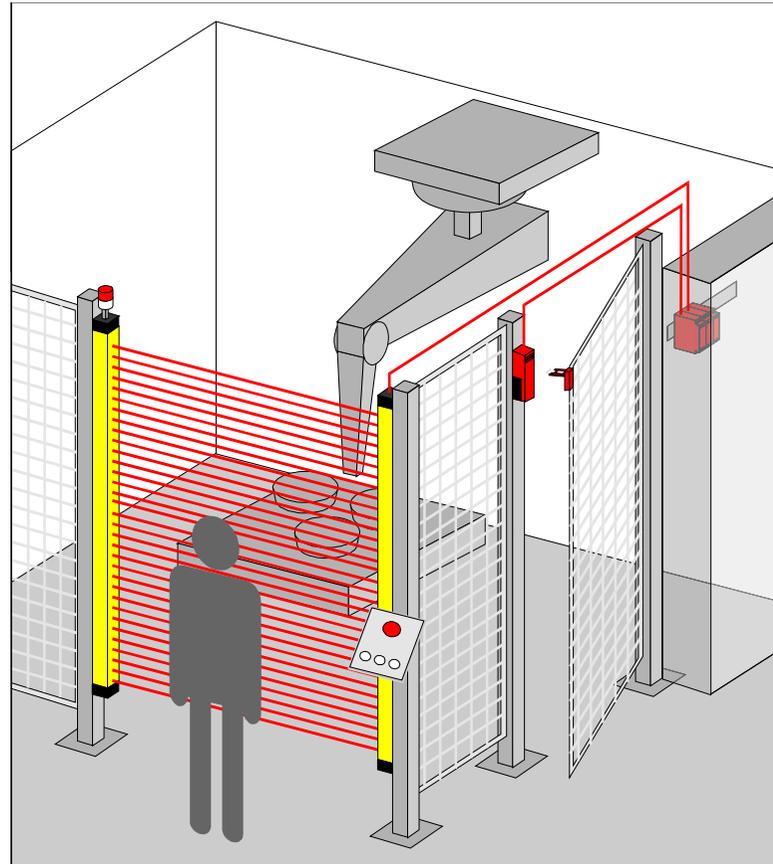
Mediante la colocación entre el emisor y el receptor de sendos diafragmas con un orificio del tamaño adecuado.





## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DETECTORES DE OBJETOS

### Aplicación de los sensores de barrera de luz



Ejemplo de aplicación de una cortina fotoeléctrica SIGUARD de la serie 3RG78 de Siemens

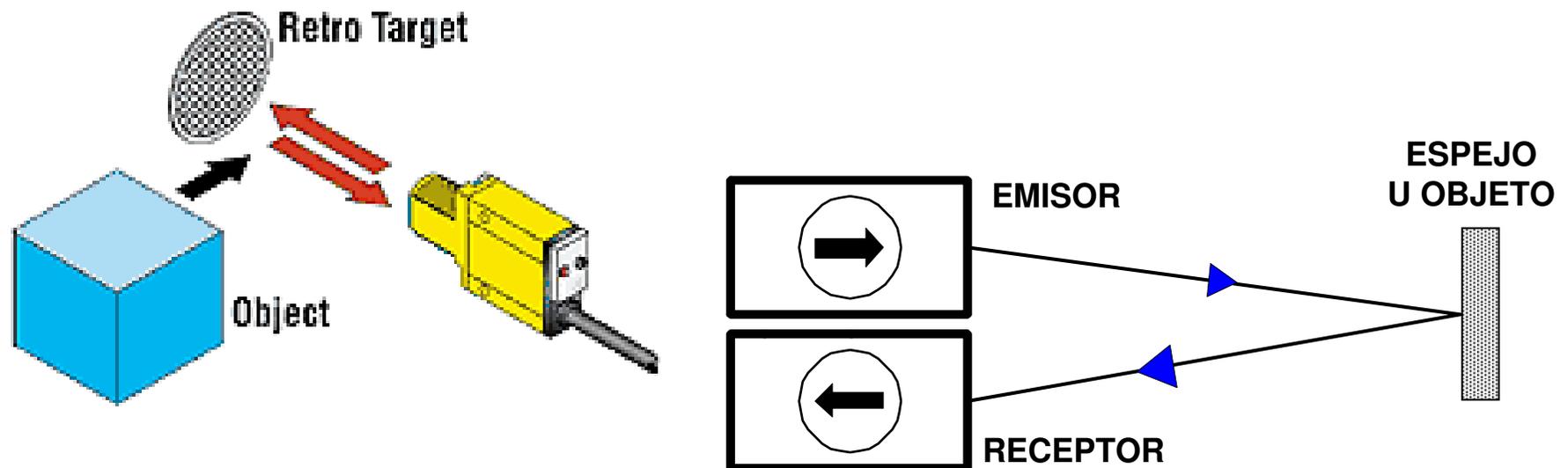


## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DETECTORES DE OBJETOS

### Sensores de reflexión

#### Fundamento

El emisor envía un rayo de luz que llega al receptor si se refleja en un espejo y no es interrumpido por un objeto o si se refleja en un objeto.





## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DETECTORES DE OBJETOS

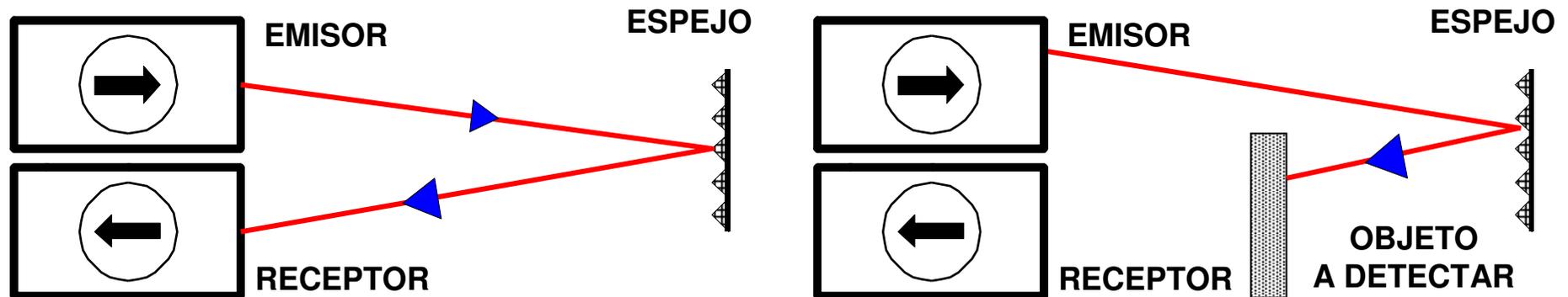
### Sensores de reflexión sobre espejo

Tienen el emisor y el receptor montados en la misma caja y situados por lo tanto a un mismo lado del objeto que se desea detectar.

Utilizar un reflector que recibe los rayos de luz provenientes del emisor y los envía al receptor.

### Funcionamiento

La detección del objeto opaco se produce mediante la interrupción del haz de luz que se dirige del emisor al reflector o del que se dirige desde este último hacia el receptor.

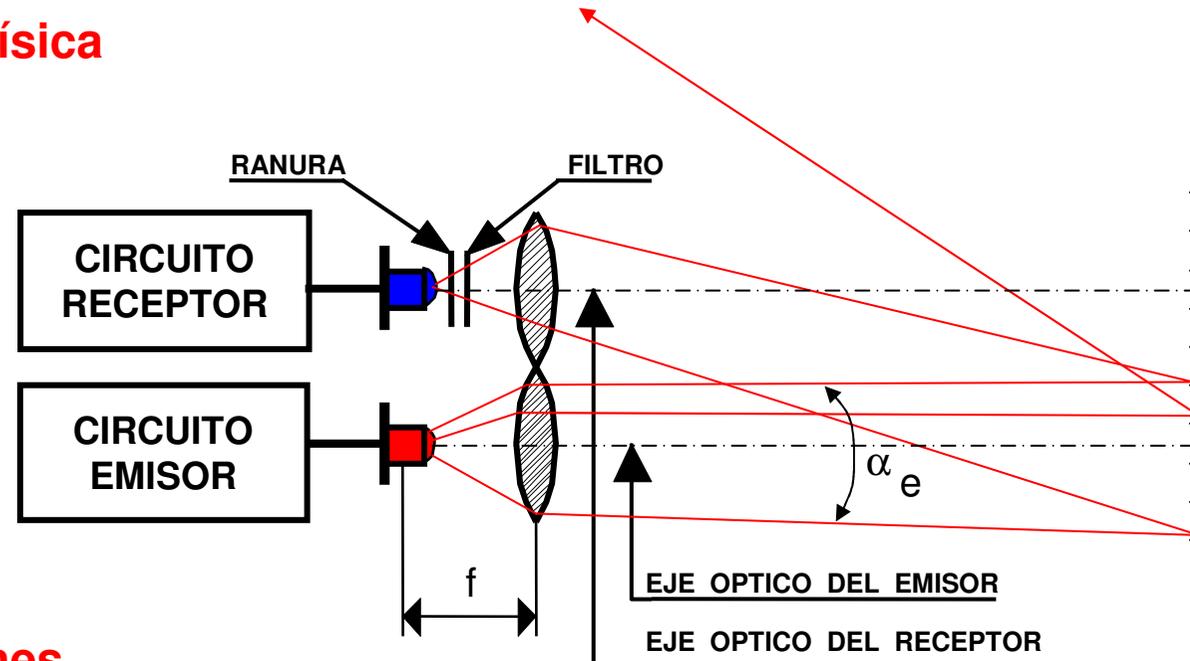




## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DETECTORES DE OBJETOS

### Sensores de reflexión sobre espejo

#### Constitución física



#### Consideraciones

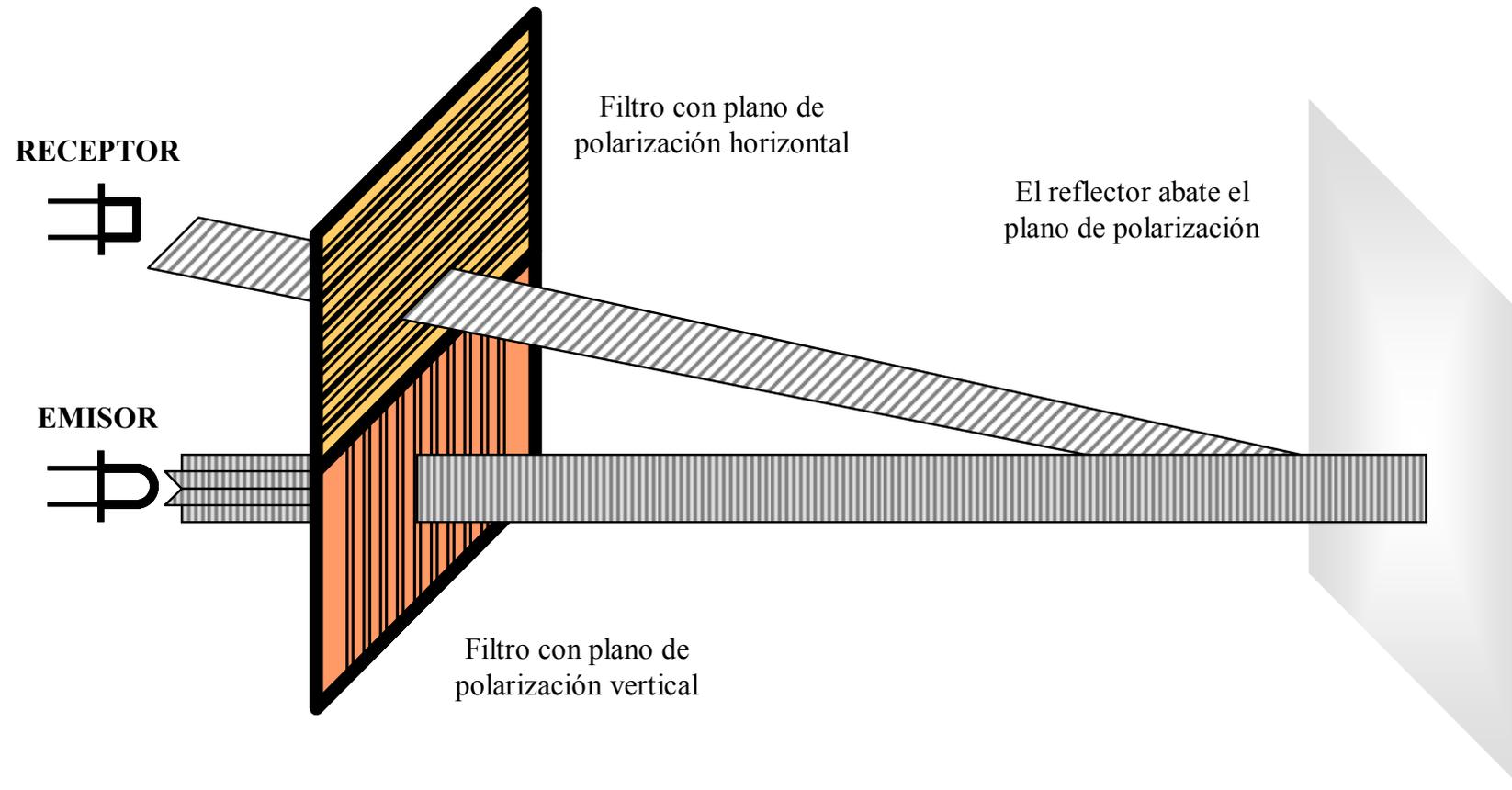
- La luz que emite la fuente y se propaga a través de la lente diverge ligeramente y por ello el emisor tiene un ángulo de emisión  $\alpha_e$ .
- El espejo polariza la luz y la devuelve en múltiples trayectorias de tal manera que siempre inciden algunas de ellas sobre el receptor aunque el espejo no esté colocado exactamente paralelo con relación al sensor.



## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DETECTORES DE OBJETOS

### Sensores de reflexión sobre espejo

### Funcionamiento con luz polarizada

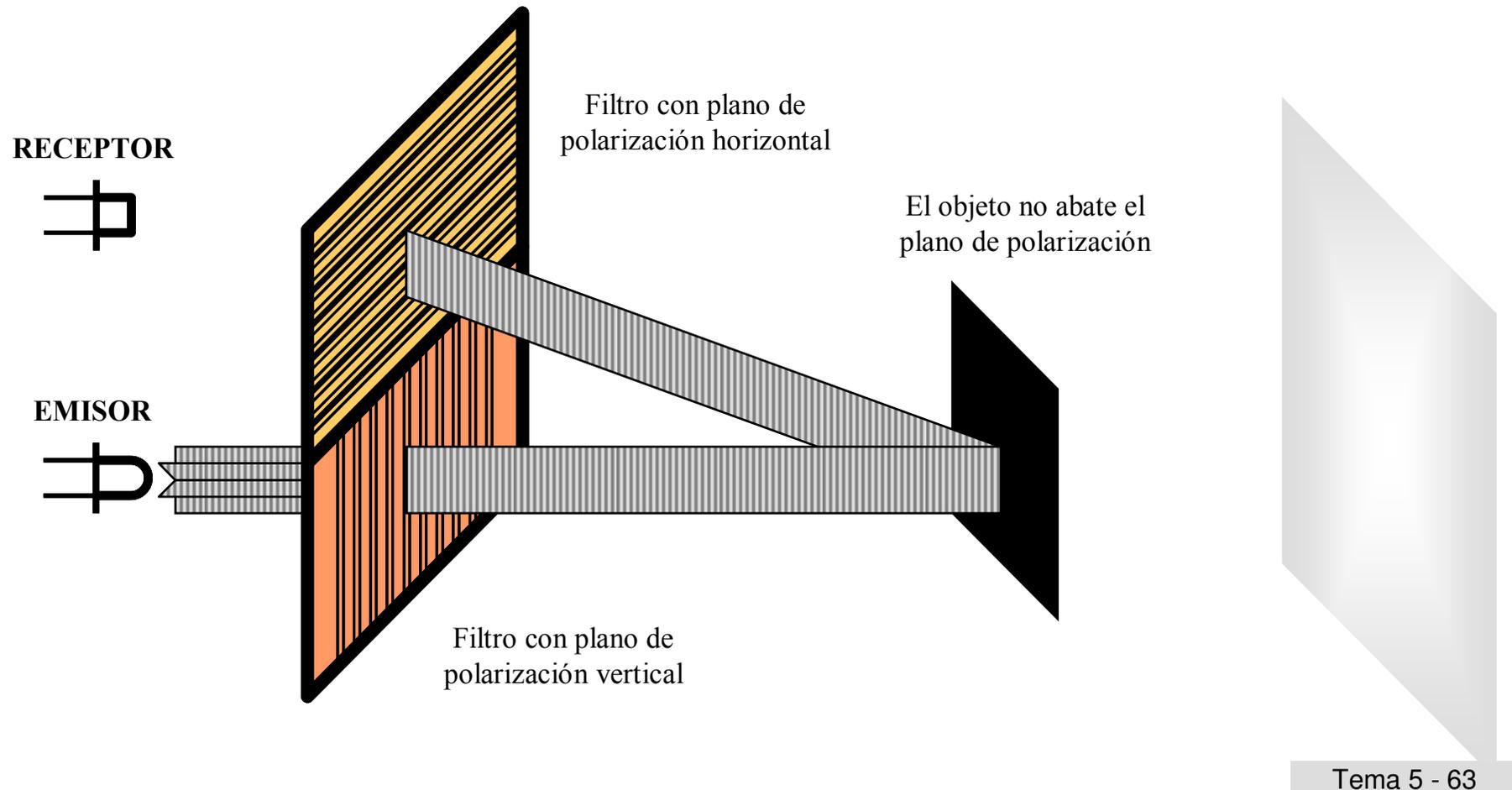




## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DETECTORES DE OBJETOS

### Sensores de reflexión sobre espejo

### Funcionamiento con luz polarizada





## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DETECTORES DE OBJETOS

### **Sensores de reflexión directa o de reflexión sobre objeto**

Se caracterizan porque el emisor y el receptor se montan en la misma caja y el objeto que se quiere detectar actúa como reflector.

De acuerdo con el valor de los ángulos de emisión y de recepción, pueden ser:

- **Sensores de reflexión difusa**  
(*Diffuse Reflective Sensors*)
- **Sensores de reflexión definida**  
(*Definite reflective sensors*)

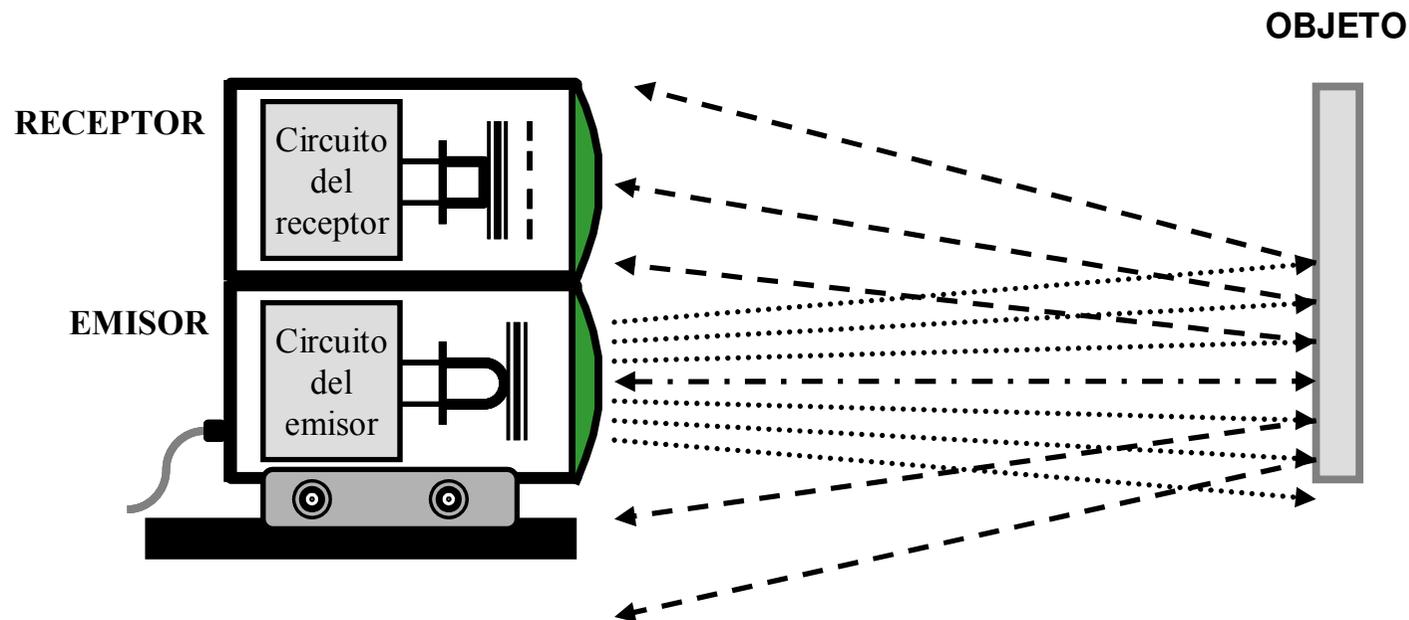




## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DETECTORES DE OBJETOS

### **Sensores de reflexión directa difusa**

Son sensores cuyo ángulo de emisión es muy grande y los rayos de luz se reflejan en múltiples direcciones. Por ello sólo una parte de los rayos que salen del emisor alcanzan el receptor después de reflejarse en el objeto a detectar.

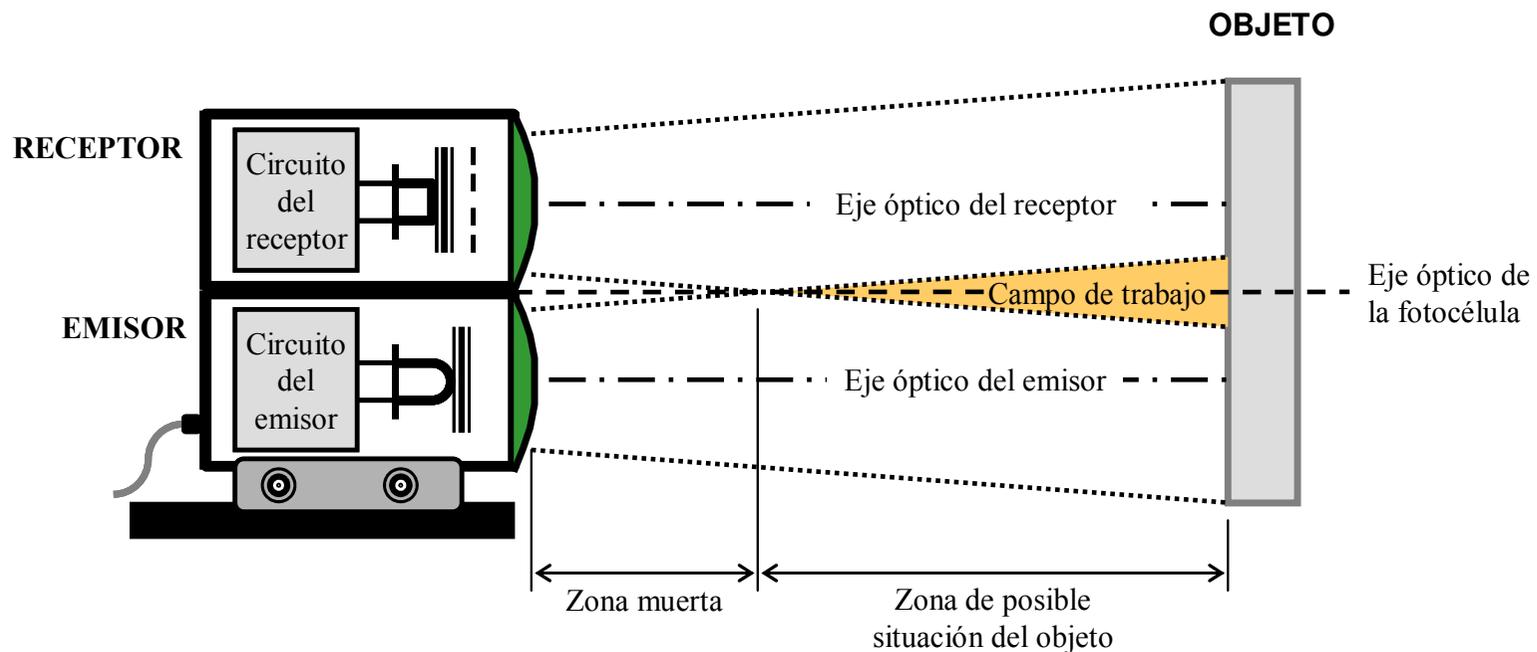




## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DETECTORES DE OBJETOS

### Sensores de reflexión directa difusa

Tienen una zona muerta en la que no se garantiza la detección del objeto, tal como se indica en la figura. Dicha zona debe ser tenida en cuenta cuando se pretende detectar objetos que están situados muy próximos a la fotocélula.

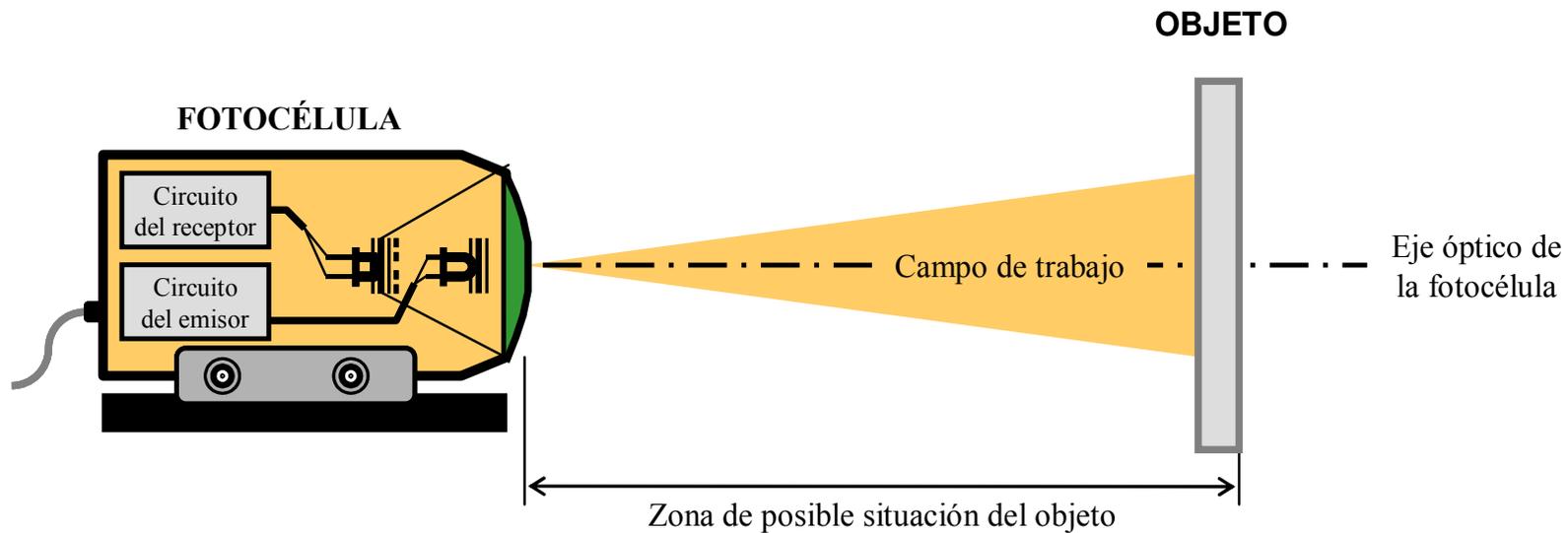




## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DETECTORES DE OBJETOS

### Sensores de reflexión directa difusa

Con el fin de eliminar la zona muerta, se fabrican fotocélulas que poseen una configuración especial en la que los ejes ópticos del emisor y del receptor coinciden.

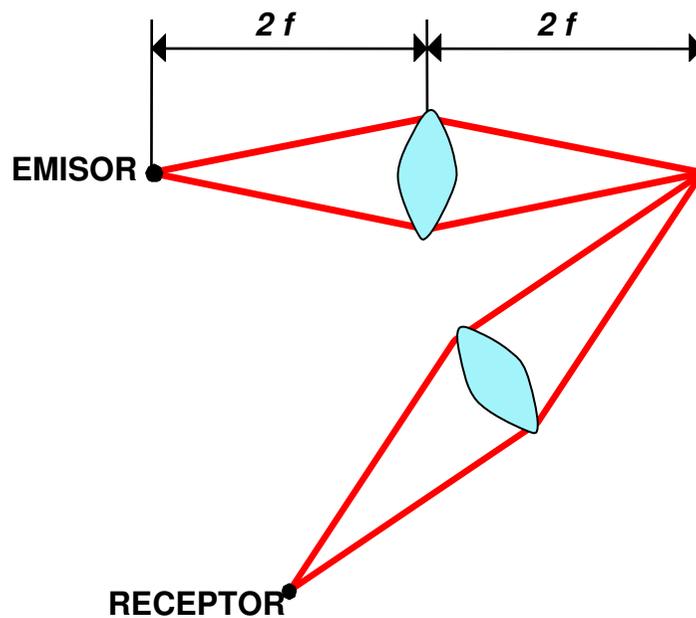




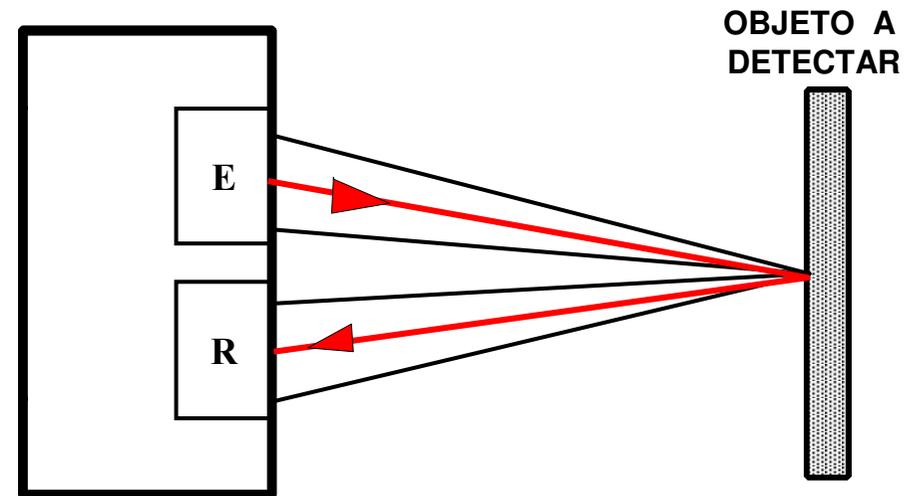
## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DETECTORES DE OBJETOS

### Sensores de reflexión directa definida

Su principio de funcionamiento es similar al de los de reflexión difusa, con la diferencia de que los rayos procedentes del emisor convergen en un punto fijo que coincide con la posición en la que debe situarse el objeto a detectar para que se reflejen en él y sean remitidos al receptor.



FUNDAMENTO

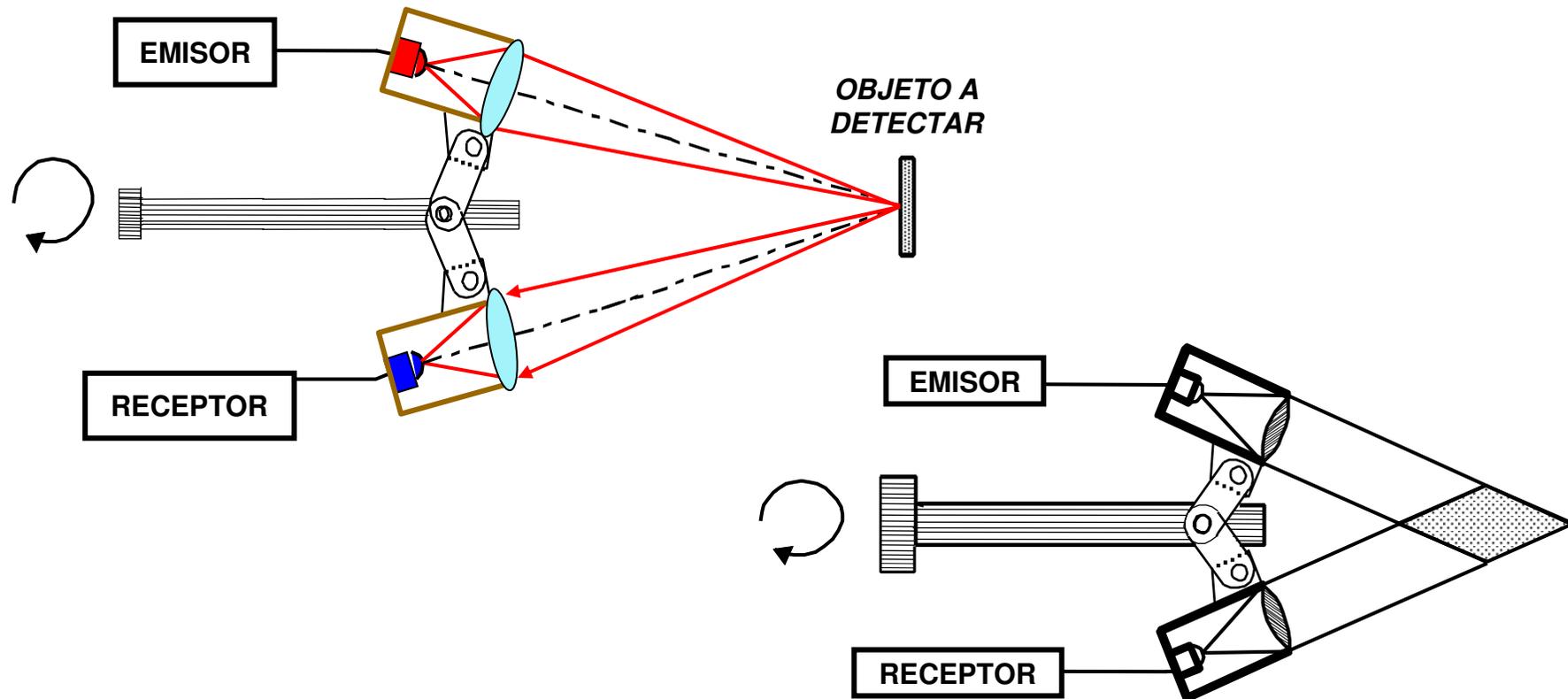


MODO DE OPERACIÓN



## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DETECTORES DE OBJETOS

### Sensores de reflexión directa definida



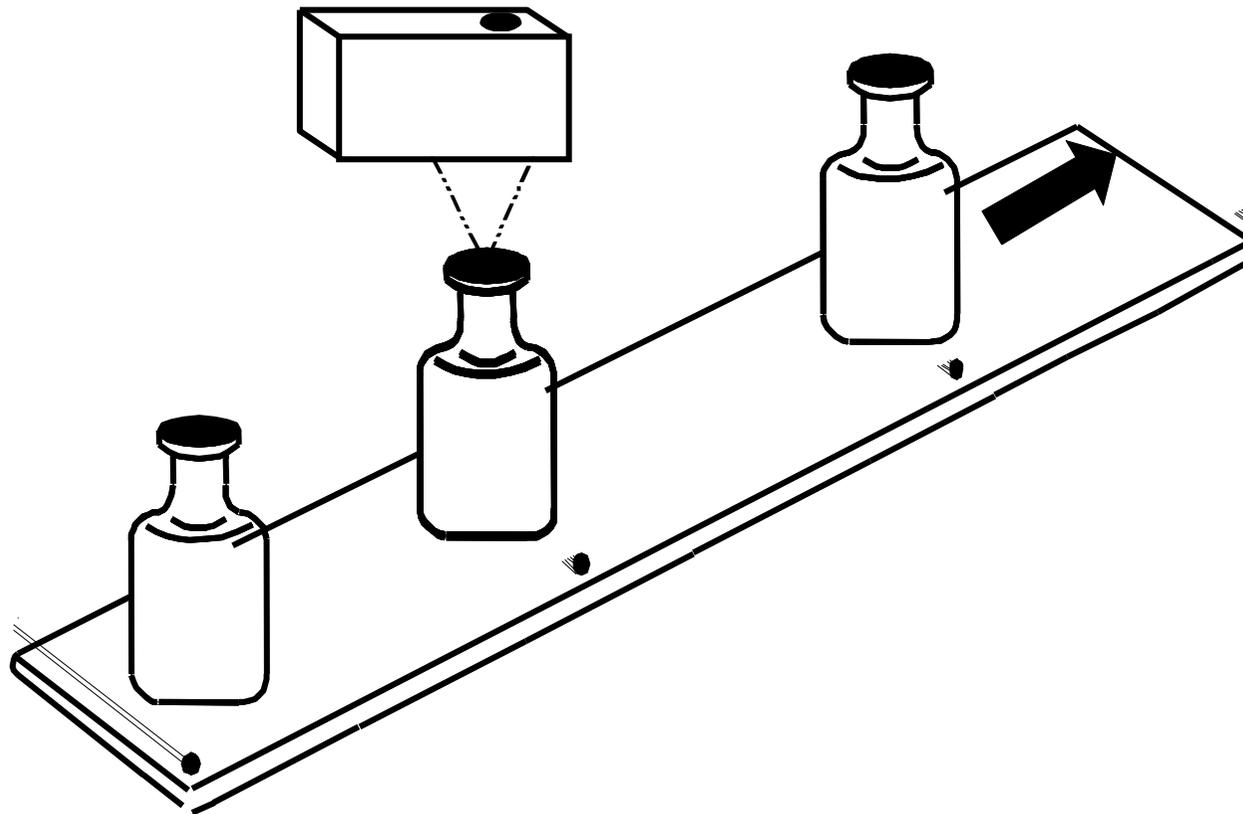
Variación del eje óptico para detectar el objeto a una determinada distancia



## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DETECTORES DE OBJETOS

### Sensores de reflexión directa definida

#### Aplicación



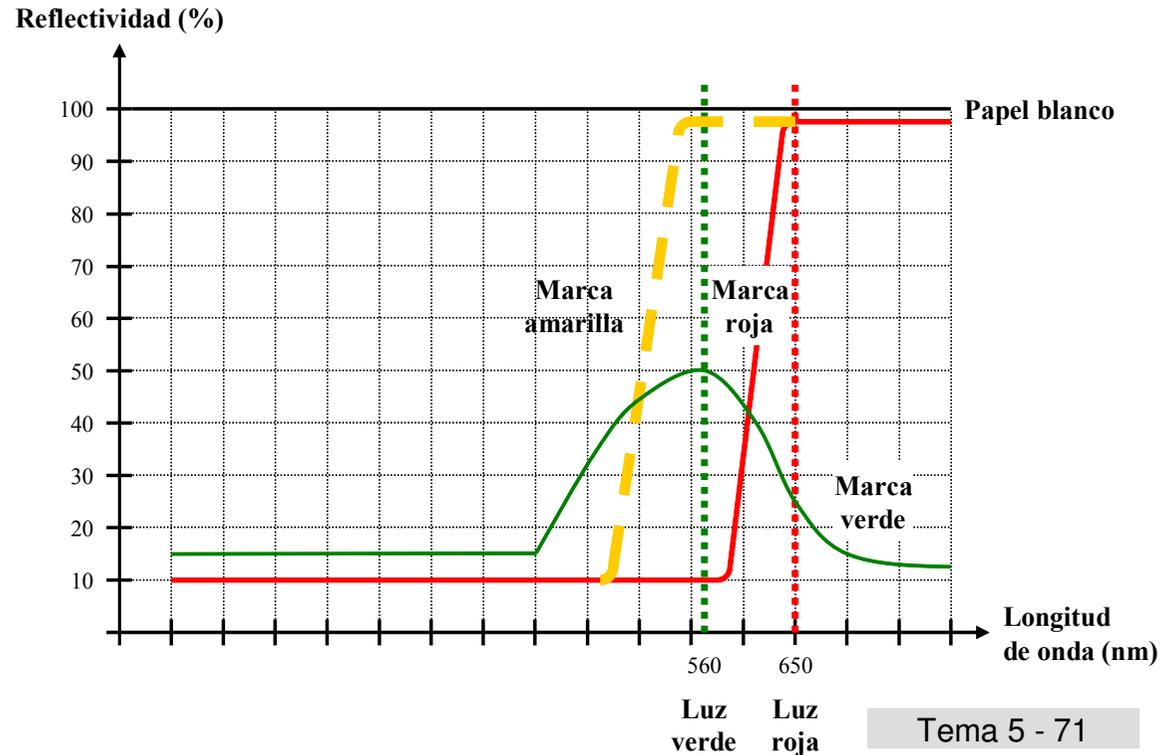
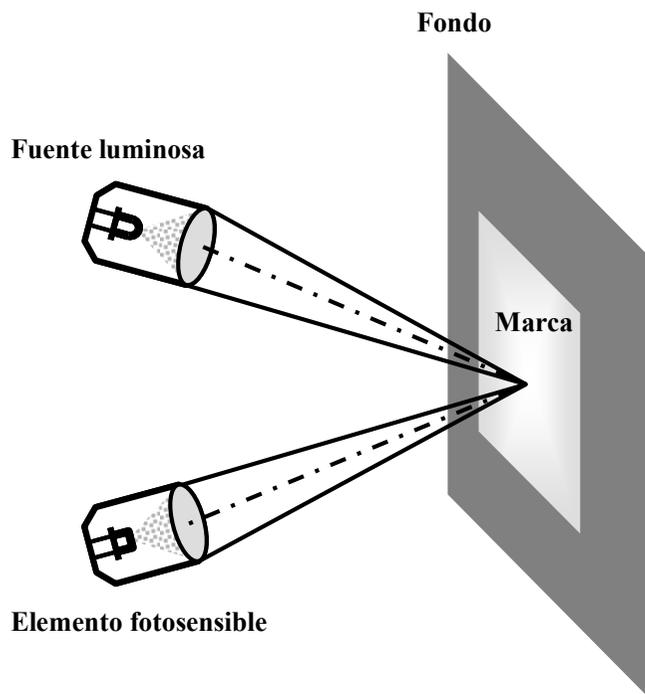
Detección de objetos de una determinada altura



## SENSORES DE MARCAS

Fotocélulas de reflexión definida que detectan una marca que tiene diferente color que el objeto sobre el que está situada.

Para ello se utilizan distintas fuentes de luz, implementadas con diodos luminiscentes (normalmente de color rojo o verde), según el color de las marcas y del fondo. Se debe elegir la fuente de luz más adecuada, de tal forma que el contraste entre la luz que refleja la marca y la que refleja el fondo sobre el que se sitúa la misma sea máximo



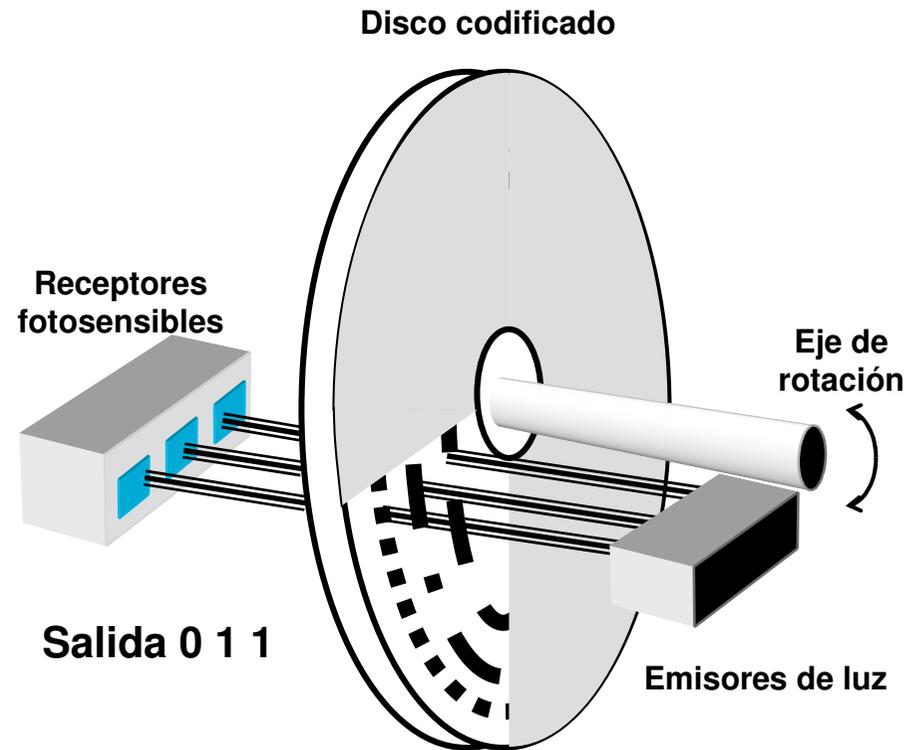


## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS CODIFICADORES DE POSICIÓN (ENCODERS)

### Fundamento

Regla o disco codificado constituido por un material transparente sobre el que se realizan, en varias pistas, marcas opacas que codifican la posición. La lectura se efectúa mediante un conjunto de emisores de luz [LED] y receptores sensibles a la misma, que en general son fotodiodos o fototransistores.

Existe un par emisor/receptor por cada pista de tal manera que la marca interrumpe o no el haz, y proporciona a la salida del receptor un 1 o un 0 por cada circuito. El conjunto de las salidas de todos los receptores codifica la posición





## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DE POSICIÓN (*ENCODERS*)

Se utilizan para medir la posición, velocidad, aceleración tanto angular como lineal.

Según la forma en que proporcionan la información a la salida:

- **Incrementales**

Generan un número de impulsos proporcional al desplazamiento.

- **Absolutos**

Proporcionan un código, normalmente binario, para cada posición del disco o regla.





## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DE POSICIÓN (*ENCODERS*)

### Codificadores incrementales

Pueden ser:

- **Unidireccionales**

Poseen solamente una pista codificada mediante zonas opacas y transparentes iguales, dispuestas alternativamente. Permiten medir desplazamientos o giros en un solo sentido.

- **Bidireccionales**

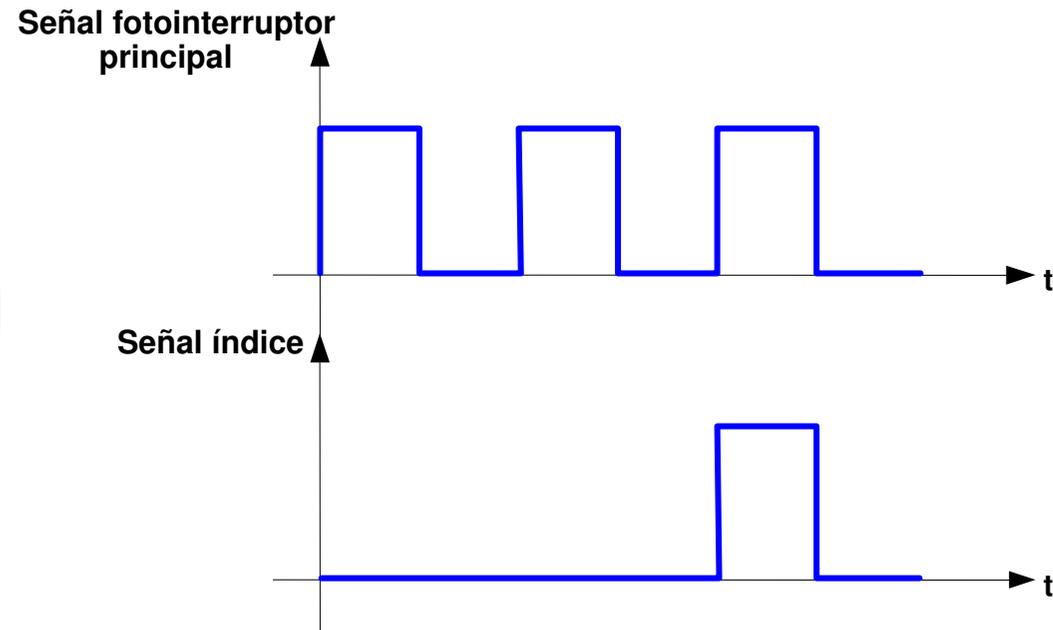
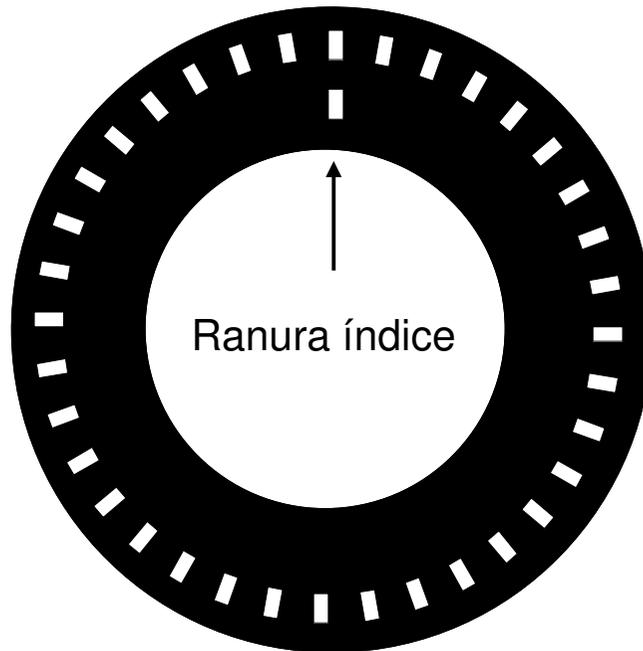
Se pueden realizar:

- Mediante dos pistas codificadas de forma idéntica a los unidireccionales, pero con las divisiones de una de las pistas desplazadas un cuarto de periodo ( $90^\circ$ ) con respecto a las de la otra. Permiten realizar la medida de desplazamientos o giros en ambos sentidos.
- Mediante una sola pista con dos fotosensores.



## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DE POSICIÓN (*ENCODERS*)

### Codificador incremental



Se utiliza en los ratones de ordenador.

La frecuencia de los impulsos de salida del fotointerruptor principal es proporcional a la velocidad de giro.

El desplazamiento angular es proporcional al número de impulsos que se generan en la salida del fotointerruptor principal a partir de la ranura índice.

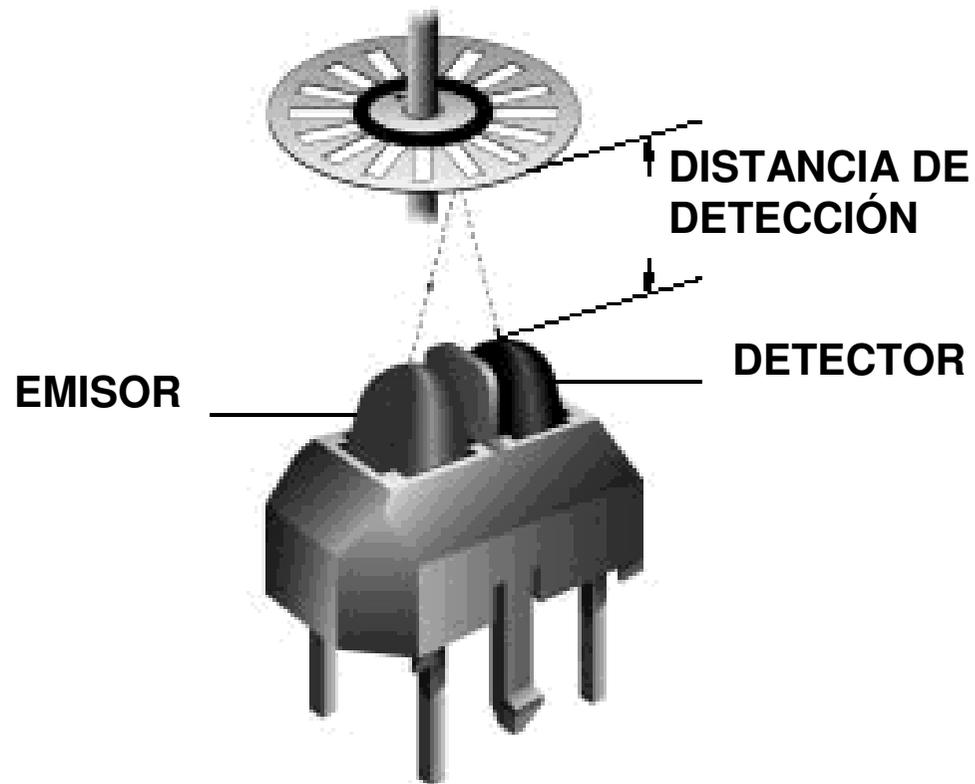
La resolución es  $360^\circ / \text{número de ranuras (n)}$ .



## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DE POSICIÓN (*ENCODERS*)

Disco giratorio, con una sola pista, que combina un emisor y un receptor de luz.

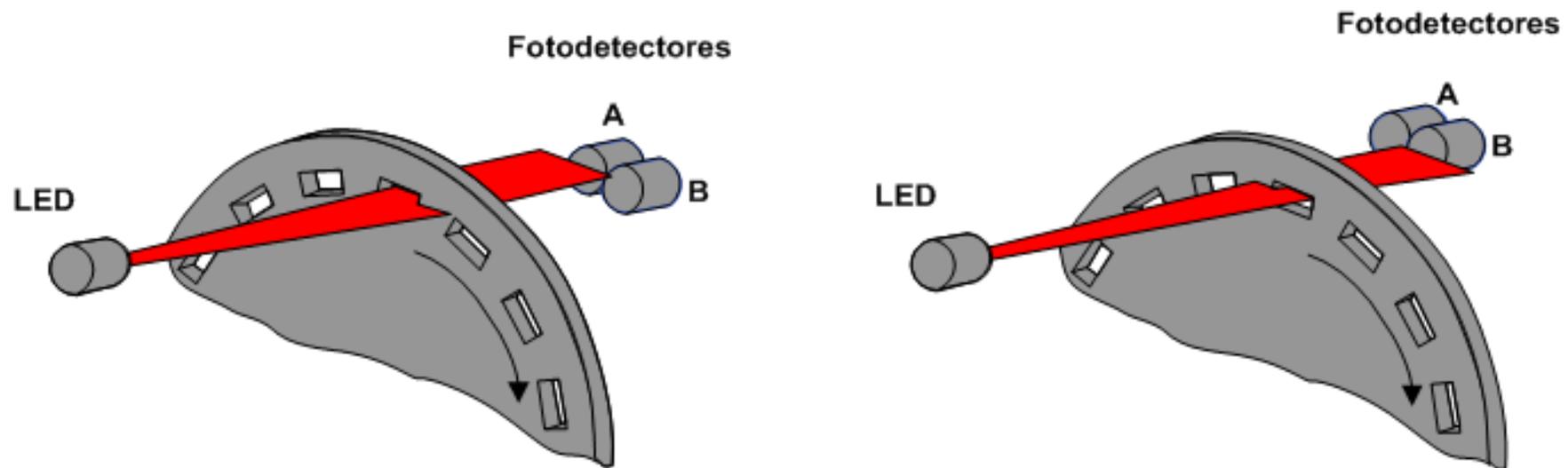
Medida de la velocidad de giro





## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DE POSICIÓN (*ENCODERS*)

**Codificadores incrementales bidireccionales implementados con una sola pista y un par de fotodetectores**



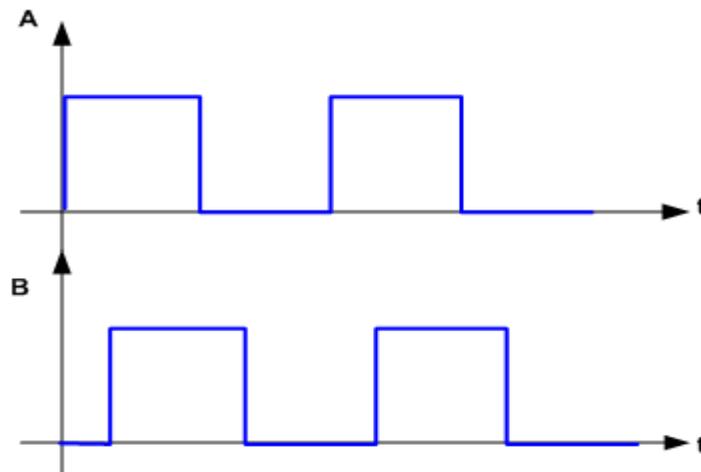


## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DE POSICIÓN (*ENCODERS*)

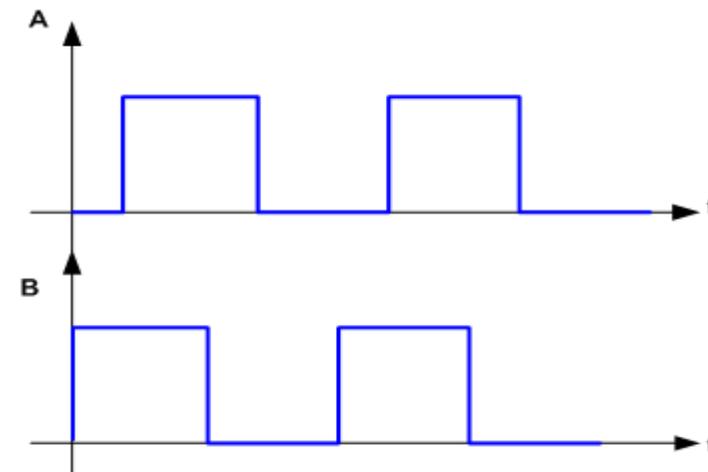
### Codificadores incrementales bidireccionales

#### Determinación del sentido de giro

- Si el eje gira en sentido horario, la señal B esta siempre en nivel cero cuando se produce un flanco de subida de A, y en nivel uno cuando se produce un flanco de bajada de A.
- Si el eje gira en sentido antihorario, la señal B esta siempre en nivel uno cuando se produce un flanco de subida de A, y en nivel cero cuando se produce un flanco de bajada de A.



(a)



(b)



## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DE POSICIÓN (*ENCODERS*)

### Codificadores incrementales bidireccionales

#### Características

- Están formados por un número reducido de pistas, por lo que son menos complejos que los codificadores absolutos.
- Tanto los codificadores unidireccionales como los bidireccionales disponen a veces de otro canal de salida que proporciona una indicación de paso por cero cada vez que se completa una vuelta.
- La medida del desplazamiento se realiza mediante el conteo de los impulsos generados por el codificador a partir de un origen arbitrario. El conteo se puede realizar mediante un circuito digital contador o mediante un microcomputador en una parte de cuya memoria se coloca un programa de conteo.



## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DE POSICIÓN (*ENCODERS*)

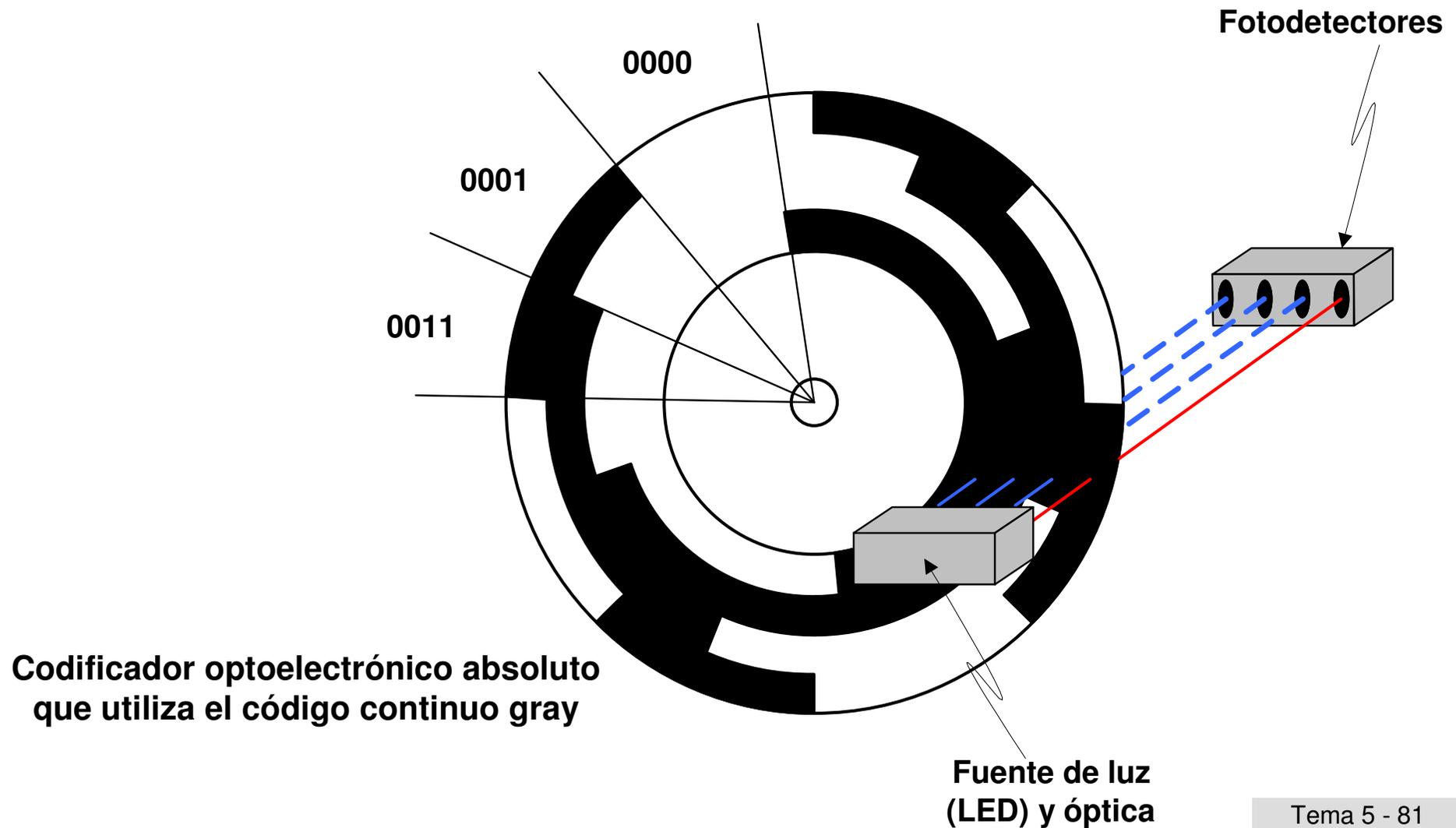
### Codificadores optoelectrónicos absolutos

- Están constituidos por una regla o disco codificado que posee  $n$  pistas paralelas (reglas) o concéntricas (discos) que combinan zonas opacas y transparentes asignadas a los números “0” y “1”, intercaladas de tal manera que a cada posición le corresponde una combinación diferente en un cierto código binario. La precisión obtenida depende del valor de  $n$ . El valor mínimo es ocho
- Para evitar lecturas erróneas se utiliza un código continuo que suele ser el código Gray o el BCD Gray.



## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DE POSICIÓN (*ENCODERS*)

### Codificadores optoelectrónicos absolutos





## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DE POSICIÓN (*ENCODERS*)

### Características o parámetros de selección

#### Resolución

En los codificadores absolutos:

- Número de combinaciones binarias :  $2^n$  es n el número de pistas.
- Mínimo arco que se puede medir :  $360 / 2^n$ .

En los codificadores incrementales:

- Número de impulsos por cada revolución del eje.

#### Momento de inercia

Momento de inercia del eje y todas las masas asociadas a él. Cuanto menor es su valor, antes se para el eje y con mayor suavidad. Se expresa generalmente en gm·cm.

#### Par de arranque

Par necesario para hacer girar el eje del codificador a partir de la posición de reposo. Cuanto menor es su valor, más suavemente gira el eje. También se expresa en gm·cm.



## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DE POSICIÓN (*ENCODERS*)

### Características o parámetros de selección

#### Carga del eje

Representa la carga máxima de tipo axial o radial aplicable al eje. Una carga permanente sobre el eje afecta directamente a la vida útil del codificador, incluso aunque sea inferior al máximo recomendado por el fabricante. Se suele expresar en Kg.

#### Velocidad de rotación

Número máximo de revoluciones por minuto que puede soportar mecánicamente el codificador.

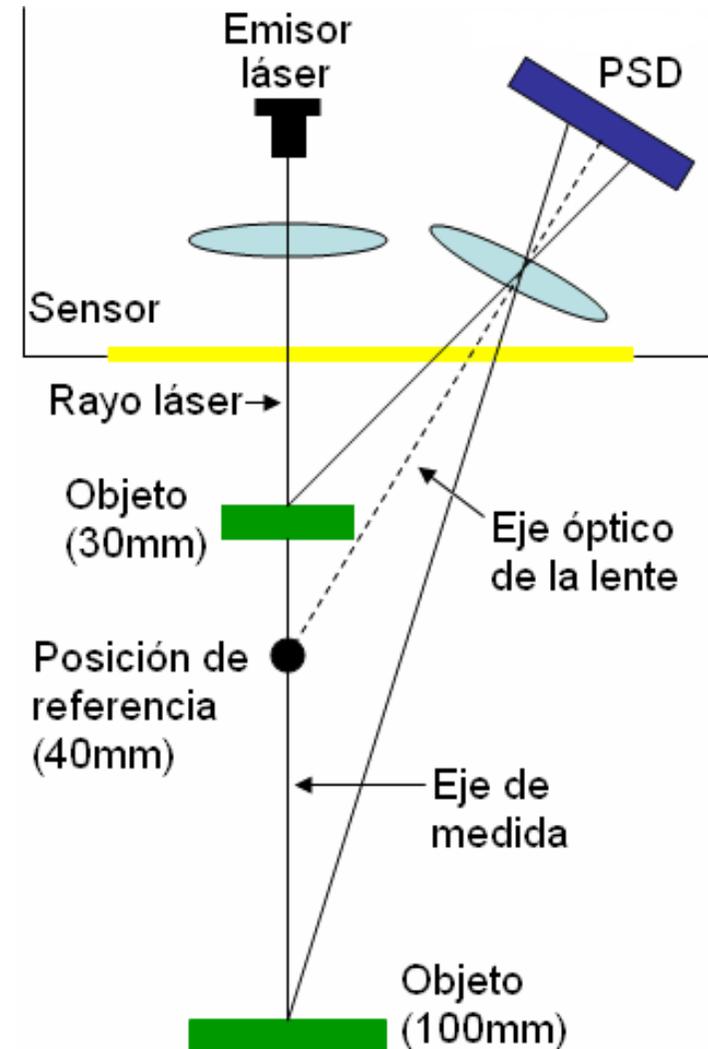


## SENSORES OPTOELECTRÓNICOS DE POSICIÓN (*ENCODERS*)

Están basados en el método de la triangulación, que calcula el desplazamiento a partir de relaciones geométricas y distancias conocidas en lugar de medir la intensidad luminosa.

Están constituidos por un emisor láser que proyecta el rayo en la dirección del eje de medidas y un receptor que se emplea para observar con un determinado ángulo la interacción del láser con la superficie del objeto a medir.

Se utilizan para medir desplazamientos muy pequeños ( $< 1\text{mm}$ ), que no **se pueden medir** con los codificadores de posición.





## OPTOACOPLADORES

Circuito electrónico en el que se encapsulan un diodo emisor de luz y un dispositivo electrónico sensible a la luz (fototransistor, fotodarlington, fototriac, etc.). Se utiliza para aislar galvánicamente las variables todo-nada de entrada o de salida de los procesadores digitales.

