



# TRANSDUCTORES Y SENSORES 2021

Ing. Biomédica  
Ing. Electrónica

## Unidad XI : LUZ (SENSORES ÓPTICOS)



FCEFN - UNC - Ing. Gabriel Gómez (ggomez@unc.edu.ar)

RADIO

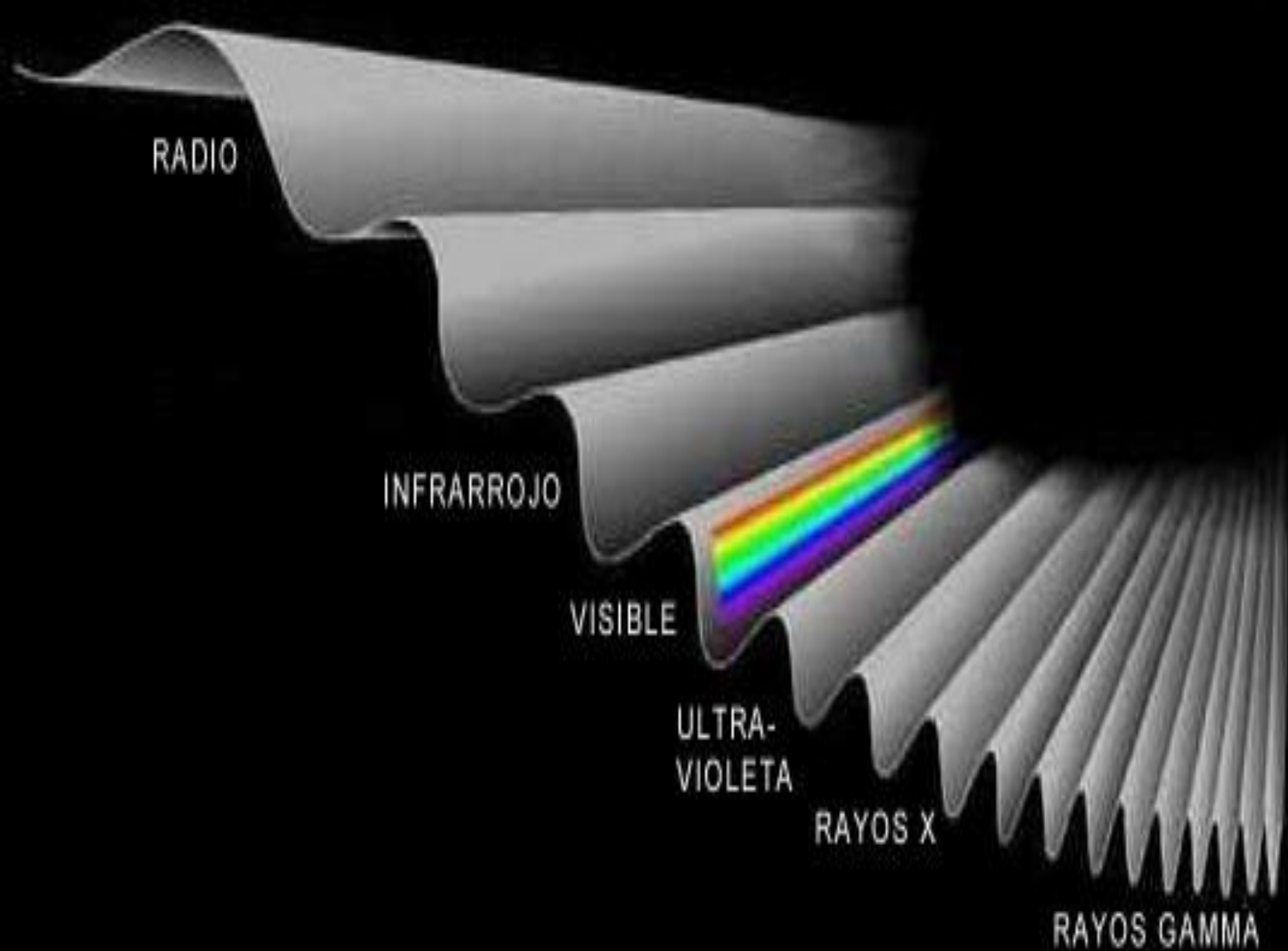
INFRARROJO

VISIBLE

ULTRA-  
VIOLETA

RAYOS X

RAYOS GAMMA





# Temario

Conceptos físicos. Definiciones

Unidades y escalas

Principales tecnologías

Guías de selección

Aplicaciones

Principales fabricantes

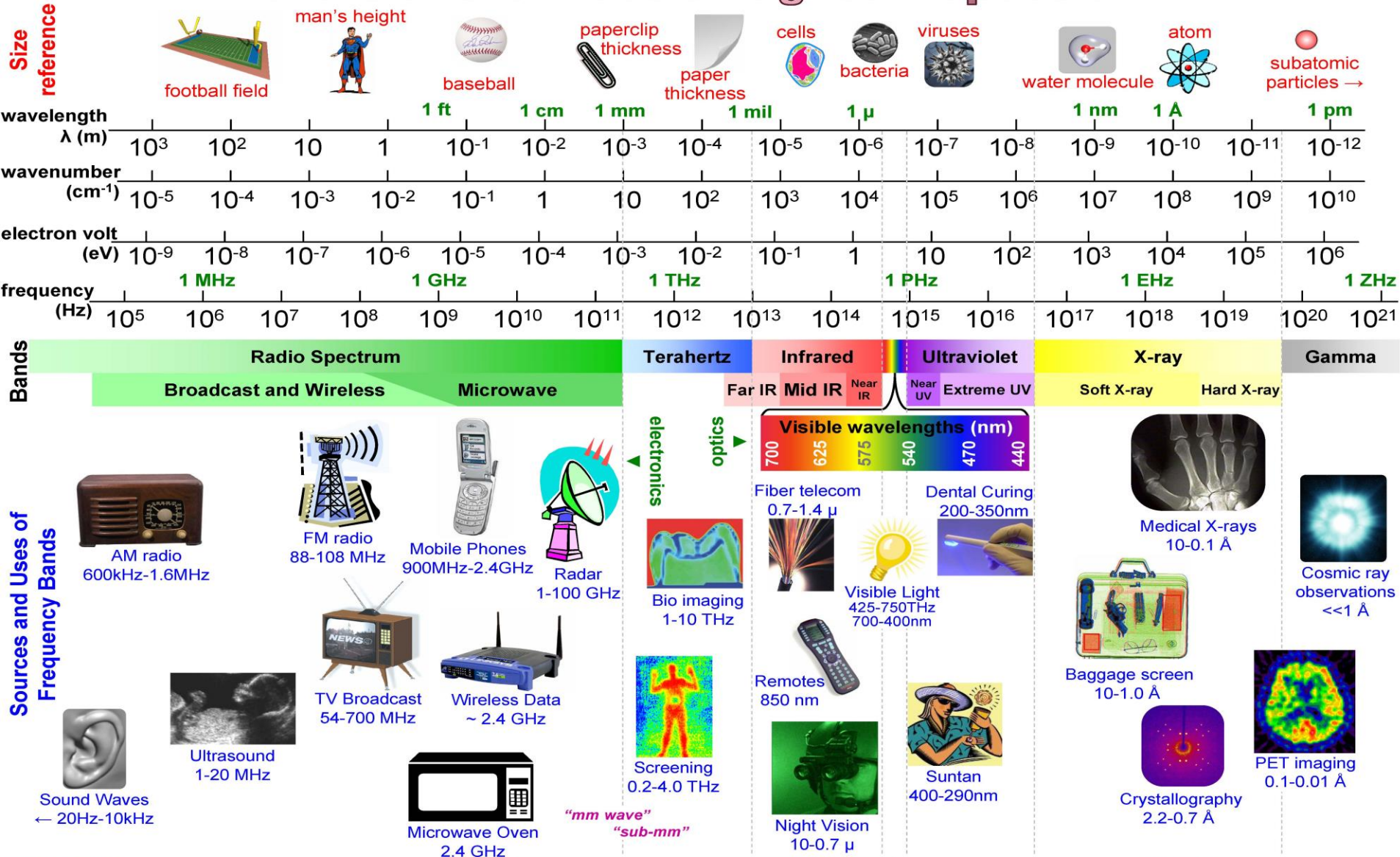
Bibliografía





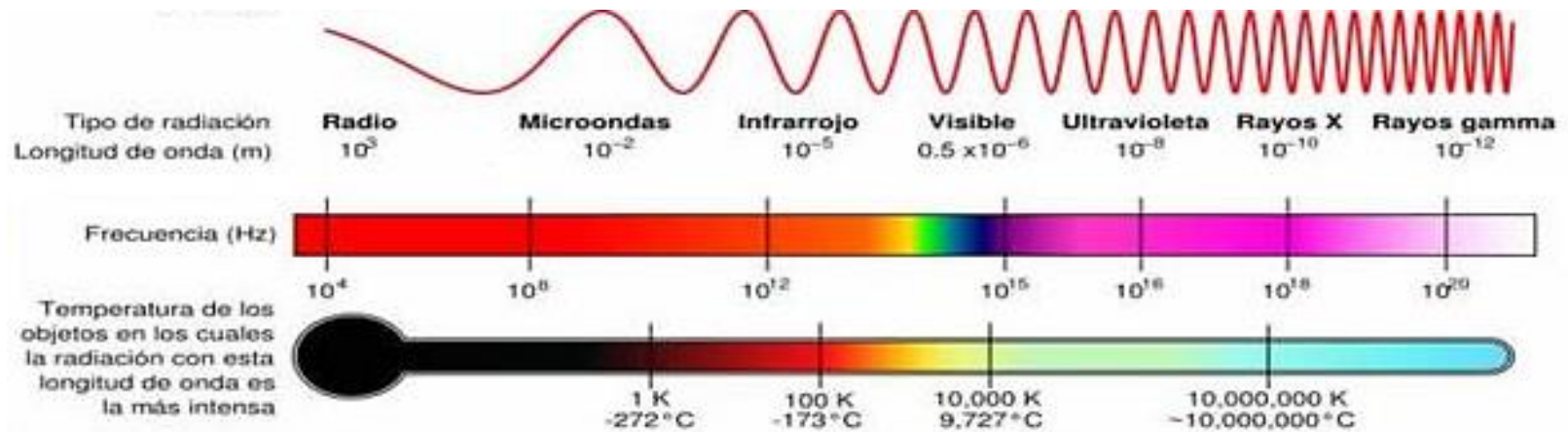
# CONCEPTOS FÍSICOS

# Chart of the Electromagnetic Spectrum



$$\lambda = 3 \times 10^8 / \text{freq} = 1 / (\text{wn} \times 100) = 1.24 \times 10^{-6} \text{ eV}$$

# Espectro del campo electromagnético





## Espectro del campo electromagnético

Como en toda onda:

- *Velocidad de propagación:*  $v = \lambda \cdot f$
- En el caso de la luz:  $c = \lambda \cdot \nu = 3.10^5 \text{ km/s} = 3.10^8 \text{ m/s}$
- A partir de ahí se pueden calcular  $\lambda$  y  $\nu$  para cada rango





## Luz visible

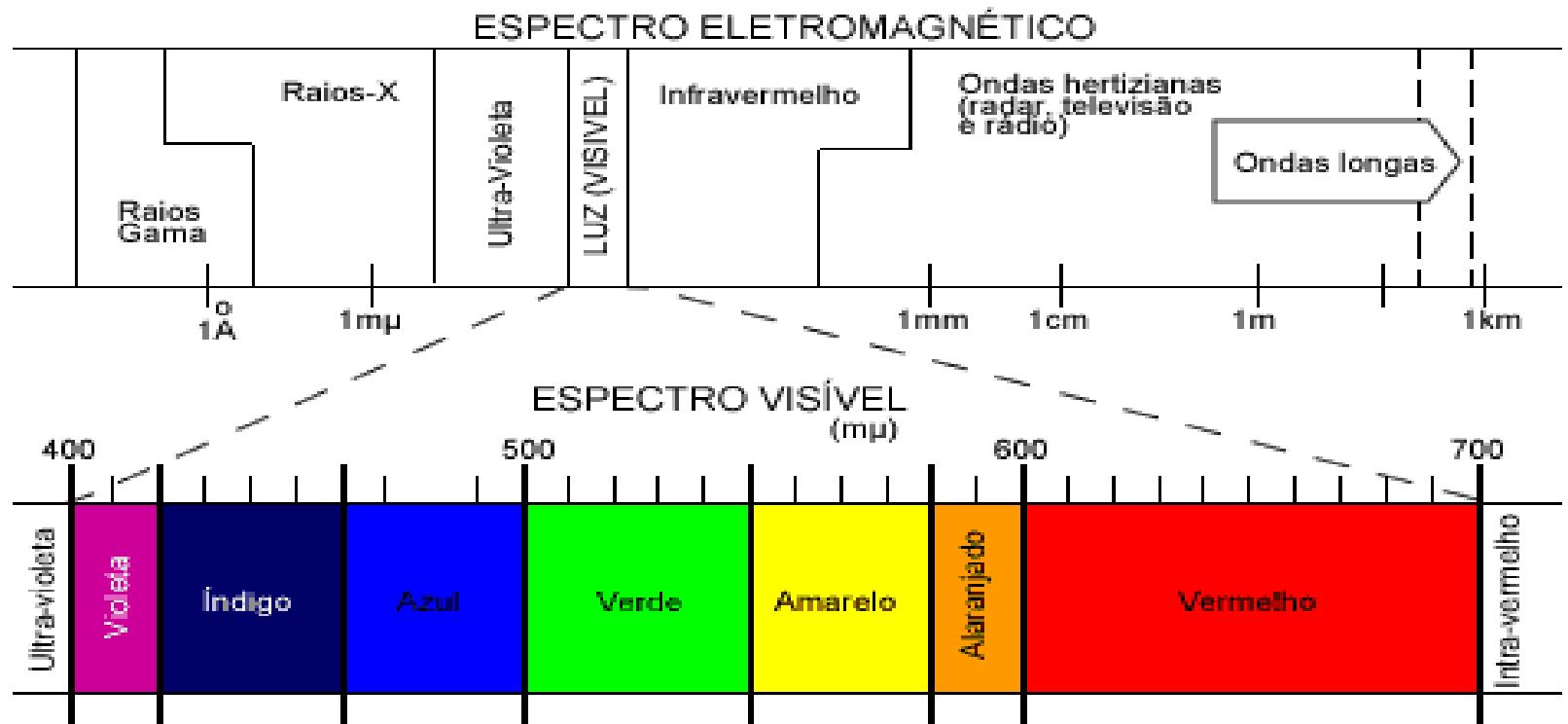
- La *luz visible* es la parte del espectro electromagnético que puede ser percibida por el ojo humano. La misma está comprendida entre  $\lambda = 380 - 780\text{nm}$  y, por ende, entre las frecuencias:

- $$f_{inf} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{780 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 3,8 \cdot 10^{14} \text{ Hz} \qquad f_{sup} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{380 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 8 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$



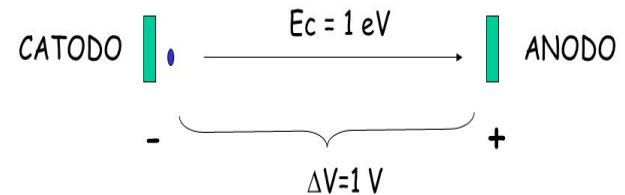


# Luz visible



## Vinculación con energía

- *Energía de un fotón:*  $E = h \nu = h \frac{c}{\lambda}$
- con  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  (constante de Planck)
- El *electronvoltio* expresa la variación de energía potencial que experimenta un electrón al moverse entre dos puntos a distinto potencial:
- $eV = q \cdot V = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot \text{V}$
- Para  $V = 1\text{V} \rightarrow eV = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
- $eV = Ec = \frac{1}{2} m v^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$
- Por ejemplo, para la longitud de onda  $\lambda = 550 \text{ nm}$ :
- $\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{550 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$
- $E = h \nu = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 6 \cdot 10^{14} \text{ Hz} = 4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
- $E (\text{eV}) = 4 \cdot 10^{-19} \text{ J} \cdot \frac{1 \text{ eV}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 2,5 \text{ eV}$



## Vinculación con la T°

Un cuerpo negro es un objeto teórico o ideal que absorbe toda la luz y toda la energía radiante que incide sobre él, nada se refleja o transmite a través del mismo.

Debido a la absorción de energía, el cuerpo negro se calienta y emite radiación en función de su temperatura. A mayor T° aumenta la energía emitida y disminuye la longitud de onda. Los picos siguen la ley de Wien:

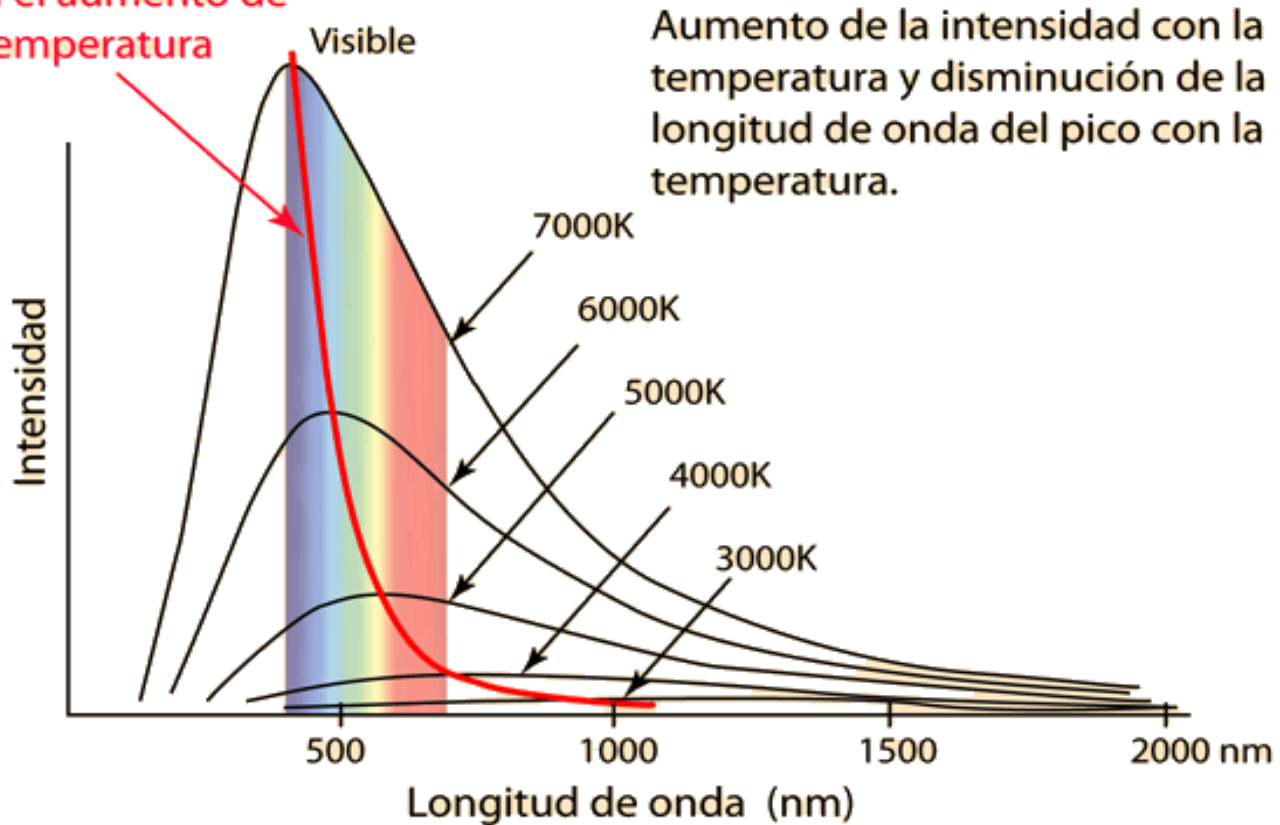
$$T_{max} \cdot \lambda_{max} = 0,29 \text{ } ^\circ K \cdot cm \rightarrow T_{max} = \frac{0,29 \text{ } ^\circ K \cdot cm}{\lambda_{max}}$$

A cuanto equivale la luz amarilla de una lámpara incandescente ?

Amarillo: 580 nm  $\rightarrow T = 0,29/580 \times 10^{-9} \times 100 = 5000^\circ K$

# Vinculación con la T°

Disminución de la  $\lambda_{\text{pico}}$  con el aumento de la temperatura





**En resumen:** se puede considerar el espectro electromagnético tanto en términos de longitud de onda y frecuencia como de energía o temperatura equivalente



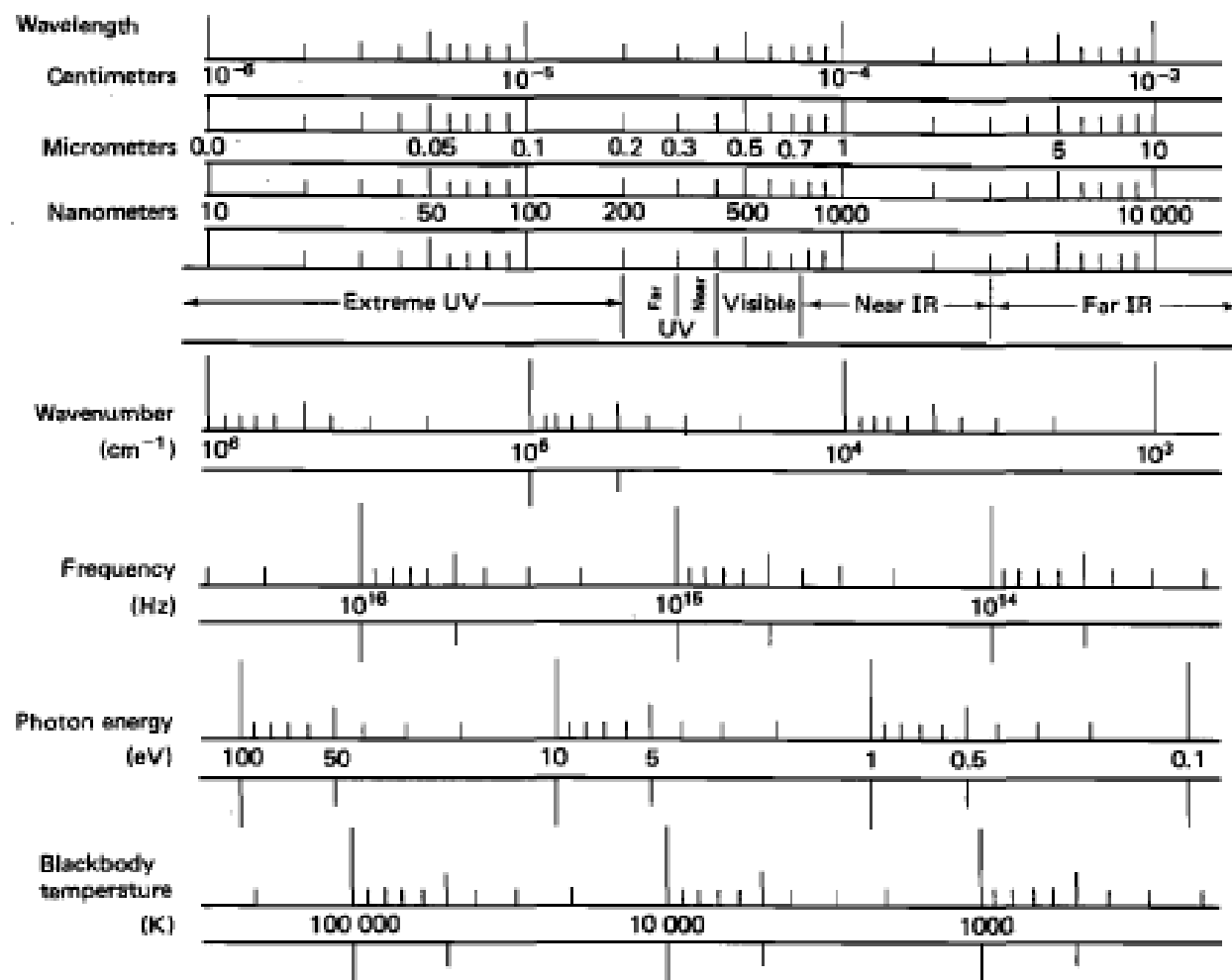


FIGURE 22-1. The light spectrum.



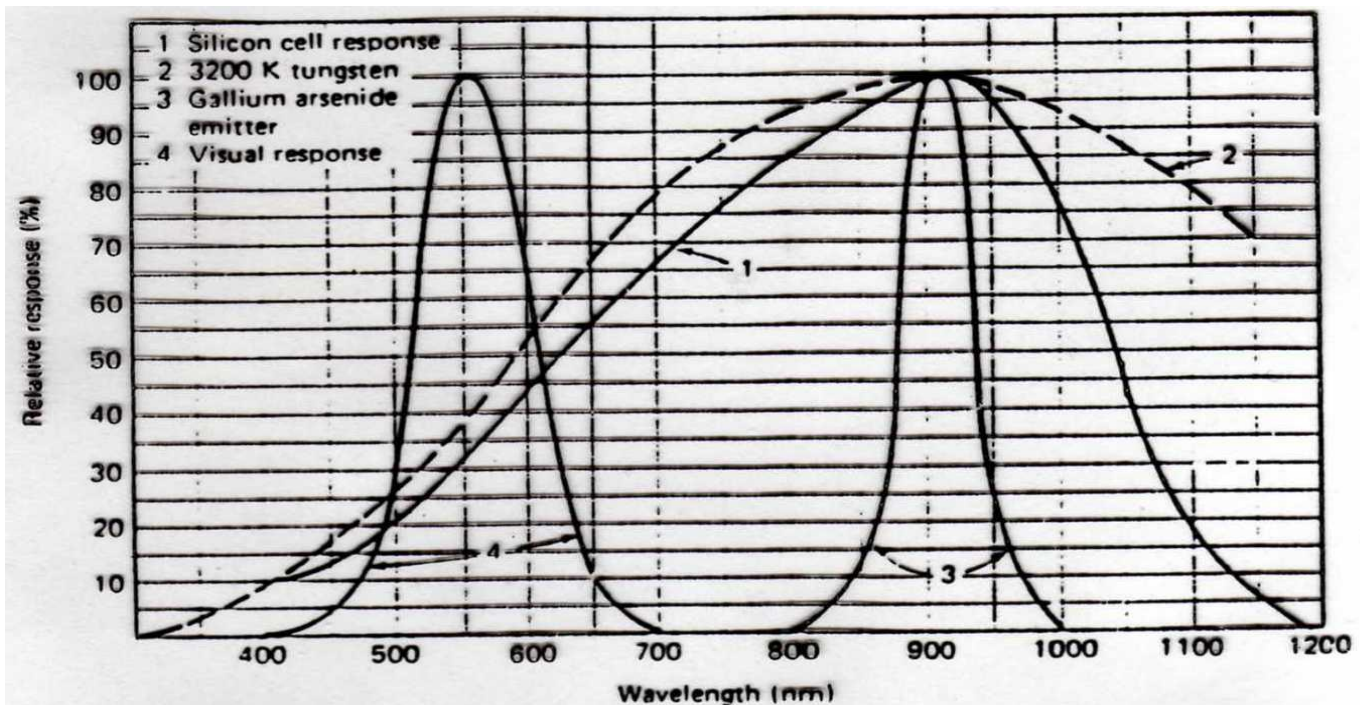
## Emisividad y conceptos relacionados

- Cuando vemos un objeto, sumamos tanto la energía emitida (que dependerá de su  $T^\circ$ ) como la luz que se refleja en él o la luz que atraviesa al mismo, lo que a su vez dependerá del material, el color y la superficie del mismo.
- La relación entre la energía incidente, reflejada, transmitida y absorbida, está determinada por:
- $E_i = E_a + E_t + E_r = 1$
- En un espejo ideal  $r=1$
- En un vidrio transparente ideal  $t=1$
- En un agujero negro  $a=1$

|               | <u>Ea</u> | <u>Ee</u> | Et | Er |
|---------------|-----------|-----------|----|----|
| Cuerpo negro  | 1         | 1         | 0  | 0  |
| Espejo        | 0         | 0         | 0  | 1  |
| Vidrio óptico | 0         | 0         | 1  | 0  |

# Espectros de emisión, transmisión, recepción

No existe nada lineal en los espectros electromagnéticos...



**FIGURE 22-6.** Relative spectral response of silicon cell compared with spectral characteristics of human eye, tungsten emitter, and GaAs (LED) emitter. (Courtesy of E G & G Vactec.)

## ≠ materiales de ventana

- El vidrio es transparente al ojo humano ya que la  $\lambda$  de la luz visible le permite atravesarlo; sin embargo, utilizando cámaras IR no se podría ver a través del vidrio, debido a que la mayor  $\lambda$  del IR no lo atraviesa. Tampoco la radiación UV puede atravesarlo, por ello la piel no se broncea a través del mismo
- Si a un recinto cerrado por vidrio ingresa luz visible, parte de la energía se refleja, parte se transmite y parte se absorbe. Los fotones que se absorben, producen calentamiento del medio, el cual emite radiación con energía (y por ende frecuencia) menor a la incidente:
  - La radiación fue absorbida como luz visible, se emite como radiación IR, y debido a que el IR no puede atravesar el vidrio, la radiación no puede salir del recinto, provocando el **efecto invernadero**.



## ≠ materiales de ventana

La radiación fue absorbida como como luz visible, se emite como radiación IR, y debido a que el IR no puede atravesar el vidrio, la radiación no puede salir del recinto, provocando el **efecto invernadero**.



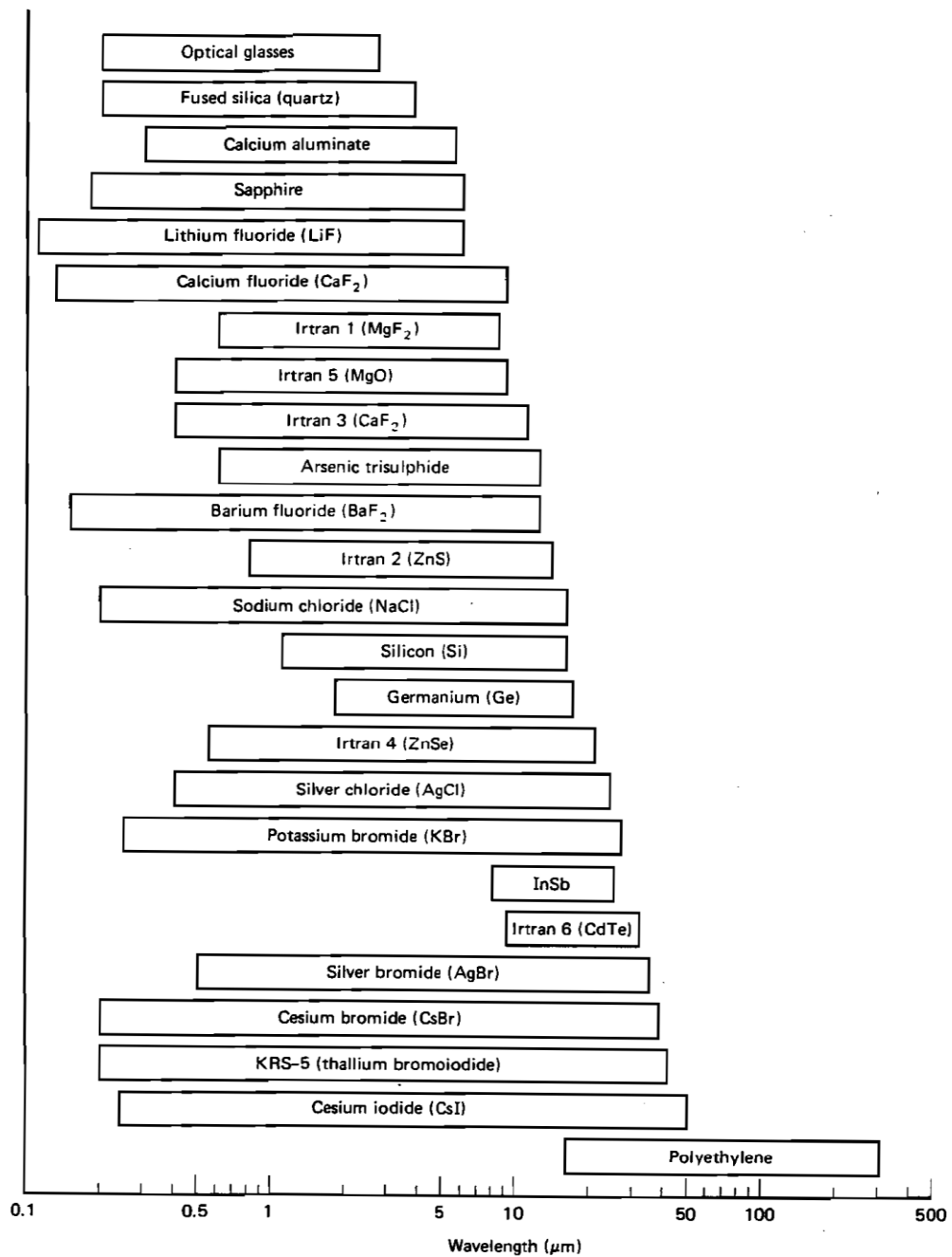
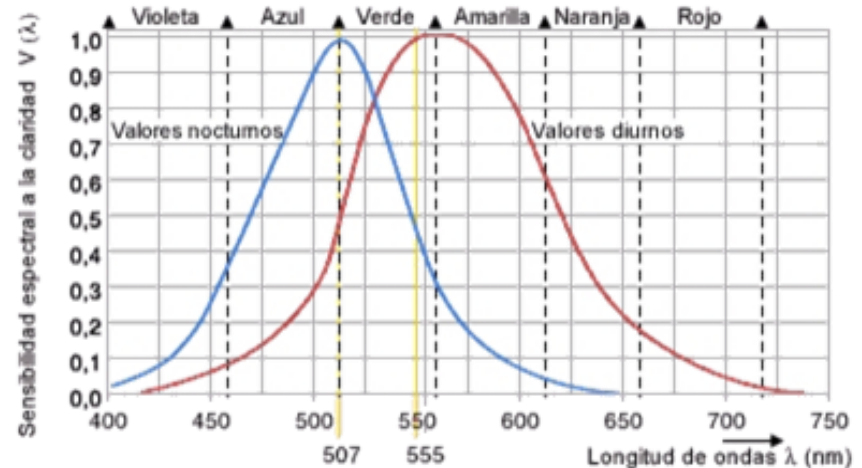


FIGURE 22-23. Transmission ranges of window materials.

# Respuesta espectral del ojo humano

La mayor sensibilidad del ojo humano se encuentra alrededor de los 550nm (correspondiente al color verde dólar) para la visión diurna, y en el rango del azul (500nm) para la visión nocturna.

- No todos los seres vivos poseen la misma respuesta espectral.



- Algunos animales poseen una mayor resolución (tal como el águila) o sensibilidad (tal como los gatos), debido a una mayor apertura de la pupila.
- La mayoría de los mamíferos ve en tonos de grises, y además, ciertos insectos como los mosquitos hembra, ven en el rango del IR



# UNIDADES Y ESCALAS

# Unidades ópticas

## Ópticas

- (relacionadas a la cantidad de fotones)
- Flujo luminoso:  $\text{lumen [lm]}$
- Intensidad luminosa:  $\text{candela [cd]}$
- Iluminancia (luz recibida):  $\text{lux} \left[ \text{lx} = \frac{\text{lm}}{\text{m}^2} \right]$
- Luminancia (luz emitida por la fuente):  $\left[ \frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \right]$

# Ejemplos de iluminación en Lux

| Iluminancia  | Abr.         | Ejemplo                                                                                                        |
|--------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0,000008 lux | 8 $\mu$ lx   | Luz de la estrella <a href="#">Sirio</a> (Vista desde la tierra)                                               |
| 0,0001 lux   | 100 $\mu$ lx | Cielo nocturno nublado, <a href="#">luna nueva</a>                                                             |
| 0,001 lux    | 1 mlx        | Cielo nocturno despejado, luna nueva                                                                           |
| 0,01 lux     | 10 mlx       | Cielo nocturno despejado, <a href="#">cuarto creciente o menguante</a>                                         |
| 0,25 lux     | 250 mlx      | Luna llena en una noche despejada <sup>1</sup>                                                                 |
| 1 lux        | 1 lx         | <a href="#">Luna llena</a> a gran <a href="#">altitud</a> en <a href="#">latitudes</a> tropicales <sup>2</sup> |
| 3 lux        | 3 lx         | Límite oscuro del <a href="#">crepúsculo</a> bajo un cielo despejado <sup>3</sup>                              |
| 100 lux      | 1 hlx        | Pasillo en una zona de paso                                                                                    |
| 300 lux      | 3 hlx        | Sala de reuniones                                                                                              |
| 500 lux      | 5 hlx        | Oficina bien iluminada                                                                                         |
| 600 lux      | 6 hlx        | Salida o puesta de sol en un día despejado.                                                                    |
| 1000 lux     | 1 klx        | Iluminación habitual en un <a href="#">estudio de televisión</a>                                               |
| 32.000 lux   | 32 klx       | Luz solar en un día medio (mín.)                                                                               |
| 100.000 lux  | 100 klx      | Luz solar en un día medio (máx.)                                                                               |

# Unidades térmicas o radiantes

## Térmicas

- (relacionadas a la cantidad de radiación)
- Flujo radiante:  $watts [w]$
- Intensidad radiante:  $\left[ \frac{w}{sr} \right]$
- Irradiancia (radiación recibida):  $\left[ \frac{w}{m^2} \right]$
- Radiancia (radiación emitida por la fuente):  $\left[ \frac{w}{sr.m^2} \right]$
- **Ej: Constante solar media = 1361 W/m<sup>2</sup>**



# PRINCIPALES TECNOLOGÍAS



# Parte 1: Espectro visible





# Tecnología sensores de luz

## 1. Sensores cuánticos o fotónicos

1. Fotovoltaicos
2. Fotoconductivos
3. Fotoconductivos de juntura
4. Fotoemisores

## 2. Detectores termales o de radiación

1. Bolómetros
2. Termoeléctricos
3. Piroeléctricos



## 1.1 Sensores fotovoltaicos

### Efecto Fotovoltaico

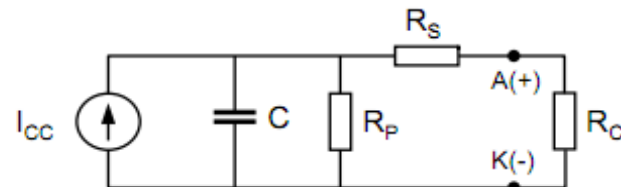
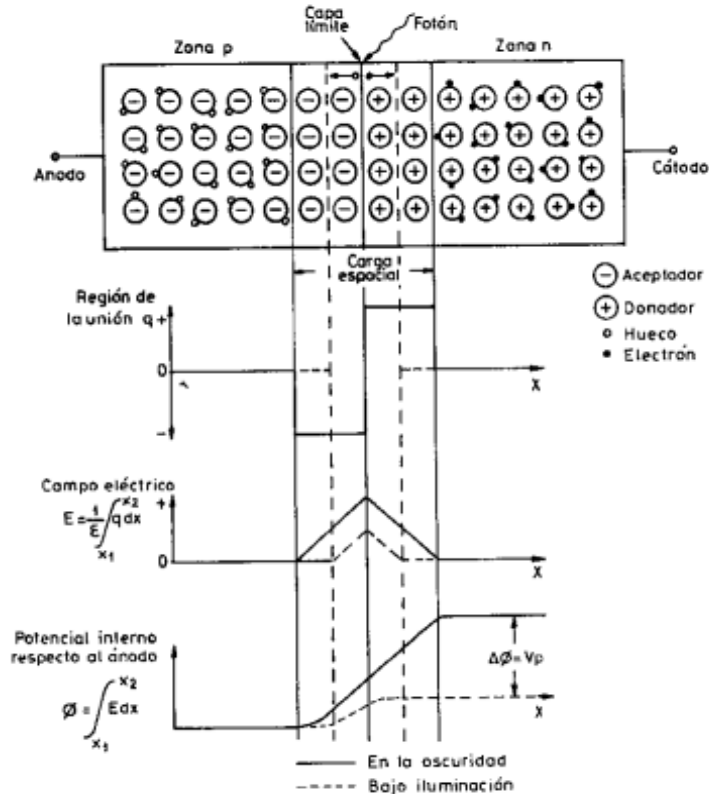
Al contactar un semiconductor p con uno n, se forma en la juntura una zona libre de portadores llamada banda prohibida o barrera de potencial.

Si la unión p-n, en circuito abierto, se **irradia** con radiación (visible o no) cuya energía supere la anchura de **banda prohibida**, aparecen pares electrón-hueco adicionales que se desplazan bajo la acción del campo eléctrico en la zona de la unión. La llegada de electrones a la zona n y de huecos a la zona p, **produce un cambio de potencial de contacto  $V_p$**  que se puede medir mediante conexiones externas a una resistencia de carga.

Esta tensión aumenta al hacerlo la intensidad de la radiación incidente hasta llegar a la saturación.

# 1.1 Sensores fotovoltaicos

## Efecto Fotovoltaico



Circuito equivalente para un sensor fotovoltaico



## 1.1 Sensores fotovoltaicos

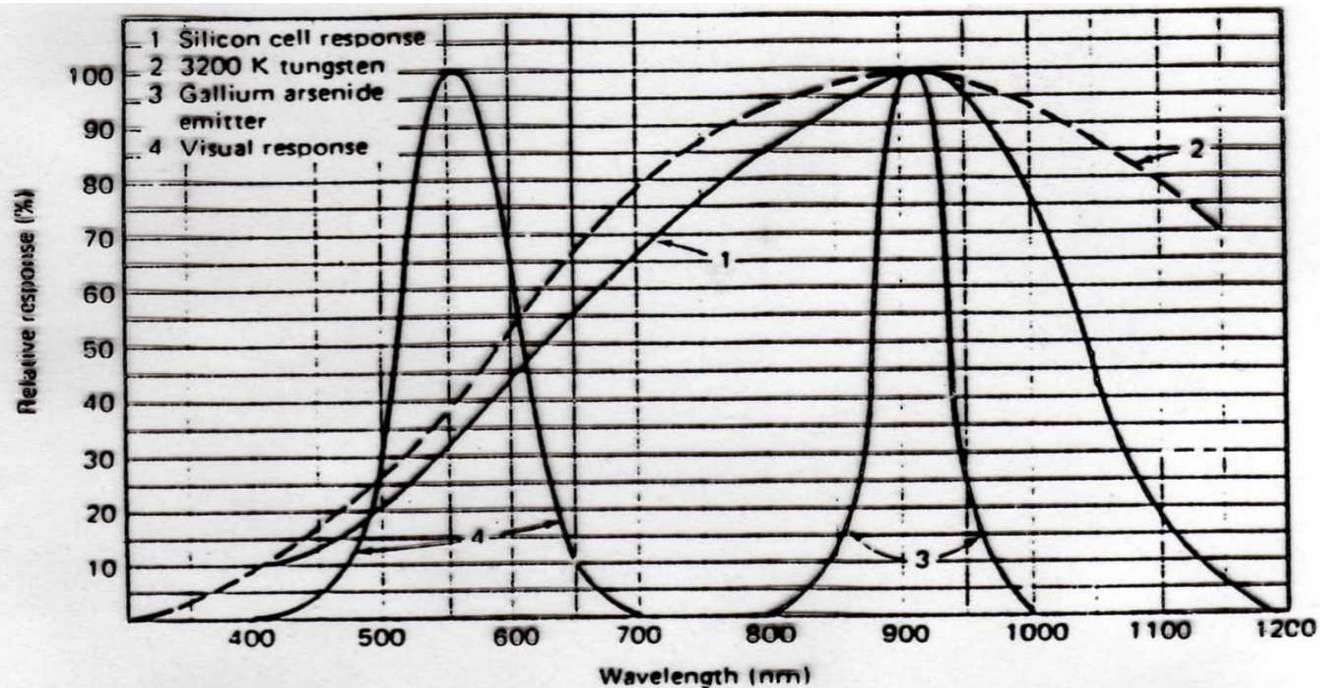
### Materiales para sensores fotovoltaicos:

En la zona visible y del infrarrojo cercano se emplean el **silicio** y el **selenio**, el primero en forma de homouniones, mientras que el segundo consta de una capa de selenio -p- sobre óxido de cadmio -n-. Al silicio se añade a veces una zona de silicio intrínseco (no dopado) entre las zonas p y n. Esto aumenta la anchura de la zona desierta y repercute en un mayor rendimiento a longitudes de onda largas, así como en una mayor rapidez y menor ruido y corriente de oscuridad.

Para otras longitudes de onda se emplean el **germanio**, **antimoniuro de indio**, **arseniuro de indio**, etc.

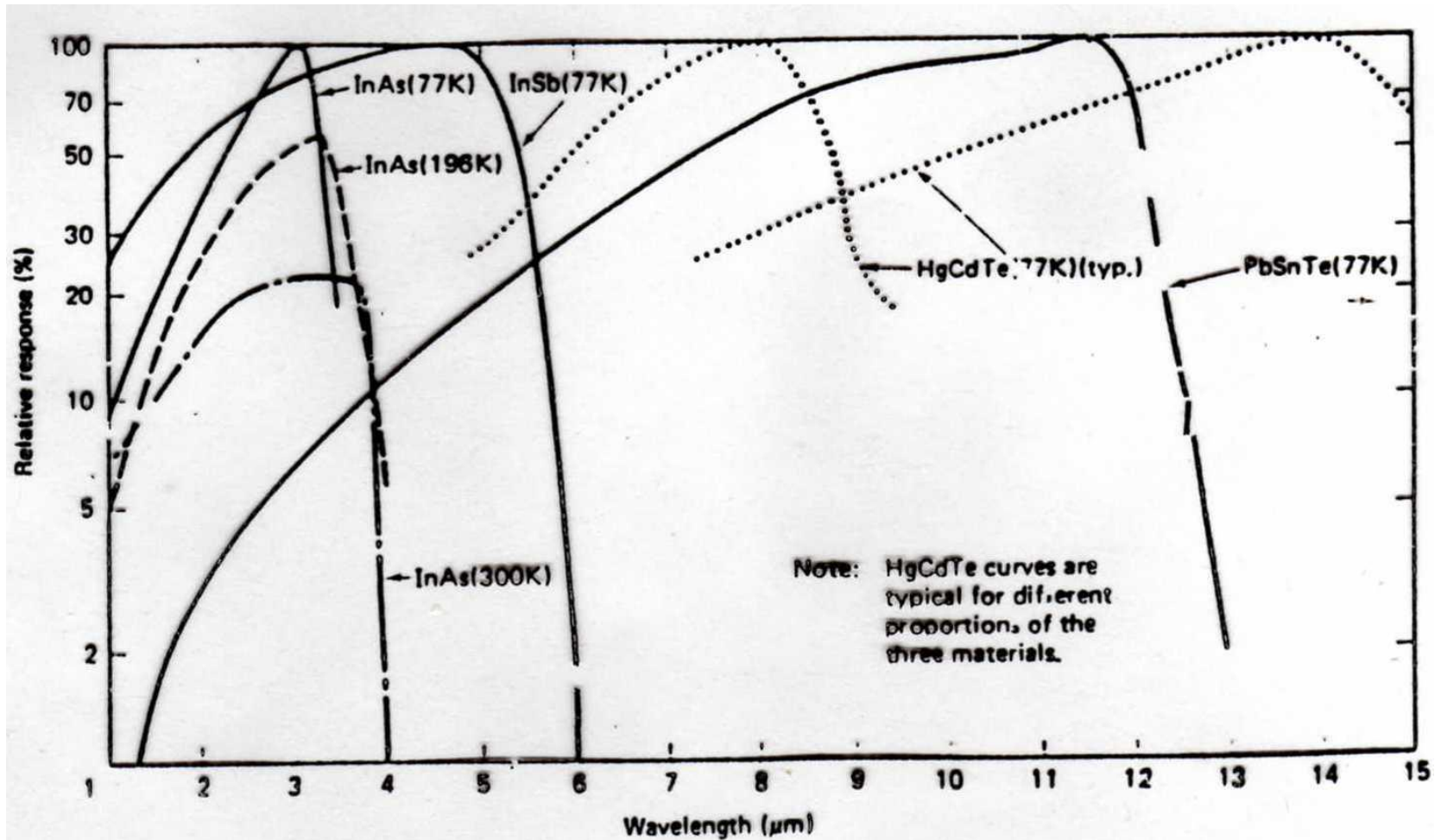


# Materiales para sensores fotovoltaicos



**FIGURE 22-6.** Relative spectral response of silicon cell compared with spectral characteristics of human eye, tungsten emitter, and GaAs (LED) emitter. (Courtesy of E G & G Vactec.)

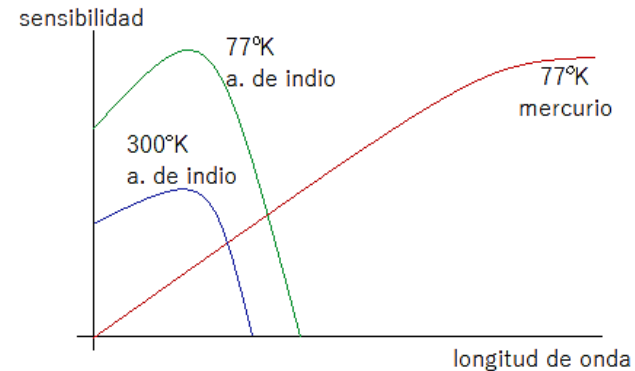
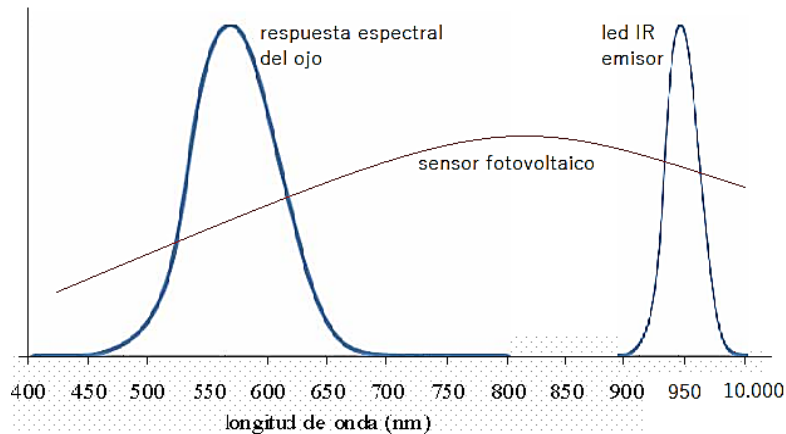
## Curvas espectrales de para otros materiales de construcción



**FIGURE 22-8.** Relative spectral response of photovoltaic infrared sensors.

## Curvas "simplificadas"

Los sensores fotovoltaicos tienen una respuesta espectral ancha. Sin embargo, hay sensores con un rango restringido debido a que se coloca una ventana que filtra determinadas longitudes de onda



La energía cinética de las partículas genera ruido de fondo. A menor longitud de onda, la energía cinética es mayor, por lo que para aumentar la sensibilidad del sensor se puede bajar su temperatura, disminuyendo así la energía cinética y aumentando la "detectividad"



## Características

Son sensores generadores, parientes cercanos de las celdas solares

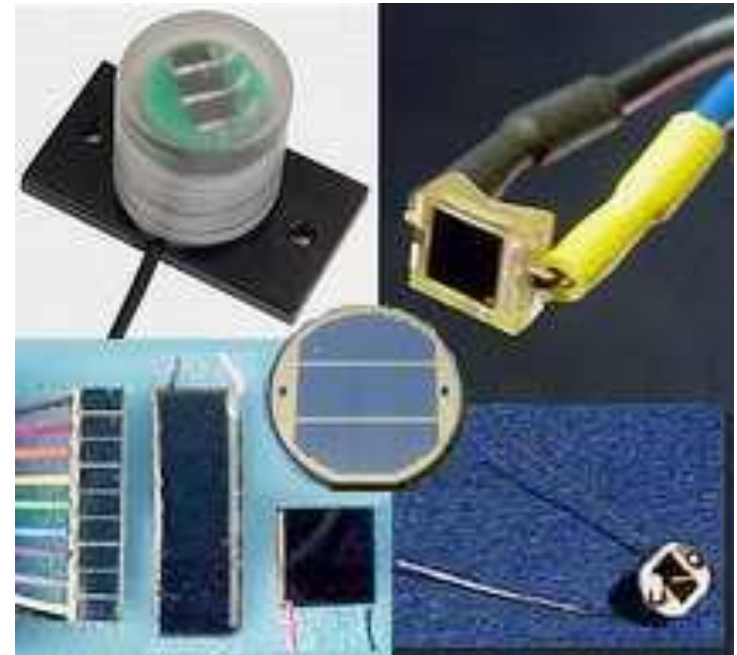
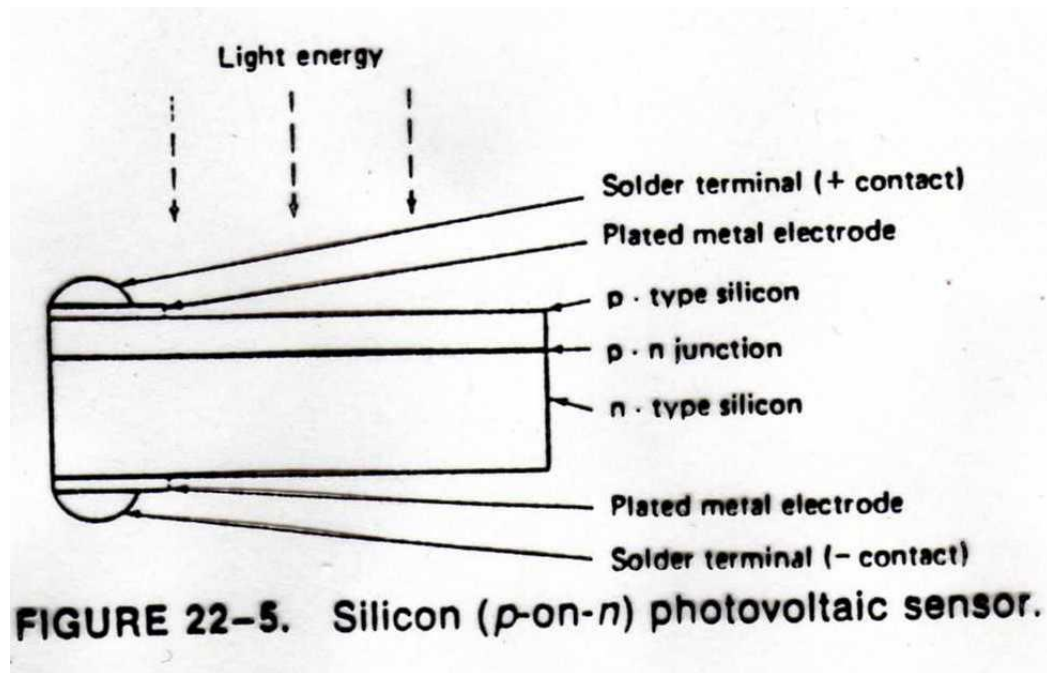
Los detectores fotovoltaicos ofrecen mejor linealidad que los fotoconductores, son más rápidos y tiene menor ruido, pero en cambio requieren amplificación. Al aumentar la resistencia de carga, se reduce la linealidad y aumenta el tiempo de respuesta.

Cuadro 4.9 Características de una célula fotoeléctrica de silicio de aplicación general, modelo S639, a 25°C.

| Parámetro                                | Valor                                 |
|------------------------------------------|---------------------------------------|
| Diámetro                                 | 20 mm                                 |
| Area efectiva                            | 300 mm <sup>2</sup>                   |
| Longitud de onda con sensibilidad máxima | 850 ± 50 nm                           |
| Sensibilidad                             | 0,45 A/W                              |
| Ruido                                    | 10 <sup>-12</sup> W/Hz <sup>1/2</sup> |
| Corriente cortocircuito para 100lx       | 180µA                                 |
| Capacidad unión                          | 100nF                                 |
| Tiempo respuesta (a 655nm)               | 200µs                                 |
| Temperatura de funcionamiento            | -10 a 60 °C                           |



# Esquema de construcción





## Celdas solares fotovoltaicas

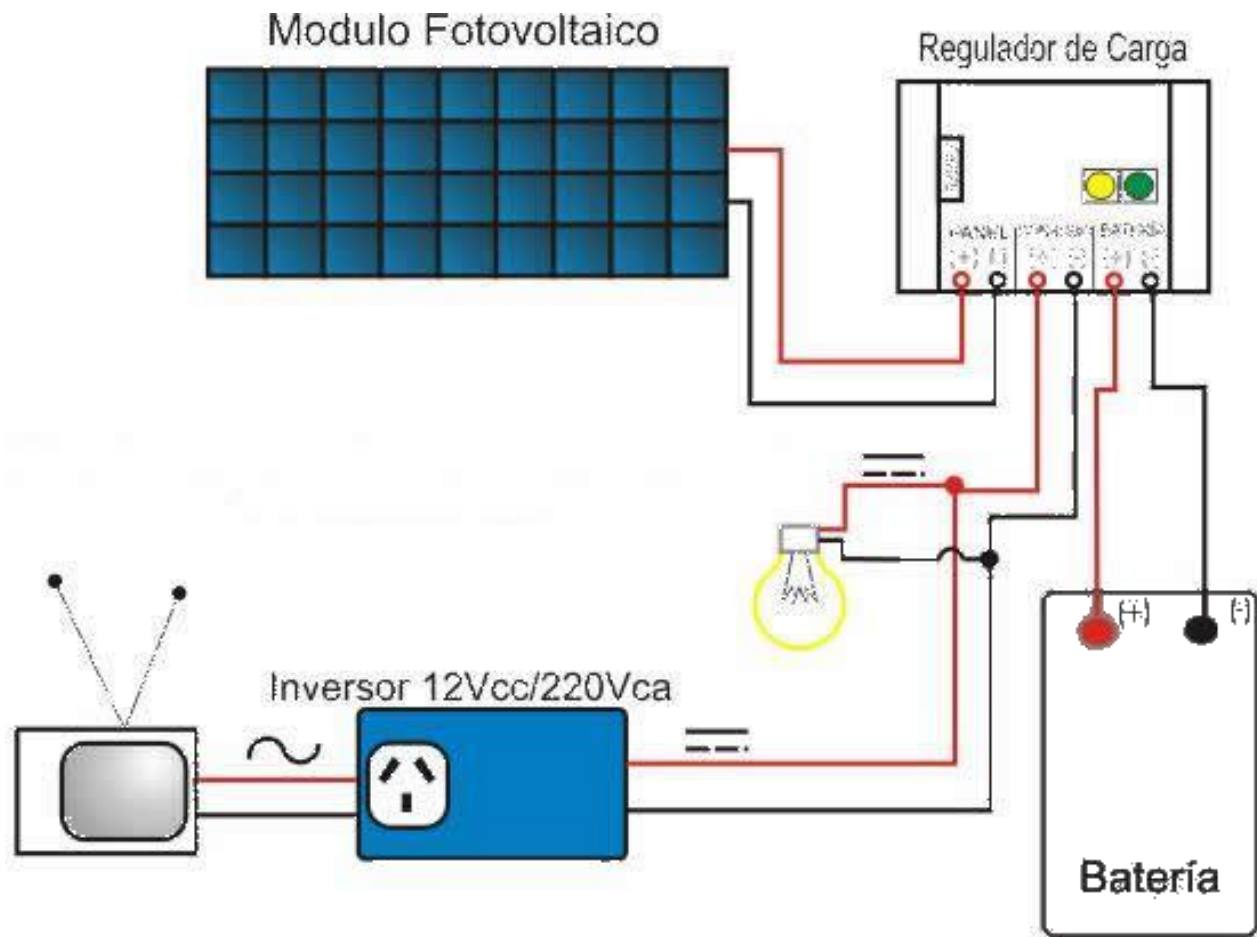
Son dispositivos que reciben la luz solar y transforman la energía absorbida en una señal eléctrica. Las celdas se conectan entre sí, tanto en serie como en paralelo, para formar *paneles solares*.

Un sistema para obtener energía eléctrica se compone de:

- Paneles Solares, cuya superficie dependerá de la potencia instalada, la intensidad y horas de radiación solar promedio.
- Regulador de tensión de carga/descarga máxima de la batería.
- Batería, para la acumulación de energía eléctrica (para periodos sin sol).
- Inversor, convertir la tensión de CC en tensión de CA y suministrar la potencia necesaria a los equipos de consumo



# Celdas solares fotovoltaicas



## Cálculos con celdas solares

- Dentro de las especificaciones de las celdas se encuentran: tensión, corriente, potencia, dimensiones, peso, etc.
- Por ejemplo, si necesito construir un panel solar de 60W con celdas de 0,5V y 3,3 A:
- $P_c = V \cdot I = 0,5 \text{ V} \cdot 3,3 \text{ A} = 1,65 \text{ W}$
- $P_p = n \cdot P_c \rightarrow n = \frac{P_p}{P_n} = \frac{60\text{W}}{1,65\text{W}} = 36 \text{ celdas}$
- La conexión de las celdas en *serie* aumenta la tensión a igual corriente, mientras que la conexión en *paralelo* aumenta la corriente a igual tensión.
- Luego, se calculan las baterías, teniendo en cuenta la potencia suministrada y el tiempo de uso

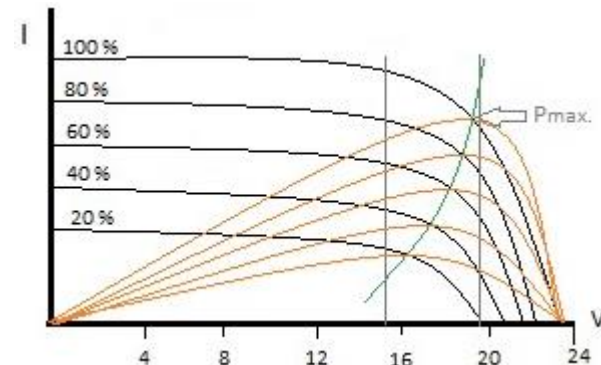
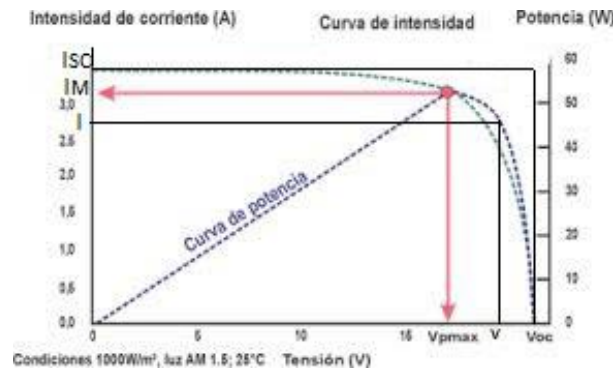


# Especificaciones celdas solares

## *Parámetros de la curva I-V:*

Corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ): es la máxima corriente que producirá bajo unas condiciones definidas de iluminación y temperatura, cortocircuitando los bornes del dispositivo.

Voltaje a circuito abierto ( $V_{oc}$ ): es el máximo voltaje del dispositivo bajo unas condiciones definidas de iluminación y temperatura, correspondientes a una corriente igual a cero, o sea, en condiciones de circuito abierto.



## Curva I-V en celdas solares

- Corriente (I) a un determinado voltaje (V): el punto de corriente y voltaje en el que la celda trabajará estará determinado por la carga a la que esté conectada. A mayor resistencia, menor intensidad (hacia el lado derecho de la curva) y viceversa.
- En la curva puede observarse que la intensidad de corriente eléctrica es aproximadamente proporcional a la radiación incidente y que, a grandes variaciones de corriente, hay poca variación de voltaje.
- Potencia máxima (Pmax): es la que se alcanza cuando la resistencia del circuito externo es tal que el producto  $P=V.I$  sea máximo.
- El rendimiento de la celda será:  $\eta = \frac{P_{electrica}}{P_{solar}} 100$
- El rendimiento de las celdas solares es bajo y depende del material con el que está construida la celda. Se puede mejorar mediante un sistema mecánico de seguimiento solar, capaz de orientar los paneles solares de forma que éstos permanezcan a cualquier hora del día perpendiculares a los rayos solares.

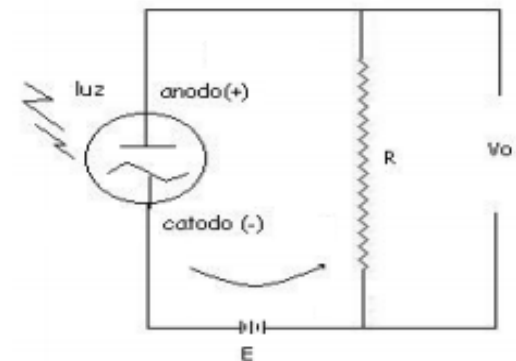
## 1.2 Sensores fotoconductorivos

Los hay de vacío y de estado sólido.

Los primeros se componen de un ánodo y un cátodo recubierto de un material fotosensible y aprovechan el efecto fotoeléctrico mediante el cual, cuando un haz de luz incide sobre el cátodo libera electrones que son atraídos hacia el ánodo, originando un flujo de corriente proporcional a la energía de radiación.

$$E_{\text{fotón}} = h\nu = \Phi + \frac{1}{2}mv^2$$

Donde  $\Phi$  es la función trabajo, energía necesaria para liberar un electrón



# Sensores fotoconductivos de estado sólido

Fotorresistores (por sus siglas en ingles, "Light Dependent Resistors"-LDR) funcionan gracias a la variación de la resistencia eléctrica de un semiconductor luego de incidir una radiación electromagnética con longitud de onda entre 1mm y 10 nm.



Fotorresistencia (LDR). a) Símbolo. b) Modelo de bajo costo, encapsulado en plástico transparente

- La conductividad eléctrica de un material depende del número de portadores en la banda de conducción.
- En un semiconductor, a baja  $T^\circ$  se comporta casi como un aislante. Pero al aumentar la  $T^\circ$ , dado que las **bandas de valencia y de conducción** están **próximas**, cada vez hay **más electrones** que **saltan** de la banda de valencia a la de conducción., aumentando la conductividad. Si el semiconductor está dopado, este salto es aún más fácil.

# ■ Efecto fotoconductor

Si la radiación tiene energía suficiente para permitir el salto de los electrones de una banda a otra, pero sin exceder el umbral necesario para que se desprendan del material, se tendrá efecto fotoeléctrico interno o fotoconductor, y a mayor iluminación mayor será la conductividad.

E: energía

h: cte. de Plank

f: frecuencia de la radiación

c: velocidad de la luz

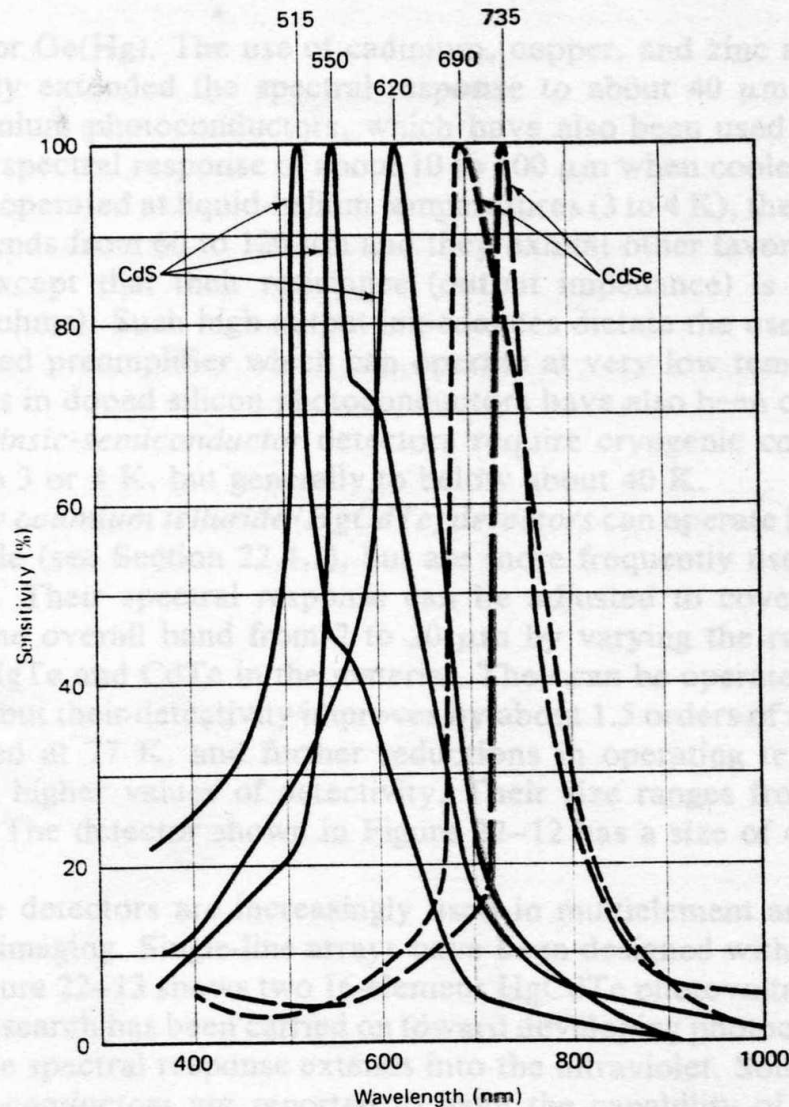
$\lambda$ : longitud de onda

$$E = h \cdot f$$

$$\lambda = \frac{c \cdot h}{E}$$

Calculamos la longitud onda a la cual posee la mayor sensibilidad

$$\lambda(\mu\text{m}) = \frac{1,24}{E(\text{eV})}$$



**FIGURE 22-9.** Spectral response of typical CdS and CdSe photoconductive sensors. (Curves courtesy of Clairex Corp.)

Estos materiales son populares debido a que su respuesta espectral se encuentra en el campo visible y tiene una relativamente alta sensibilidad frente a los cambios de iluminación



## Respuesta espectral de distintos materiales

En la zona visible ( $0,38$  a  $0,75\ \mu\text{m}$ ) y del infrarrojo muy cercano ( $0,75$  a  $1,4\ \mu\text{m}$ ) se emplean compuestos de cadmio (Scs, SeCd, TeCd). En la zona del infrarrojo cercano ( $1,4$  a  $3\ \mu\text{m}$ ) se emplean compuestos de plomo (Spb, SePb, TePb). En la zona del infrarrojo medio ( $3$  a  $14\ \mu\text{m}$ ) y lejano (hasta  $1\ \text{mm}$ ) se emplean compuestos de indio (SbIn, AsIn), telurio, y aleaciones de telurio, cadmio y mercurio, así como silicio y germanio dopados.



# Respuesta espectral de distintos materiales

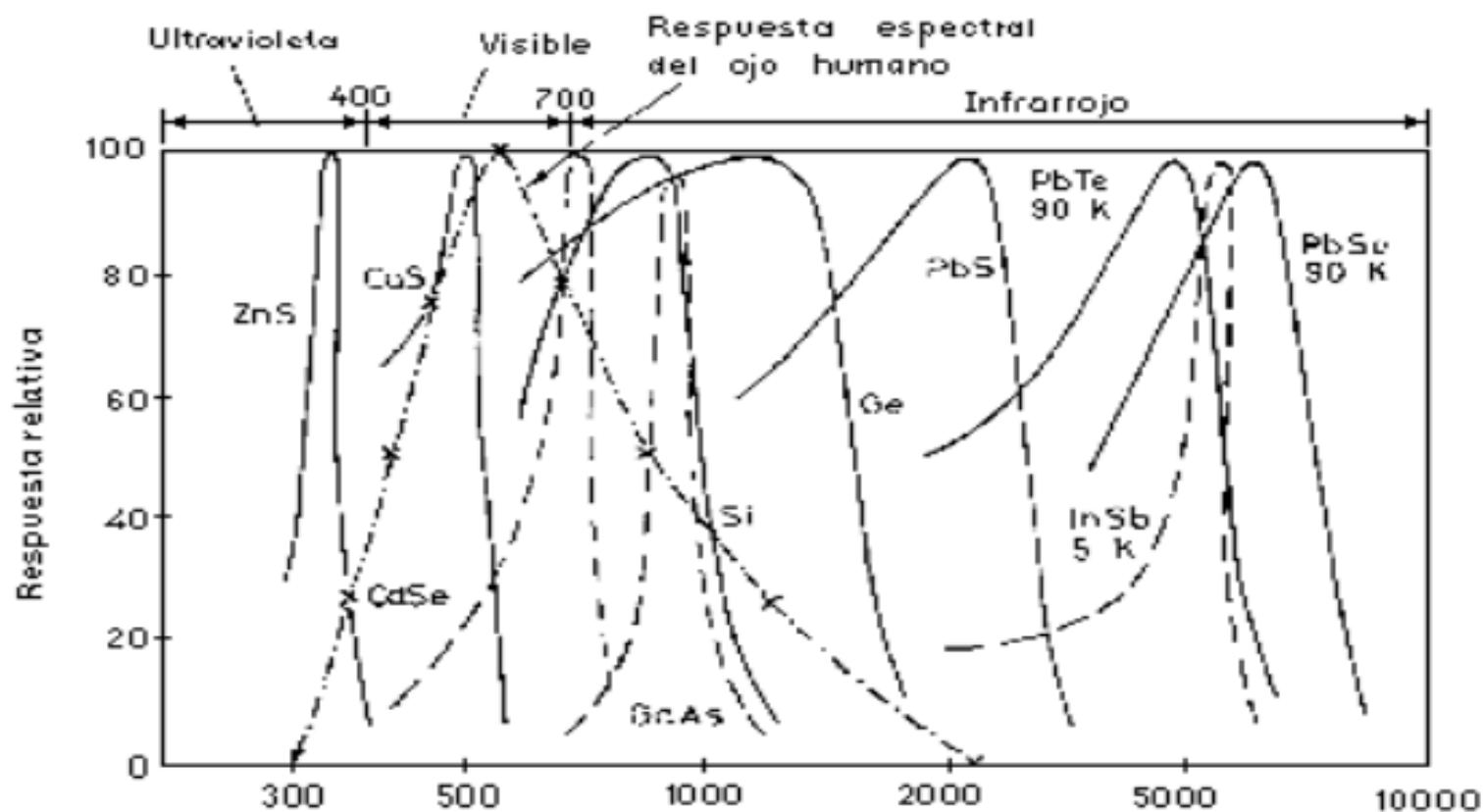


Figura 2.25 Respuesta espectral de distintos fotoconductores intrínsecos.



## Factores que afectan la medición

El valor absoluto de la resistencia en cualquier instante depende:

- del material fotoconductor,
- el espesor, el área superficial,
- la geometría del material,
- la geometría de los electrodos,
- la composición del espectro de la luz incidente,
- el nivel de iluminación,
- la temperatura operativa, y
- la diferencia entre el pasado y el presente en los niveles de luz.



SECRET

## Un modelo simple es:

$$R = A.E^{-\alpha}$$

MEASUREMENT DATA • All measurements at 2854°K • Cells light adapted 16 hrs. at 30 ft.—c prior to test  
• Measurement voltage is D.C. applied voltage for measuring resistance • All readings made at 25°C ambient



A y  $\alpha$  dependen del material y el modo de fabricación

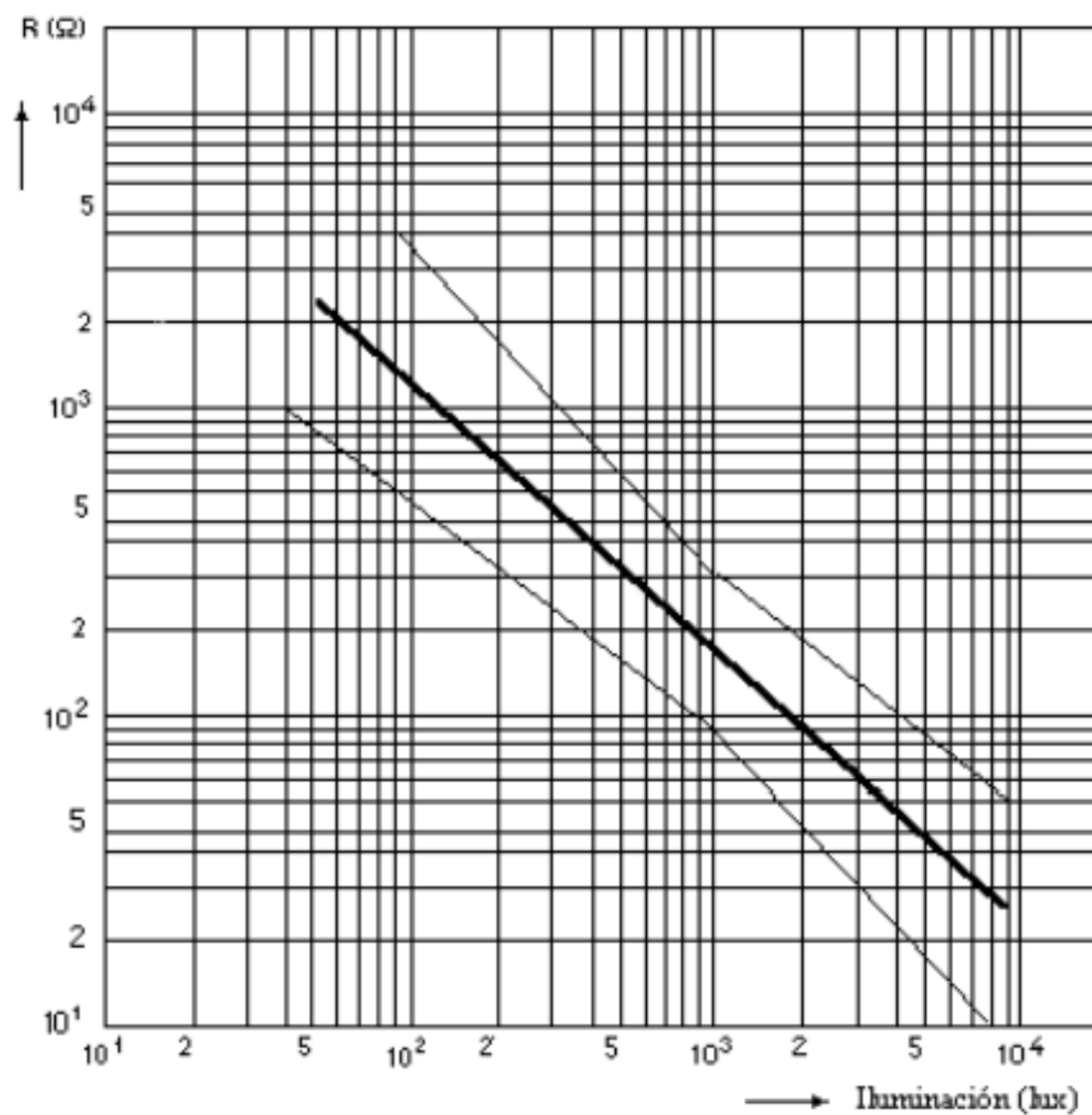


Figura 2.24 Característica resistencia-iluminación de una LDR



## Efecto de la temperatura

Son sensibles a la temperatura, afecta a su sensibilidad a la radiación en un grado que se incrementa cuanto menor sea la iluminación (hay generación térmica de pares electrón-hueco).

La temperatura también causa el denominado ruido térmico: fluctuaciones de corriente cuando se aplica una tensión a la fotorresistencia para poder medir su valor.

Para evitar estos efectos en radiaciones de baja energía se utilizan celdas peltier





## Usos de los LDR

Para medir luz con baja precisión y costo (control de la iluminación en la vía pública, detección de incendios, control del diafragma en cámaras, etc.)

Empleo de la luz para realizar una acción (detectores de presencia y posición, control de nivel en depósitos, etc.)

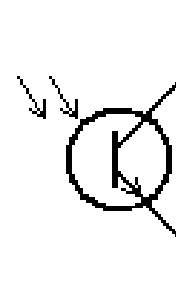
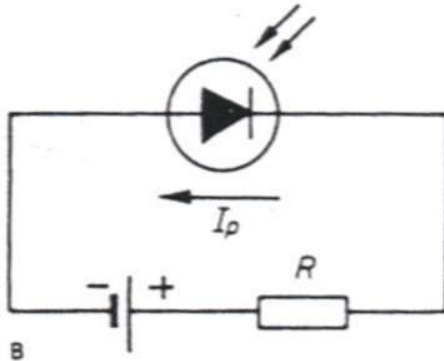




## 1.3 Sensores fotoconductivos de juntura

Incluyen:

1. fotodiodos ,
2. fototransistores y
3. algunos tipos especiales de fotodiodos de estado sólido.





### 1.3.1 Fotodiodos

En los fotodiodos se produce el **efecto fotoeléctrico** interno en una unión p-n.

Cuando una luz con la energía necesaria llega al diodo, crea pares electrón-hueco. Si la absorción ocurre en la zona de agotamiento de la unión, estos portadores son retirados de la unión por el campo de la zona de agotamiento, produciendo una fotocorriente.



En el fotodiodo la corriente (que varía con los cambios de la luz) es la que circula en sentido inverso al permitido por la juntura del diodo. Es decir, es polarizado inversamente.

## 1.3.1 Fotodiodos : Construcción y materiales

Compuestos de silicio, sensible a la luz visible (longitud de onda de hasta  $1\mu\text{m}$ ); germanio para luz infrarroja (longitud de onda hasta aprox.  $1,8\mu\text{m}$ ); o de cualquier otro material semiconductor.

Esquema de construcción

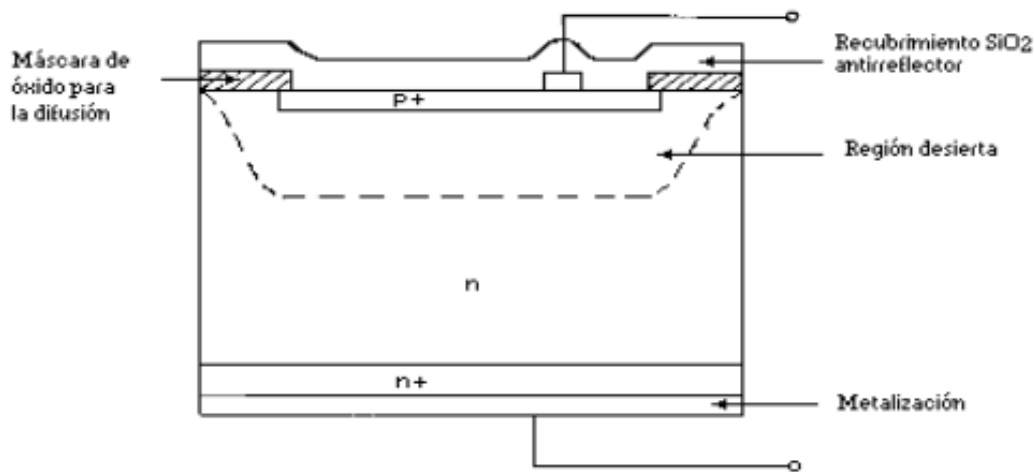


figura 6.4 Estructura de un fotodiodo

| Material                            | Longitud de onda (nm) |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Silicio                             | 190–1100              |
| Germanio                            | 800–1700              |
| Arseniuro de Indio y galio (InGaAs) | 800–2600              |
| sulfuro de plomo                    | <1000-3500            |

### 1.3.1 Fotodiodos : Relación corriente-voltaje

La corriente total a través del diodo, en función de la tensión en sus bornes, se da normalmente en forma de gráficas, como la de la figura.

Para una resistencia de carga, a partir de estas curvas y de la ecuación,

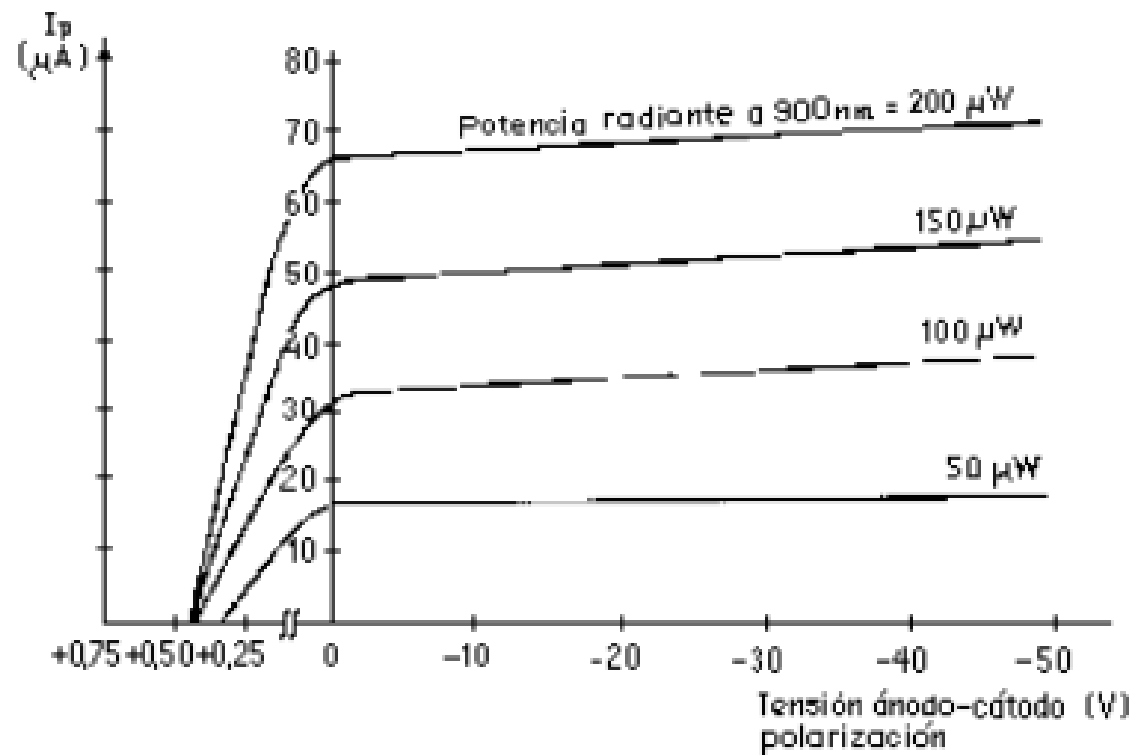
$$V_0 = (I_p + I_D) \frac{R_c R_p}{R_c + R_p + R_s}$$

**$I_p$**  es la corriente de señal ;  **$I_D$**  es la corriente de fugas;  **$I_n$**  es la corriente total de ruido;  **$R_p$**  es la resistencia dinámica;  **$R_s$**  es la resistencia serie;  **$R_c$**  la resistencia de carga.

Se puede conocer la tensión de salida. La sensibilidad depende de la temperatura.

## 1.3.1 Fotodiodos : Relación corriente-voltaje

Figura 6.8 Corriente en un fotodiodo p-i-n en función de polarización y la iluminación.



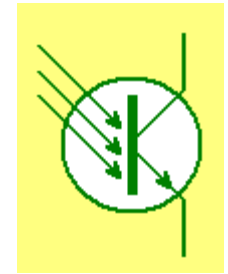
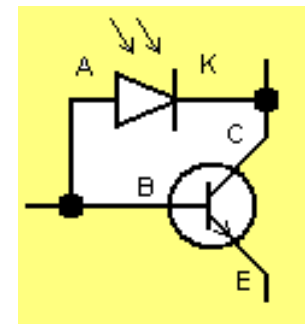


## 1.3.1 Fotodiodos : Aplicaciones

- El fotodiodo responde a los cambios de oscuridad a iluminación y viceversa con mucha más velocidad en comparación con el LDR, y puede utilizarse en circuitos con tiempo de respuesta más pequeño.
- Se usa en los lectores de CD, recuperando la información grabada en el surco del Cd transformando la luz del haz láser reflejada en impulsos eléctricos para ser procesados por el sistema y obtener los datos grabados.
- usados en fibra óptica,
- control de iluminación y brillo,
- control remoto por infrarrojo,
- monitorización de llamas de gas y de petróleo,
- enfoque automático y
- control de exposición en cámaras.



## 1.3.2 Fototransistores



Un fototransistor es un transistor normal que puede trabajar de dos formas:

1. Como transistor normal con la corriente de base  $I_b$  (modo común).
2. Como fototransistor, cuando la luz que incide en este elemento hace las veces de corriente de base.  $I_p$  (modo de iluminación).

El fototransistor se utiliza principalmente con el pin de la base sin conectar.  $I_b = 0$

La corriente de base total es igual a corriente de base (modo común) + corriente de base (por iluminación):  $I_{bt} = I_b + I_p$ .

Se basa en el efecto fotoeléctrico interno



## 1.3.2 Fototransistores: Modo de funcionamiento

El fototransistor es muy utilizado para aplicaciones donde la detección de iluminación es muy importante. Como el **fotodiodo**, tiene un tiempo de respuesta muy corto, solo que su entrega de corriente eléctrica es mucho mayor.

Se observa que el circuito equivalente está compuesto por un fotodiodo y un transistor. La corriente que entrega el fotodiodo (circula hacia la base del transistor) se amplifica  $\beta$  veces, y es la corriente que puede entregar el fototransistor.



## 1.3.2 Fototransistores: Circuito equivalente

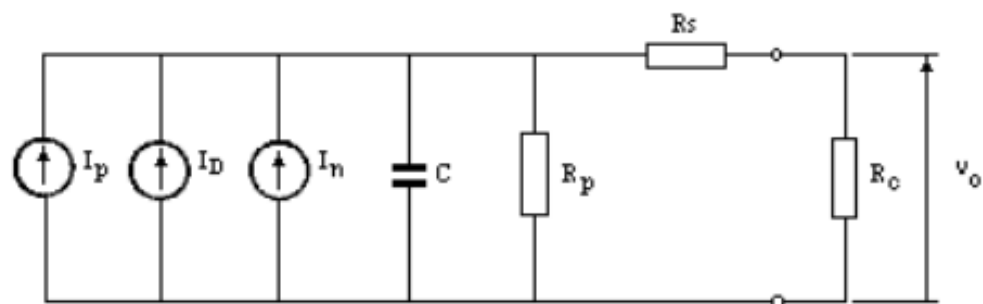


Figura 6.7 Circuito equivalente para un fotodiodo.  $I_p$  es la corriente de señal;  $I_D$  es la corriente de fugas;  $I_n$  es la corriente total de ruido;  $R_p$  es la resistencia dinámica;  $C$  es la capacidad del diodo;  $R_s$  es la resistencia serie;  $R_c$  es la resistencia de carga.

Cuadro 6.2 Especificaciones de dos fotodiodos comerciales.

| Parámetro                                         | 5082 - 4203 (p-i-n)<br>Hewlett Packard | G1115 (GaAsP)<br>Hamamatsu |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------|
| Area efectiva                                     | 0,2 mm <sup>2</sup>                    | 1,7 mm <sup>2</sup>        |
| Sensibilidad                                      | 0,5 A/W a 770 nm                       | 0,29 A/W a 560 nm          |
| Corriente de fuga a 25°C                          | 2,0 nA a -10 V                         | 10 pF a -10 mV             |
| C                                                 | 1,5 pF a -25 V                         | 600pF                      |
| $R_s$                                             | 50Ω                                    | -                          |
| $R_p$                                             | 100 GΩ                                 | 20 GΩ                      |
| Tiempo de subida y bajada sin polarización        | 300ns                                  | 1500 ns                    |
| Tiempo de subida y bajada a -20 V y 50 Ω de carga | 1 ns                                   | -                          |

## 1.3.2 Fototransistores: Hoja de datos

| Característica                                                                                                                                                  | Símbolo                   | Min.   | Tipico  | Máx.       | Unidades              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|---------|------------|-----------------------|
| Corriente oscura de colector<br>( $V_{CC} = 20 \text{ V}$ ; $R_L = 100 \text{ ohmios}$ ; base abierta)<br>$T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_A = 100^\circ\text{C}$ | $I_{CEO}$                 | —<br>— | —<br>10 | 0,025<br>— | $\mu\text{A}$         |
| Sensibilidad radiación colector-emisor<br>( $V_{CC} = 20 \text{ V}$ ; $R_L = 100 \Omega$ ; base abierta)                                                        | $S_{RCEO}$                | 1,0    | 1,6     | —          | $\text{mA/mW/cm}^2$   |
| Sensibilidad radiación colector-base<br>( $V_{CC} = 20 \text{ V}$ ; $R_L = 100 \Omega$ ; emisor abierto)                                                        | $S_{RCBO}$                | 2,0    | —       | —          | $\mu\text{A/mW/cm}^2$ |
| Tiempo de subida fotocorriente saturada                                                                                                                         | $t_r(\text{sat})$         | —      | 1,0     | —          | $\mu\text{s}$         |
| Tiempo de caída fotocorriente saturada                                                                                                                          | $t_f(\text{sat})$         | —      | 10      | —          | $\mu\text{s}$         |
| Longitud de onda de sensibilidad máxima                                                                                                                         | $\lambda_{S(\text{max})}$ | 0,7    | —       | 0,9        | micrones              |

\*  $H = 5 \text{ mW/cm}^2$  de una fuente de tungsteno a  $2870^\circ\text{K}$

**Figura 28. Hoja de datos de un Fototransistor.**



## 1.3.2 Fototransistores: Funcionamiento

En el fototransistor **la corriente oscura (ICBO) también se multiplica por  $\beta$** , como la fotocorriente de base. Una buena prueba de este hecho es una comparación de la irradiancia cuando  $I_{\text{luz}} = I_{\text{oscura}}$  para varios fotodetectores.

La **respuesta en frecuencia** de los fototransistores es **menor que la combinación fotodiodo-amplificador**. Debido a la gran capacidad base-colector del fototransistor que toma una carga elevada que sólo puede descargarse por la corriente oscura, relativamente baja.

la **región** de funcionamiento **lineal** del fototransistor es varios órdenes de magnitud **menor que en los fotodiodos**. El problema de la linealidad y muchas otras limitaciones del fototransistor, se deben a la variación de  $\beta$  con el nivel de corriente y la temperatura.



## 1.3.2 Fototransistores: Relación corriente colector emisor- $V_{cc}$

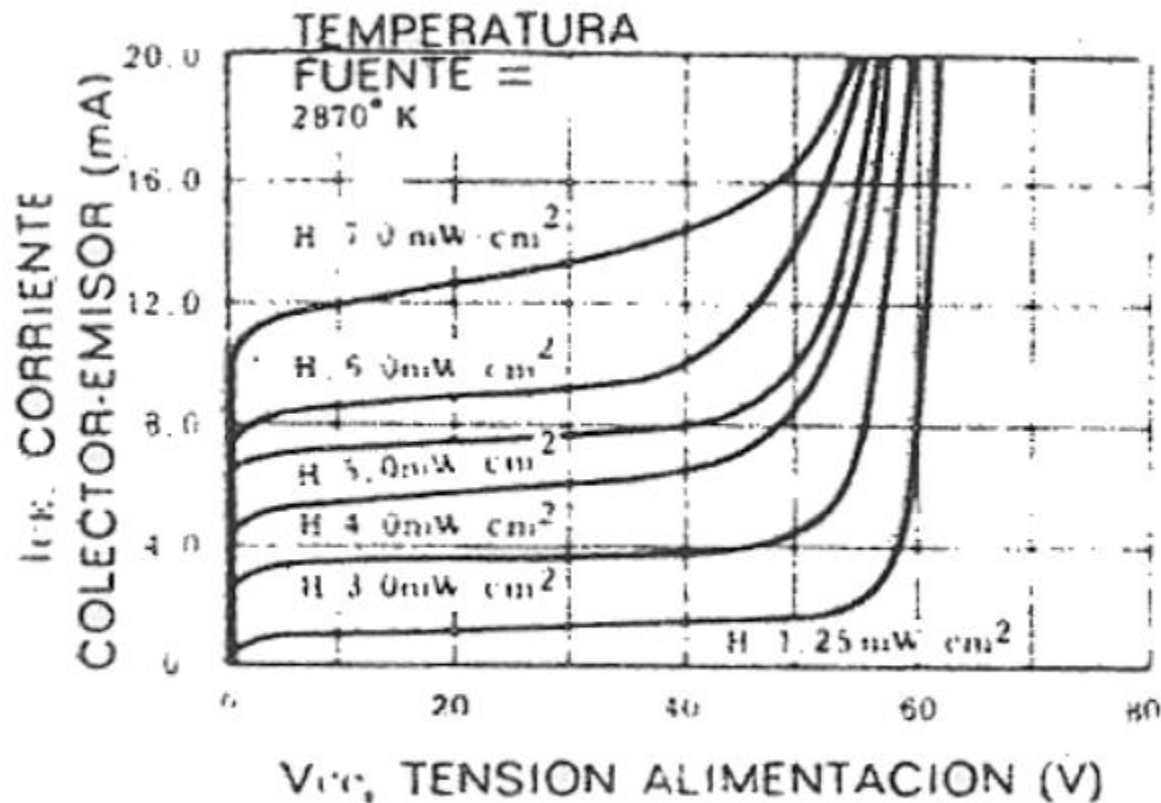


Figura 29.  $I_{CB}$  en función de la radiación.

Muestra las no linealidades de la respuesta del transistor

### 1.3.2 Fototransistores: Respuesta en frecuencia

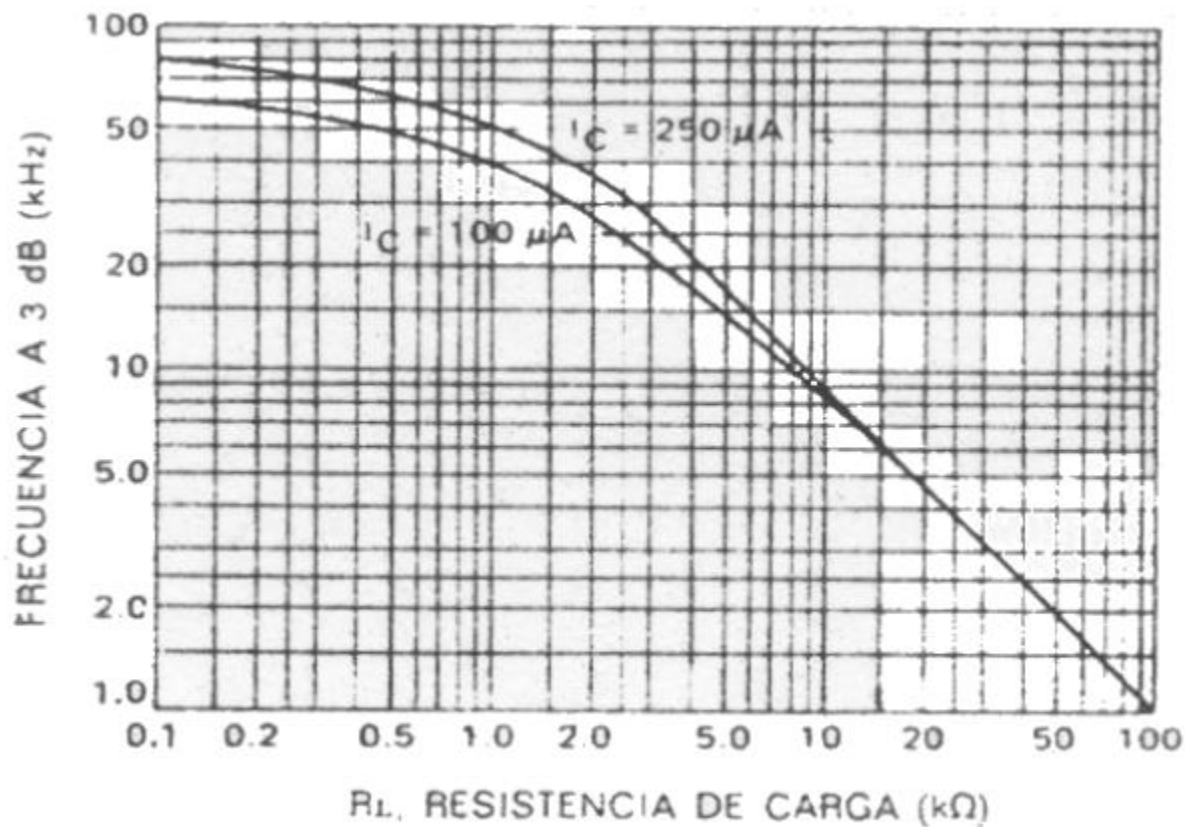


Figura 32. Respuesta a la frecuencia de un fototransistor en función de resistencia de carga.

## 1.3.2 Fototransistores: Aplicaciones



A la vista de las desventajas mencionadas del fototransistor, se utiliza generalmente a **aplicaciones ON-OFF**, en que su ganancia propia puede eliminar la necesidad de amplificación posterior

Se han utilizado en lectores de cinta y tarjetas perforadas, lápices ópticos, etc.

Para comunicaciones con fibra óptica se prefiere usar detectores con fotodiodos p-i-n.

Se pueden utilizar en la detección de objetos cercanos cuando forman parte de un sensor de proximidad.

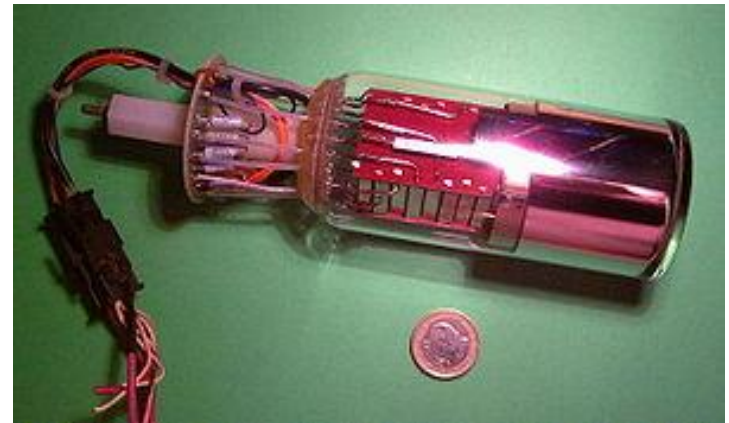
Se utilizan ampliamente encapsulados conjuntamente con un LED, formando interruptores ópticos (*opto-switch*), que detectan la interrupción del haz de luz por un objeto. Existen en dos versiones: de transmisión y de reflexión.

## 1.4 Sensores fotoemisores

1. Fototubos (fotodiodos en tubos de vacío o de gas inerte)
2. Tubos fotomultiplicadores



Fototubo de vacío de Hamamatsu Biplanar



Fotomultiplicador de persiana veneciana (RCA)

## 1.4.1 Fototubos de vacío

Los **fototubos** transforman la energía lumínica en corriente eléctrica. Es un tubo al vacío o relleno con algún gas inerte.

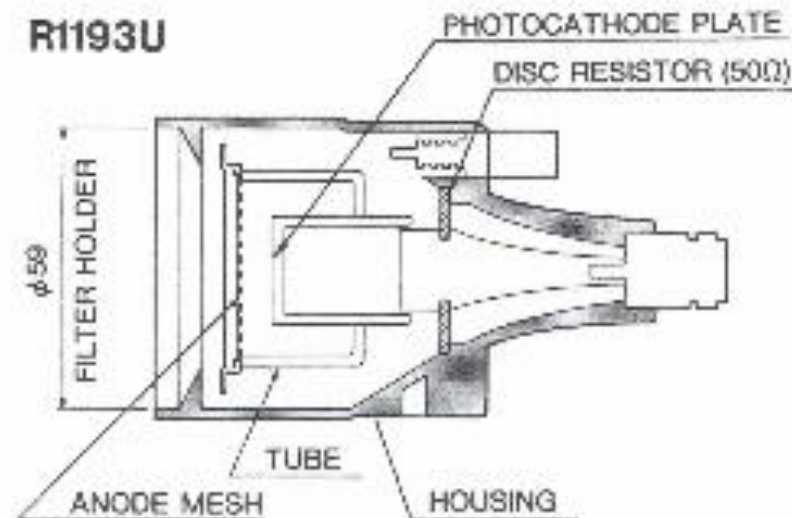
Este dispositivo funciona según el efecto fotoeléctrico: los fotones inciden sobre un cátodo, generando electrones que son atraídos por el ánodo. La corriente que se genere en el tubo depende de la frecuencia (o longitud de onda) y de la intensidad de la luz incidente.

El espectro de radiación al que responde el cátodo viene determinado por el material de éste.

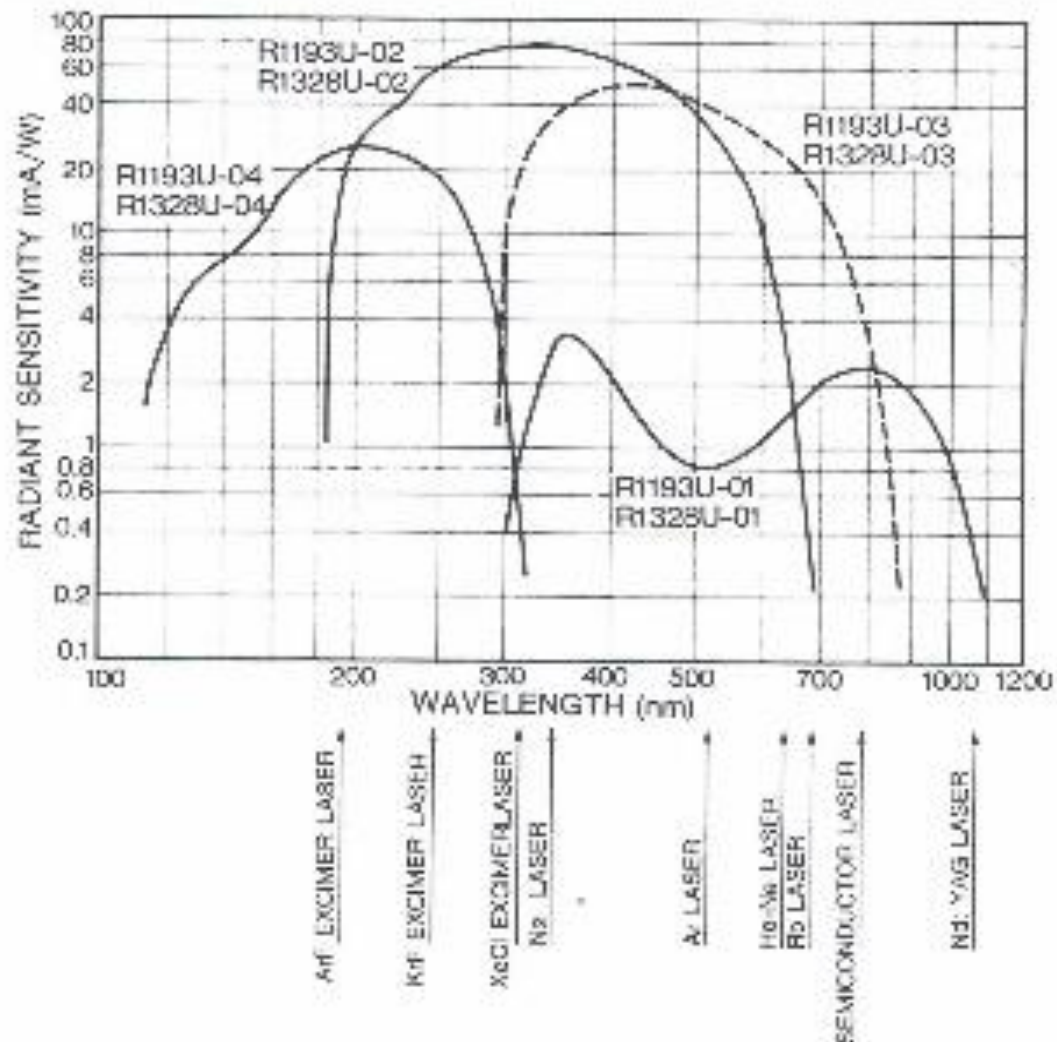
Al contrario que en los tubos fotomultiplicadores, no se produce amplificación, con lo que la corriente es del orden de microamperios.

## 1.4.1 Fototubos de vacío : Construcción

*Actualmente han sido sustituidos en gran medida por los fotorresistores y los fotodiodos.*



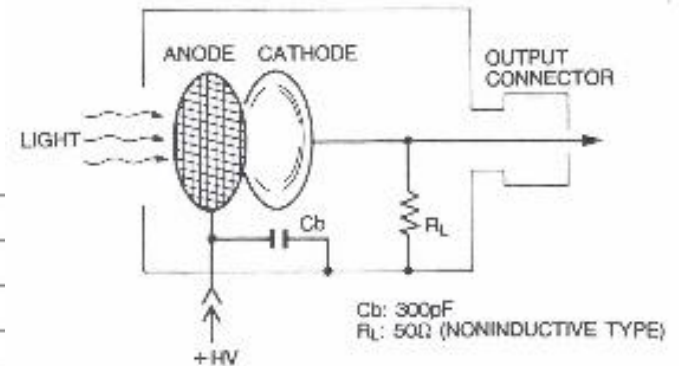
## 1.4.1 Fototubos de vacío : Curvas características de materiales de cátodo



## 1.4.1 Fototubos de vacío : Ejemplo de especificaciones

### Specifications

|                                                         |                     |
|---------------------------------------------------------|---------------------|
| Typical Rise Time                                       | 270 picoseconds     |
| Spectral Response Range                                 | 185 to 650 nm       |
| Photocathode Diameter                                   | 20 mm               |
| Typical Fall Time                                       | 100 picoseconds     |
| Photocathode Area                                       | 314 mm <sup>2</sup> |
| Peak Wavelength                                         | 340 nm              |
| Photocathode Material                                   | Sb-Cs               |
| Anode Form                                              | Mesh                |
| Maximum Anode Supply Voltage                            | 2.5 kV              |
| Peak Cathode Current                                    | 1 A                 |
| Maximum Input Light Energy Density [W/mm <sup>2</sup> ] | 0.125               |
| Maximum Average Cathode Current                         | 50 $\mu$ A          |
| Maximum Operating Temperature                           | 75 °C               |
| Measuring Voltage                                       | 2.5 kV              |
| Typical Luminous Sensitivity [ $\mu$ A/lm]              | 50                  |
| Maximum Dark Current                                    | 50 nA               |
| Retail Price                                            | \$3,516.00          |





## 1.4.1 Fototubos de vacío : Aplicaciones

### **Detección de energía radiada**

Los fototubos de vacío se utilizan para la detección de energía con longitudes de onda entre 200 y 1100 nm. Se usan en radiómetros, fotómetros y colorímetros.

Para medir intensidad de pulsos cortos generados por el láser o por la radiación nuclear visible.

### **Lectura de bandas sonoras**

Una aplicación de los fototubos era la lectura de las bandas sonoras de las películas de cine. Para leer dicha banda, se iluminaba por una cara y en la otra se colocaba el fototubo, que leía la señal sonora. La respuesta de los fototubos en este caso está limitada a 15 kHz

*Actualmente han sido sustituidos en gran medida por los fotorresistores y los fotodiodos.*



## 1.4.2 Tubos fotomultiplicadores

**Fotomultiplicador:** detector óptico de vacío que aprovecha el efecto de emisión secundaria de electrones para responder a niveles muy bajos de iluminación, con un nivel de ruido aceptable.

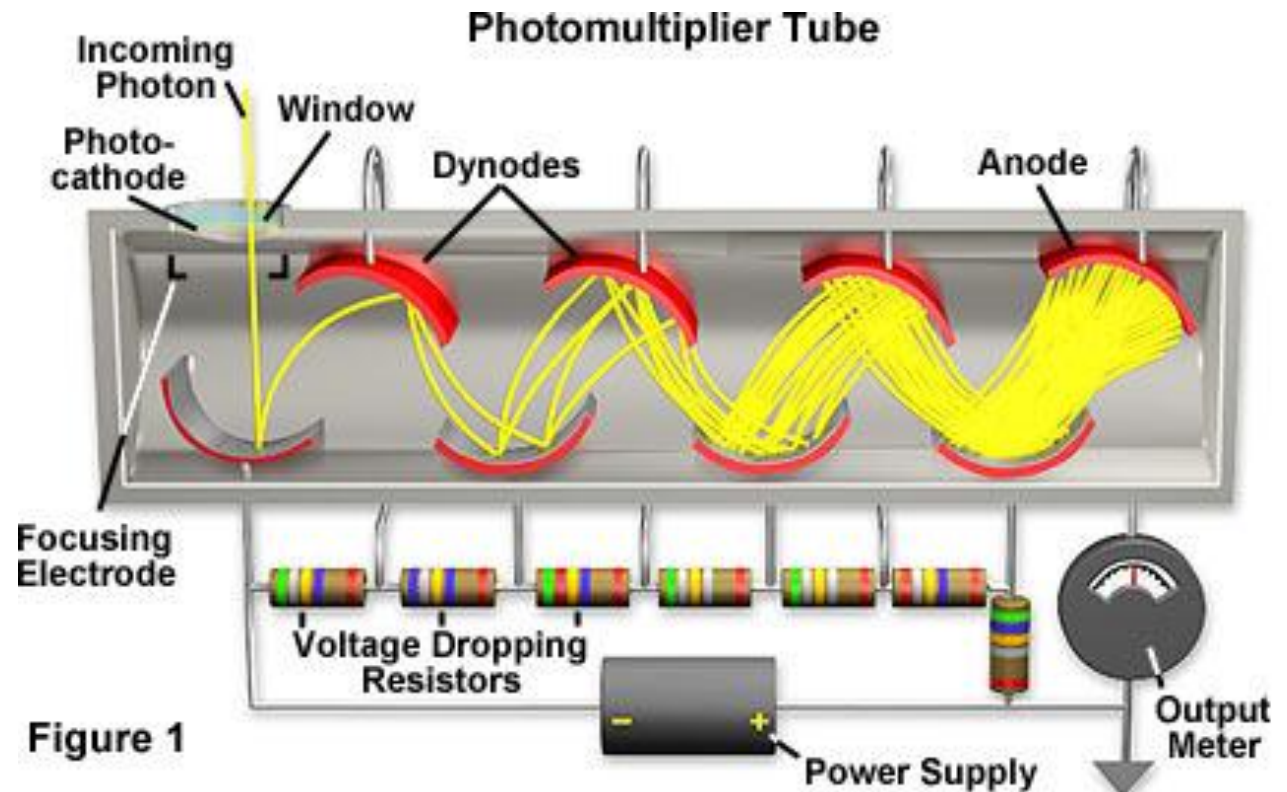


Figure 1

## 1.4.2 Tubos fotomultiplicadores : Modo de funcionamiento

Consiste de un cátodo fotoemisivo (fotocátodo) seguido de electrodos enfocadores, un multiplicador de electrones (dínodos) y un colector de electrones (ánodo) en un tubo al vacío.

Cuando la luz entra al fotocátodo, este la convierte en fotoelectrones, los cuales son enfocados hacia los dínodos, donde son multiplicados en un proceso de emisión secundaria. La señal de salida se obtiene en el ánodo.

dinodos



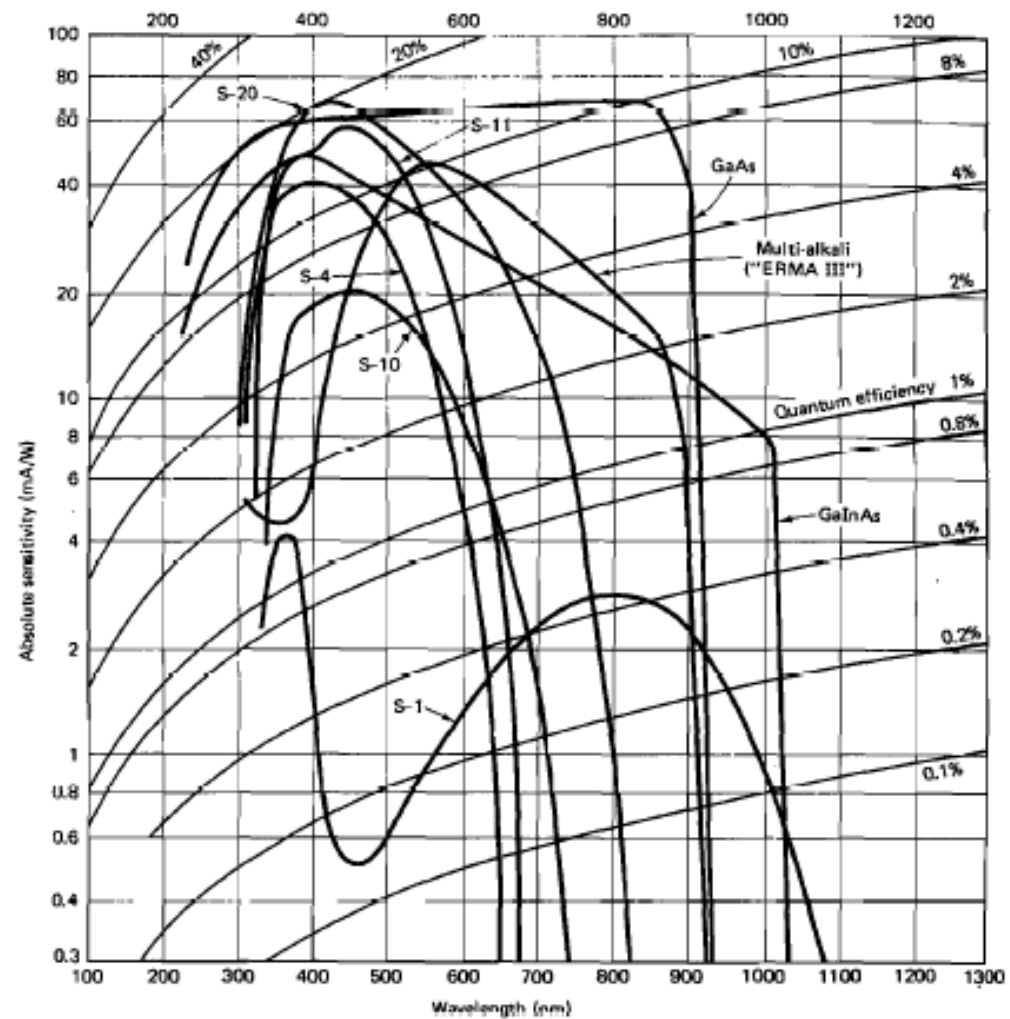


## 1.4.2 Tubos fotomultiplicadores : Tipos de fotocátodos

- 1) **Ag-O-Cs**: Se usa en modo transmisión, tiene respuesta espectral amplia, de 300 a 1000 nm. Tiene respuesta termoiónica relativamente más alta. Se usa refrigerado.
- 2) **GaAs**: Cubre un amplio rango espectral desde ~ 200 a 930 nm. Mejor respuesta termoiónica que Ag-O-Cs.
- 3) **InGaAs**: Extiende la respuesta espectral de GaAs hacia el infrarrojo. Buena razón señal-ruido.
- 4) **Sb-Cs**. Alta respuesta en el ultravioleta, baja en el visible. Se usa en fotomultiplicadores de reflexión.
- 5) **Bialcalinos** (Sb-Rb-Cs, Sb-K-Cs). Amplia respuesta espectral (similar a Sb-Cs) pero mejor respuesta termoiónica, y alta razón señal ruido. Se puede controlar la respuesta espectral.
- 6) **Cs-Tl, Cs-I**. Sensible al UV pero no al visible o infrarrojo. Se usan en detección "solar ciega".



## 1.4.2 Tubos fotomultiplicadores: Respuesta espectral de fotocátodos



**FIGURE 22-19.** Typical photocathode spectral-response characteristics. (Courtesy of Burle Industries, Inc.)



## 1.4.2 Tubos fotomultiplicadores : Desempeño

La eficiencia en la conversión o sensibilidad del cátodo, varia con la longitud de onda de la luz incidente.

Debido a la mencionada emisión secundaria de cada dínodo, el tubo fotomultiplicador tiene una alta sensibilidad y un bajo ruido.

Amplificaciones de  $10^7 - 10^{10}$  proporcionan una señal de salida adecuada

Tienen tiempos de respuesta muy cortos, en la mayoría aprox. 10ns.

Necesita de la una fuente muy estable de alto voltaje (600 a 1500V).



## 1.4.2 Tubos fotomultiplicadores : Características

### GENERAL

| Parameter                      |                     | Description/Value   | Unit    |
|--------------------------------|---------------------|---------------------|---------|
| Spectral Response              |                     | 300 to 650          | nm      |
| Wavelength of Maximum Response |                     | 420                 | nm      |
| Photocathode                   | Material            | Bialkali            | —       |
|                                | Minimum Useful Size | (8 × 18) × 2 (dual) | mm dia. |
| Window Material                |                     | Borosilicate glass  | —       |
| Dynode                         | Structure           | Linear focused      | —       |
|                                | Number of Stages    | 10 × 2 (dual)       | —       |
| Base                           |                     | 17-pin glass base   | —       |
| Suitable Socket                |                     | E678-17A (supplied) | —       |

### MAXIMUM RATINGS (Absolute Maximum Values)

| Parameter             |                               | Value      | Unit |
|-----------------------|-------------------------------|------------|------|
| Supply Voltage        | Between Anode and Cathode     | 1750       | Vdc  |
|                       | Between Anode and Last Dynode | 250        | Vdc  |
| Average Anode Current |                               | 0.1        | mA   |
| Ambient Temperature   |                               | -80 to +50 | °C   |

### CHARACTERISTICS (at 25°C)

| Parameter                                   |                                | Min. | Typ.              | Max. | Unit    |
|---------------------------------------------|--------------------------------|------|-------------------|------|---------|
| Cathode Sensitivity                         | Luminous (2856K)               | —    | 80                | —    | μA/lm   |
|                                             | Blue (with CS 5-58 filter)     | —    | 9.5               | —    | μA/lm-b |
|                                             | Quantum Efficiency at 480nm    | —    | 23                | —    | %       |
| Anode Sensitivity                           | Luminous (2856K)               | —    | 200               | —    | A/lm    |
|                                             | Blue (with CS No. 5-58 filter) | —    | 24                | —    | A/lm-b  |
| Gain                                        |                                | —    | $2.5 \times 10^8$ | —    | —       |
| Anode Dark Current                          |                                | —    | 20                | 250  | nA      |
| Time Response                               | Anode Pulse Rise Time          | —    | 1.8               | —    | ns      |
|                                             | Electron Transit Time          | —    | 20                | —    | ns      |
|                                             | Transit Time Spread            | —    | 1.0               | —    | ns      |
| Energy Resolution for 511keV γ-ray with BGO |                                | —    | 20                | —    | %       |
| BGO Time Resolution (BGO-Plastic)           | FWHM                           | —    | 2.4               | —    | ns      |
|                                             | FWTM                           | —    | 4.8               | —    | ns      |
| Gain Ratio (one segment to another)         |                                | 0.5  | 1                 | 2    | —       |



## 1.4.2 Tubos fotomultiplicadores

### Gráficos de un fotomultiplicador Hamamatsu R1548

Figure 1: Typical Spectral Response

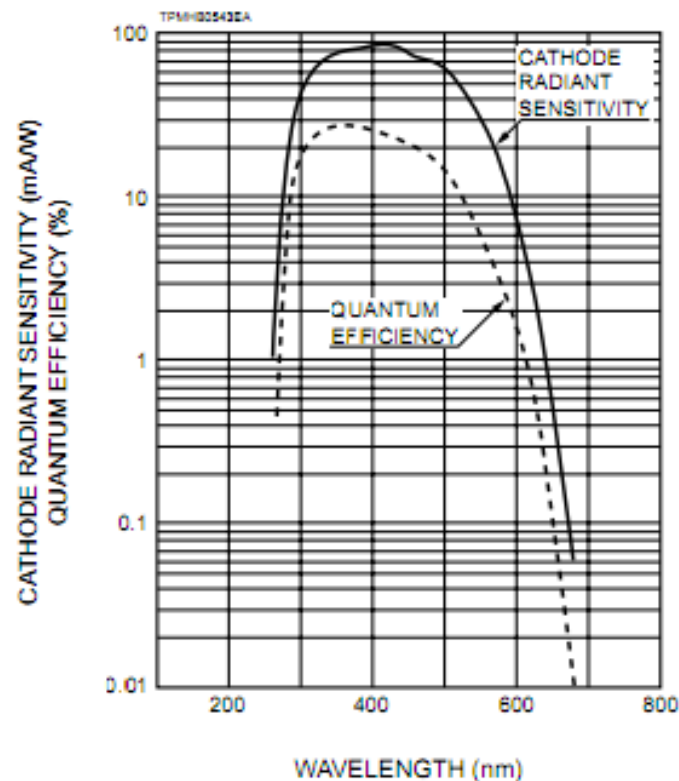
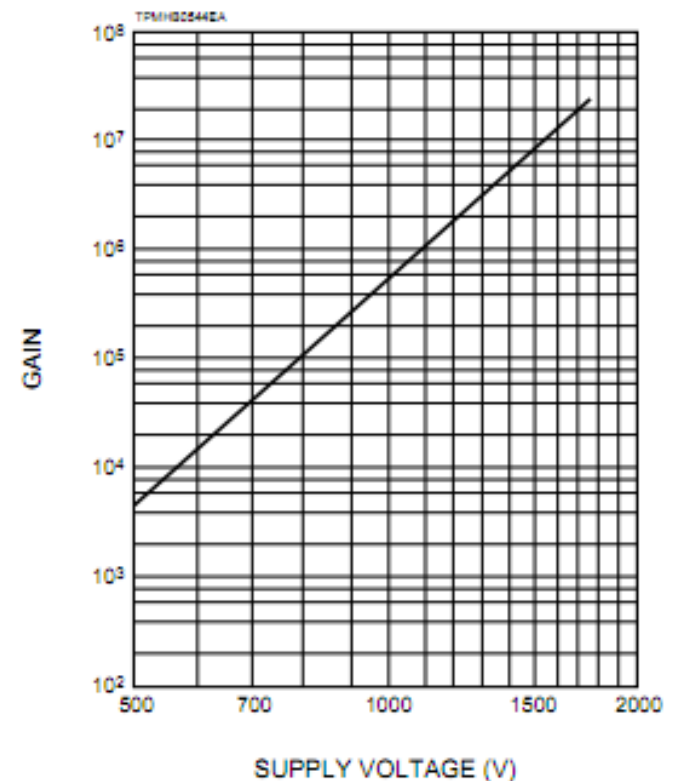


Figure 2: Typical Gain Characteristics





## 1.4.2 Tubos fotomultiplicadores : Aplicaciones

Unidos a un cristal o líquido apropiado como centellador, son ampliamente usados para detección de radiaciones de distinto tipo

Detectores de partículas, basados en la radiación de Cherenkov.  
Los dispositivos CCD, los sustituyeron en la mayoría de sus usos





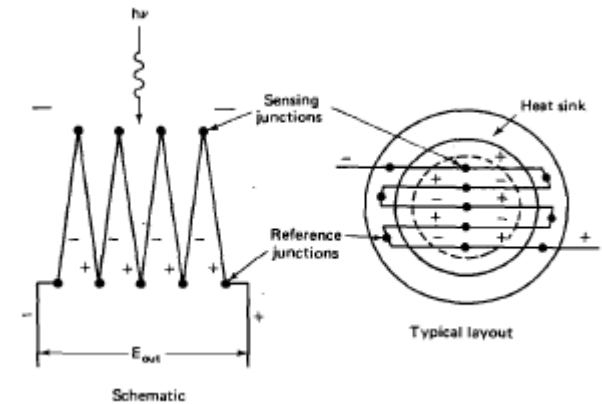
## 2. Detectores térmicos

1. Sensores termoeléctricos
2. Sensores bolométricos
3. Sensores piroeléctricos



## 2.1 Detectores termoelectricos

Se usan **termocuplas de multijuntura**



Las juntas de sensado que constituyen el área activa son oscurecidas para obtener una mejor respuesta frente al flujo de radiación incidente.

Las juntas de referencia mantienen su temperatura gracias a un disipador anular de calor, aunque se encuentran aisladas eléctricamente de este.

La carcasa del detector poseen una ventana para el paso de las radiaciones solo al área activa o sensible.

El material de la ventana funciona como selector para limitar ancho de banda de respuesta de la termocupla

## Termocuplas sin contacto o IR

Son sensores generadores (no necesitan fuente de alimentación externa) y rústicos, aptos para condiciones ambientales severas en control de procesos. Compatibles con instrumentación de  $T^{\circ}$  para termocuplas

A los problemas de linealidad de las termocuplas se suman los de la radiación IR por lo que se especifican en cada modelo un rango limitado de  $T^{\circ}$  donde son suficientemente precisas y lineales





# Especificaciones

## Especificaciones típicas para una termocupla para medir en el rango infrarrojo:

**Range.** . . . . . -50 to 3000°F

**Ambient Range.** . . . . . 0 to 160°F ABS, 212°F SS, 750°F

**Air cooled Minimum Spot Size.** . . . . . 0.11" 2.9mm

**Field of view.** . . . . . Varies with each model

**Thermocouple types.** . . . . . J, K, T, E, R, S

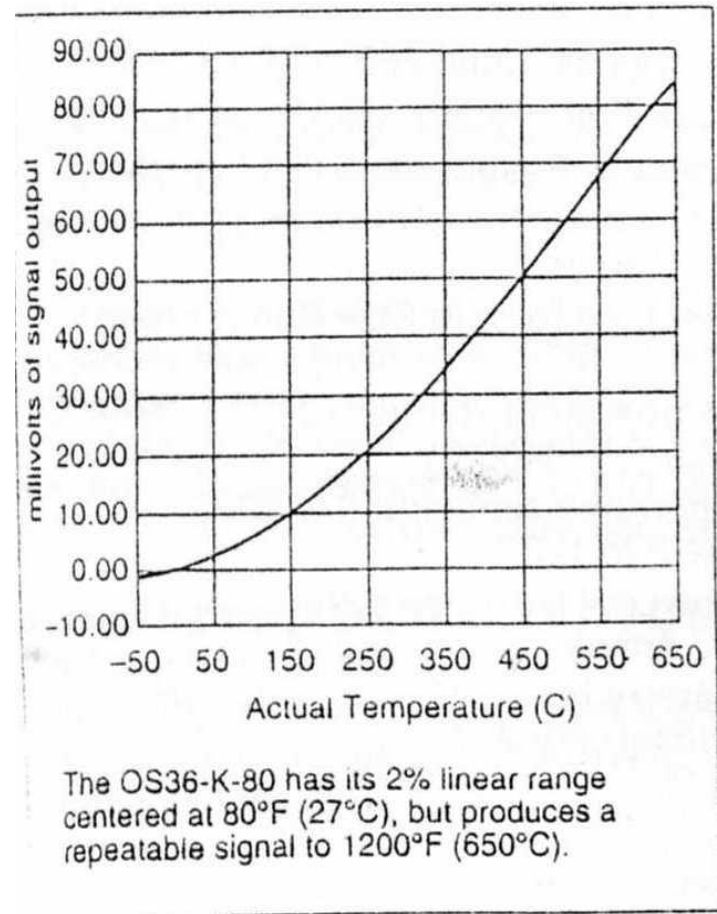
**Options.** . . . . . Cooling Tubes, In line Transmitters,  
Hand Held, Mounting Brackets

**Accuracy.** . . . . . .01°C to 5°C Non Programmable Interface  
.01°C to 2°C Programmable Interface

**Repeatability Error.** . . . . . <0.01°C

**Interchange ability Error.** . . +/- 1 % or 0.5°C

**Speed of response.** . . . . . .80 milli seconds





## Características especiales

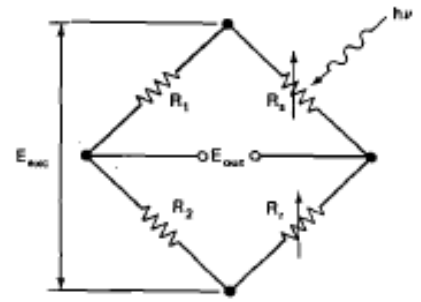
Con las técnicas de película delgada, se logro incrementar el numero de junturas y reducir el material de la termocupla empleado, pero esto incrementó la resistencia general del detector.

Algunos detectores son sellados y rellenos con gas inerte, lo cual extiende sustancialmente la vida útil (por que preserva el área activa) pero disminuye la sensibilidad.



Su uso es para fluctuaciones lentas en la radiación incidente con frecuencias de respuesta menores de los 10 Hz.

## 2.2 Sensores bolométricos



- Un bolómetro consiste en un par de termistores (u otro sensor de  $T^\circ$ ) apareados que forman parte de un puente.
- Uno ( $R_s$ ) es cubierto de material negro mate y montado de modo que reciba el flujo radiante. El otro ( $R_r$ ) es aislado térmicamente y en contacto con el disipador a  $T^\circ$  ambiente.
- Al incidir la radiación, la diferencia entre  $R_s$  y  $R_r$  se traduce en una tensión de salida proporcional al flujo radiante.
- La respuesta es independiente de la frecuencia y la forma de onda, lo que permite usarlos desde RF hasta el IR.
- Son poco sensibles, usados para potencias importantes.



## 2.3 Sensores piroeléctricos

El efecto piroeléctrico se basa en la aparición de **cargas superficiales** en una dirección determinada cuando el material experimenta un cambio de temperatura **por** medio de **radiación infrarroja**.



## 2.3 Sensores piroeléctricos

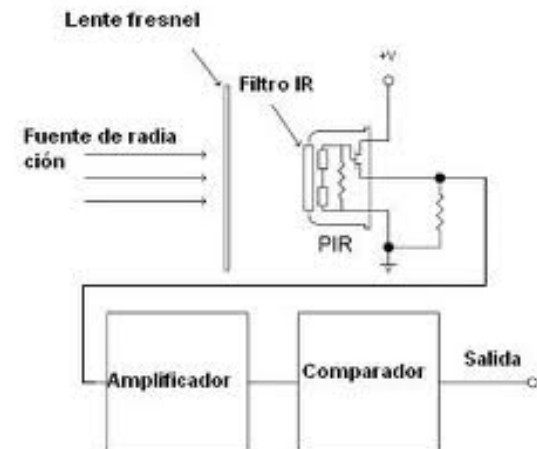
Si el área donde incide la radiación es  $A$  y el grosor del detector,  $b$ , es suficientemente pequeño para poder suponer que los gradientes de  $T^\circ$  en él sean despreciables, la carga inducida será

$$\Delta Q = A \cdot \Delta P = p \cdot A \cdot \Delta T$$

donde  $\Delta T$  es el incremento de  $T^\circ$  experimentado por el detector y  $p$  la polarización instantánea. El voltaje en las placas del detector será:

$$V_0 = \frac{\Delta Q}{C} = \Delta Q \frac{b}{\epsilon A} = \frac{pb}{\epsilon} \Delta T$$

con  $C$  capacidad del condensador



# ■ Materiales piroeléctricos

Hay dos grupos: los lineales y los ferroeléctricos.

En **los lineales**, la polarización no se puede cambiar a base de invertir el sentido del campo eléctrico. Están en este grupo la turmalina, el sulfato de litio, y los sulfuros de cadmio y selenio.

En **los ferroeléctricos** están el tantalato de litio, el niobato de estroncio y bario, el titanato-circonato de plomo y el sulfato de triglicina (TGS). Aparte están los polímeros como el polivinilideno (PVF<sub>2</sub> o PVDF).

Las propiedades piroeléctricas desaparecen también cuando se alcanza la temperatura de Curie



## Construcción

El sensor piroeléctrico esta hecho de un **material cristalino** que genera una carga eléctrica cuando es expuesto a radiación infrarroja.

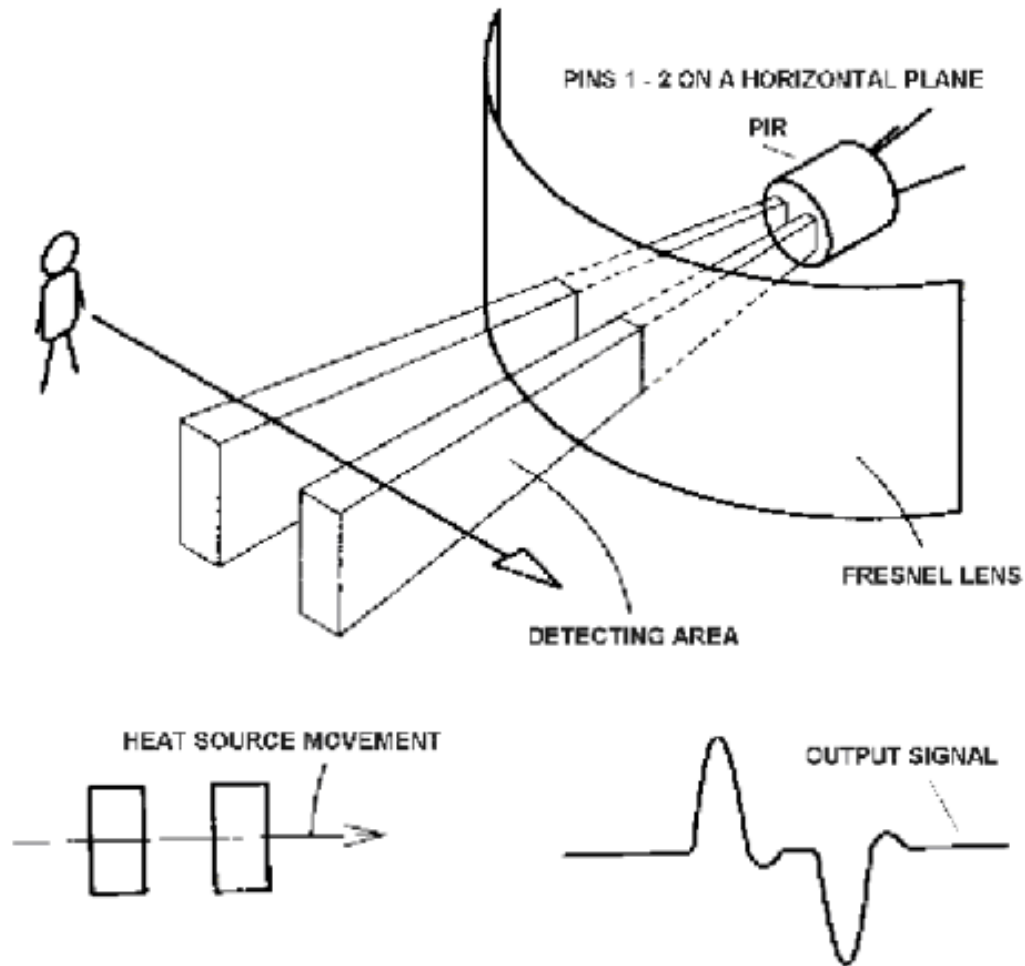
Esta carga puede ser medida con un sensible **dispositivo FET** construido dentro del sensor.

Mediante **un filtro** se limita la radiación de llegada a un rango de 8 a 14 micras (radiación del cuerpo humano) o a cualquier otro rango de longitud de onda, q sea de interés.





# Construcción



# Especificaciones Murata Pyroelectric Infrared Sensor IRA-E900 [5]

## ■ Features

1. High sensitivity and excellent S/N ratio
2. High stability to temperature changes
3. Slight movement can be detectable.
4. Non directional sensing with wide F.O.V.
5. High immunity to external noise (Vibration, RFI etc.)
6. Custom design is available.
7. Higher in cost-performance

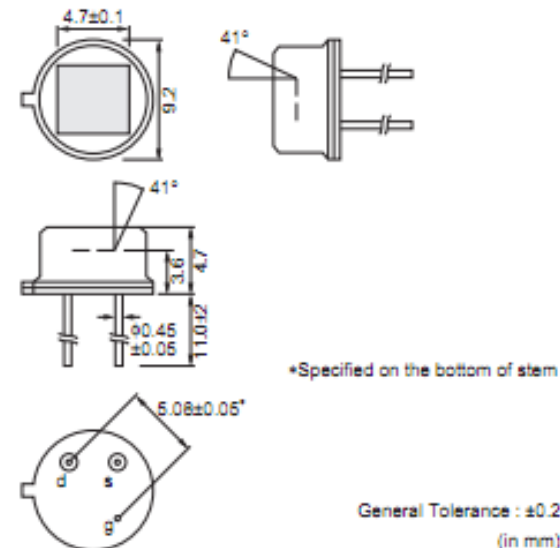
## ■ Applications

1. Security
2. Lighting appliances
3. Household or other appliances

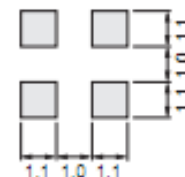
## ■ Rating (25°C)

| Part Number                   | IRA-E900ST1                      | IRA-E910ST1 |
|-------------------------------|----------------------------------|-------------|
| Responsivity (500K, 1Hz, 1Hz) | 3.3mV <sub>p-p</sub> (Typ.)      |             |
| Field of View                 | $\theta_1 = \theta_2 = 41^\circ$ |             |
| Optical Filter                | 5μm long-pass                    |             |
| Electrode                     | (1.1×1.1mm)×4                    |             |
| Supply Voltage                | 3 to 15V                         |             |
| Operating Temperature         | -25 to 55°C                      |             |
| Storage Temperature           | -40 to 85°C                      |             |

## ■ Dimensions & Circuit Diagrams



Pyroelectric element



(in mm)

## ■ Aplicaciones

- Detección de radiación térmica a  $T^{\circ}$  ambiente
- Pirómetros (medida de  $T^{\circ}$  a distancia en hornos, vidrio o metal fundido, o simplemente para determinar las pérdidas de calor en edificios),
- Radiómetros (medida de la potencia generada por una fuente de radiación),
- **Analizadores de IR,**
- **Detectores de CO<sub>2</sub> y otros gases que absorben radiación IR,**
- **Detección de la radiación IR emitida por el cuerpo humano** (para detección de intrusos y de presencia en sistemas de encendido automático de la iluminación o calefacción en viviendas, apertura de puertas, reclamos publicitarios)



Para continuar profundizando sobre este tipo de sensores se recomienda:

<https://www.infratec.eu/sensor-division/service-support/faq/>





## Parte 2: Infrarrojo





## Espectro infrarrojo

La [Comisión Internacional de Iluminación o CIE](#) ha establecido tres bandas en el IR:

IRA: 780-1,400nm

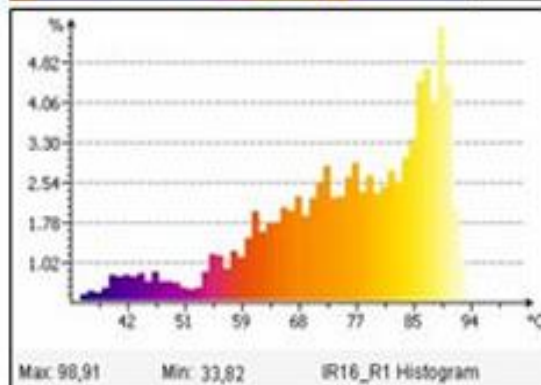
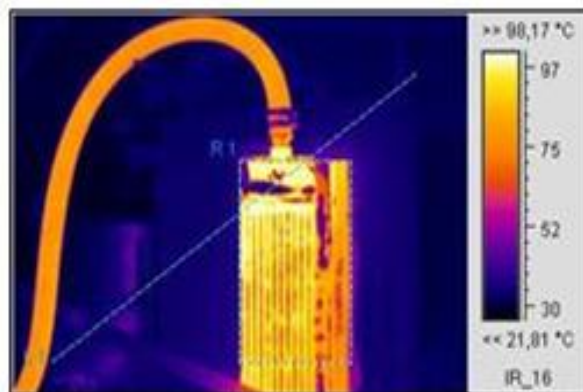
IRB: 1.400-3.000 nm

IRC: 3.000-10.000 n

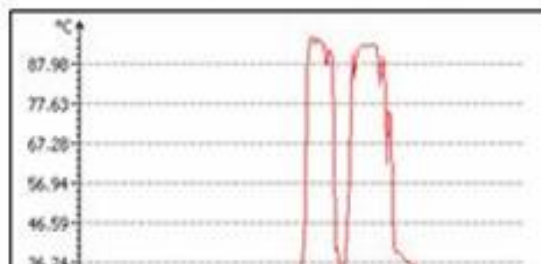


Es habitual en estos espectros que la ordenada corresponda a una escala lineal de transmitancia y la abscisa mide linealmente los números de onda en  $\text{cm}^{-1}$ .

# Espectro infrarrojo



| Image Info                  | Value    |
|-----------------------------|----------|
| Coordinate X of Max Temp    | 171      |
| Coordinate Y of Max Temp    | 121      |
| Max Temp                    | 90,91    |
| Chart                       | Value    |
| L1 Coordinate X of Max Temp | 162      |
| L1 Coordinate Y of Max Temp | 122      |
| L1 Max Temp                 | 97,9 °C  |
| R1 Coordinate X of Max Temp | 171      |
| R1 Coordinate Y of Max Temp | 121      |
| R1 Max Temp                 | 90,91 °C |



# ■ Leyes de las radiaciones

Todo cuerpo a temperatura distinta de 0 K radia energía electromagnética en cantidad dependiente de su temperatura y de sus propiedades físicas.

Debajo de los 500°C predominan las radiaciones infrarrojas.

De la energía radiante que recibe un cuerpo, parte se refleja, parte se difunde en todas direcciones, parte se absorbe y parte se transmite (atraviesa el cuerpo).


$$E_r = r + d + t + a$$



## Leyes de radiaciones

Se denomina **cuerpo negro** a un ente teórico que **absorbe toda la energía** incidente (elevándose, en consecuencia, su temperatura).

A cualquier temperatura, todo cuerpo emite radiación y absorbe la procedente de los cuerpos que le rodean.

Cuando se alcanza el equilibrio, todos los cuerpos emiten tanta radiación como absorben.



## Ley de Plank

La relación entre **la energía que emite** un cuerpo **por unidad de superficie y de tiempo**, y la que emitiría un cuerpo negro en las mismas condiciones, se denomina **emisividad**,  $\epsilon$ . Para el cuerpo negro,  $\epsilon = 1$ .

La **energía  $W_\lambda$  emitida** por el cuerpo negro por unidad de tiempo, por unidad de superficie y por unidad de longitud de onda, a una longitud de onda  $\lambda$  y una temperatura  $T$  determinadas, **viene dada por la ley de Planck**:

$$W_\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5 [\exp(c_2 / \lambda T) - 1]} \text{ W / cm}^2 \mu\text{m}$$

donde:

$$c_1 = 2\pi c^2 h = 3,74 \times 10^4 \text{ W}\mu\text{m}^4 / \text{cm}^2$$

$$c_2 = hc / k = 1,44 \text{ cmK}$$

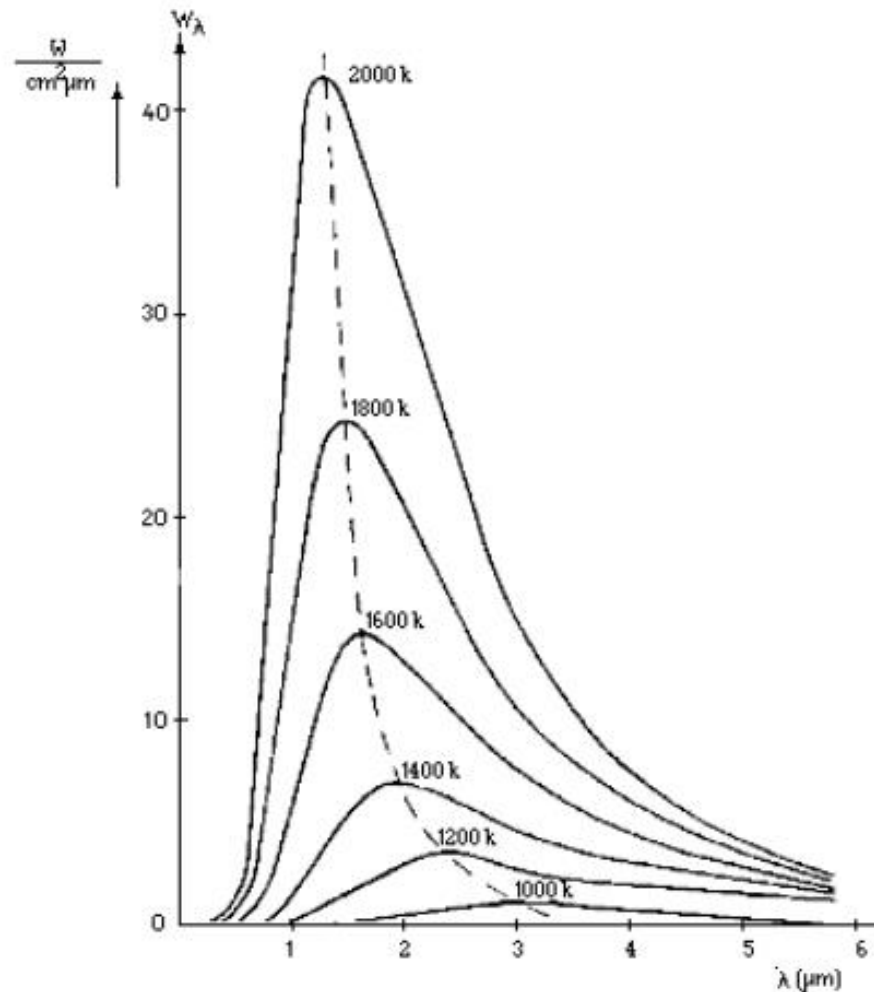
$$h = 0,655 \times 10^{-33} \text{ W s}^2, \text{ es la constante de Planck}$$

$$k = 1,372 \times 10^{-22} \text{ W s / K}, \text{ es la constante de Boltzmann}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m / s}, \text{ es la velocidad de la luz}$$



# Gráfico de la energía emitida para distintas $T^\circ$



Para un cuerpo real, donde la emisividad depende de la longitud de onda, se tendrá, en general:

$$W_{\lambda r} = \epsilon_{\lambda, T} W_\lambda$$

Flujo de energía por unidad de área emitido por el cuerpo negro a distintas temperaturas y para distintas longitudes de onda (ley de Planck). La línea a trazos pasa a través de los máximos (ley de Wien).



## Leyes de Wien y Stefan-Boltzmann

El **máximo de emisión** para el cuerpo negro ocurre a (Ley de Wien):

$$\lambda_M = \frac{2895}{T} \mu\text{m}$$

El **flujo total de energía (potencia)** emitida por el cuerpo negro por unidad de superficie se obtiene la energía emitida de un cuerpo real  $W_{\lambda r}$  integrando para todas las longitudes de onda. En un semiplano (ángulo sólido  $2\pi$ ), el flujo total emitido es

$$W = \sigma T^4$$

Es proporcional, pues, a la cuarta potencia de la temperatura absoluta.  $\sigma$  es la **constante de Stefan-Boltzmann** y vale  $5,67 \times 10^{-12} \text{ W/cm}^2 \cdot \text{K}^4$ .





# Absorción de las radiaciones infrarrojas

La radiación infrarroja no es suficientemente energética como para producir las transiciones electrónicas que se dan cuando se trata de radiaciones ultravioleta y visible.

**La absorción** de radiación infrarroja se limita a especies moleculares donde existen pequeñas diferencias de energía entre los distintos estados **vibracionales y rotacionales**.

Para que esto ocurra tiene que suceder que las moléculas se exciten a un **nivel energético superior**, para lo que se debe dar dos casos:

1.- **La frecuencia** debe ser igual a la diferencia entre dos niveles cuánticos diferentes.

2.- Es necesario que exista un mecanismo físico adecuado que convierta la **energía electromagnética** en energía de rotación, la integración de la energía electromagnética y las cargas de los enlaces.





# Producción IR

## Producción

Generalmente se utilizan **lámparas de filamento de wolframio**, al que se le suministra una potencia eléctrica tal que permita alcanzar la temperatura conveniente, para que la radiación emitida tenga una longitud de onda de alrededor de los 12.000 Å. La temperatura es de aproximadamente 2.500° K, y la potencia que se consume de alrededor de los 350 vatios.

Cuando se precisan potencias superiores se utilizan los **emisores de cuarzo**, así llamados porque el filamento metálico va embutido en un tubo de cuarzo refractario. Algunas veces conviene no utilizar temperaturas tan elevadas, para lo que se recurre a refractarios que consiguen r. i. con temperaturas que no superan los 1.000° C.

Las lámparas de infrarrojo, convenientemente dispuestas, se utilizan en hornos encaminados a conseguir la **deshidratación de frutos y legumbres** que permite conservarlas durante mucho tiempo. En Química, el infrarrojo encuentra una buena aplicación en la **polimerización (v.) de resinas sintéticas** y otros productos.





# Filtros IR

El vidrio ordinario no se deja atravesar por rayos de longitud de onda superior a los 30.000 Å.

**Filtro infrarrojo** es un filtro para quitar la luz visible y dejar pasar solamente la luz infrarroja de diferentes longitudes de onda. Éstos se utilizan principalmente en fotografía infrarroja.





## Tipos de filtros



**Wratten 87, 87A, 87B, 87C** de Kodak Filtro barato gelatina .  
87A y 87B se producen no más. 87 que comienzan en 750nm, 87C en 800nm, 87B en 850nm, 87A en 950nm

**Hoya R72** Filtro de la alta calidad que comienza en 720nm, que incluye una cierta luz visible.

**Hoya RM90** Filtro de la alta calidad que comienza en 900nm

**Hoya RM100** Filtro de la alta calidad que comienza en 1000nm

**M&K 1000** Filtro de la alta calidad que comienza en 1000nm

**M&K 093 y 095** el comenzar en 830nm

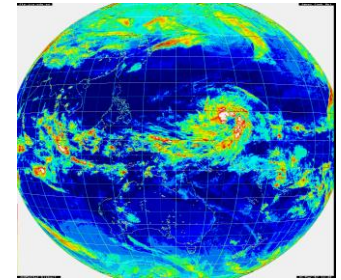
**filtro de Cokin 007:** color de color rojo oscuro, comenzando en 830nm

**Filtro casero** La película no expuesta y desarrollada de la diapositiva para las cámaras trabaja a menudo como filtro infrarrojo barato. El filtro hecho en casa comienza típicamente la transmisión aproximadamente 710-730nm. \*\*

"Congo Blue" los geles del teatro se diseñan para pasar la luz del IR para evitar daño de la calefacción. Cuando está combinada con los filtros rojos que bloquean su azul visible, la combinación se divulga para pasar las longitudes de onda más cortas del infrarrojo hasta alrededor de 720nm. \*\*  
Un pedazo de doble-lado pulió el silicio trabaja como filtro infrarrojo con un atajo relativamente agudo alrededor de 1050nm



# Aplicación del IR



La **espectroscopia IR** tiene gran aplicación en el análisis cualitativo y cuantitativo, principalmente para identificación de compuestos orgánicos, que por lo general presentan espectros complejos en el IR medio con numerosos máximos y mínimos que resultan útiles al efectuar comparaciones con espectros de referencia,

También se usa en **tratamientos terapéuticos** para diferentes afecciones.

La luz utilizada en las **fibras ópticas** es generalmente de infrarrojos

En **comandos a distancia** (telecomandos) como en la televisión.

La radiación infrarroja se puede utilizar como **fuentes de calor deliberada**.

La **transmisión de datos IR** también se emplea en la comunicación de corto alcance entre los periféricos de computadora y ayudantes digitales personales.

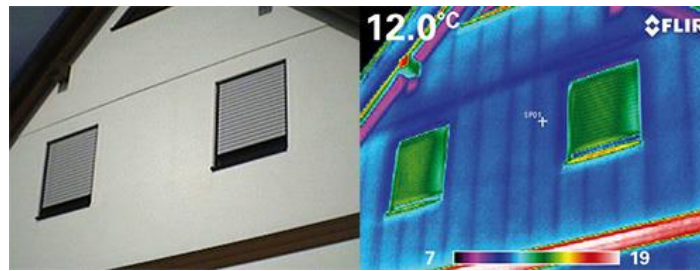
El **seguimiento IR**, también conocido como autoguiado hacia el blanco IR, se refiere a un sistema pasivo de dirección de un misil que usa la emisión de una radiación electromagnética al blanco en la parte infrarroja del espectro.

**Satélites equipados con radiómetros** de exploración; producen las imágenes térmicas o IR que permiten a un analista entrenado determinar alturas y tipos de nubes, calcular temperaturas de la tierra, etc.





# Cámaras IR



La **termografía** es una técnica que permite medir temperaturas a distancia y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar. Mediante la captación de la radiación infrarroja del espectro electromagnético, utilizando cámaras termográficas o de termovisión, se puede convertir la energía radiada en información sobre temperatura.

Las imágenes visualizan en una pantalla, y tienden a ser monocromáticas, porque se utiliza un sólo tipo de sensor que percibe una particular longitud de onda infrarroja. Muestran las áreas más calientes de un cuerpo en blanco y las menos en negro, y con matices grises los grados de temperatura intermedios entre los límites térmicos.

Sin embargo, existen otras cámaras infrarrojas que se usan exclusivamente para **medir temperaturas** y procesan las **imágenes coloreadas**. Pero esos colores no corresponden a la radiación infrarroja, sino la cámara los asigna, de acuerdo al rango de intensidad de longitud de onda, por eso se llaman *falsos colores*.





## Tipos de cámaras

### **Cámaras infrarrojas con detectores criogenizados**

Los detectores están contenidos en un estuche sellado al vacío y enfriado muchos grados bajo cero Celsius por un equipo criogénico. Esto aumenta su sensibilidad con respecto a los *detectores al ambiente*, debido a su gran diferencia de temperatura con respecto al cuerpo emisor detectado.

Son lentas, costosas, y es difícil de sellar y encapsular el sensor, son voluminosas

### **Cámaras infrarrojas con detectores al ambiente**

Estos operan a la temperatura ambiental. Los más modernos usan sensores que funcionan cambiando las propiedades eléctricas del material del cuerpo emisor. Las ventajas de estos detectores son: Su menor costo con respecto a los criogenizados, menor tamaño. Pero tiene menos sensibilidad y resolución que los criogenizados.





## Tipos de cámaras

### **Cámaras infrarrojas activas**

Emiten radiación infrarroja con un reflector integrado a la cámara o ubicado en otro sitio. El haz infrarrojo alumbra el cuerpo detectado; y el alumbramiento es emitido por el cuerpo para ser percibido por la cámara e interpretado en una imagen monocromática.

El reflector tiene un filtro para prevenir que la cámara sea interferida por la observación de la luz visible.

### **Cámaras infrarrojas pasivas**

También se llaman *cámaras termográficas*. Carecen de reflectores, y perciben la radiación infrarroja tal cual emitida por un cuerpo. No miran cuerpos a la misma temperatura del detector, por eso se enfrían criogénicamente a temperaturas de  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Algunas de estas cámaras pueden tener sensibilidad a temperaturas de  $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ .





## Especificaciones Cámara de imagen térmica PCE-TC 6

<http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-temperatura/camara-termica-pce-tc6.htm>

### Especificaciones técnicas

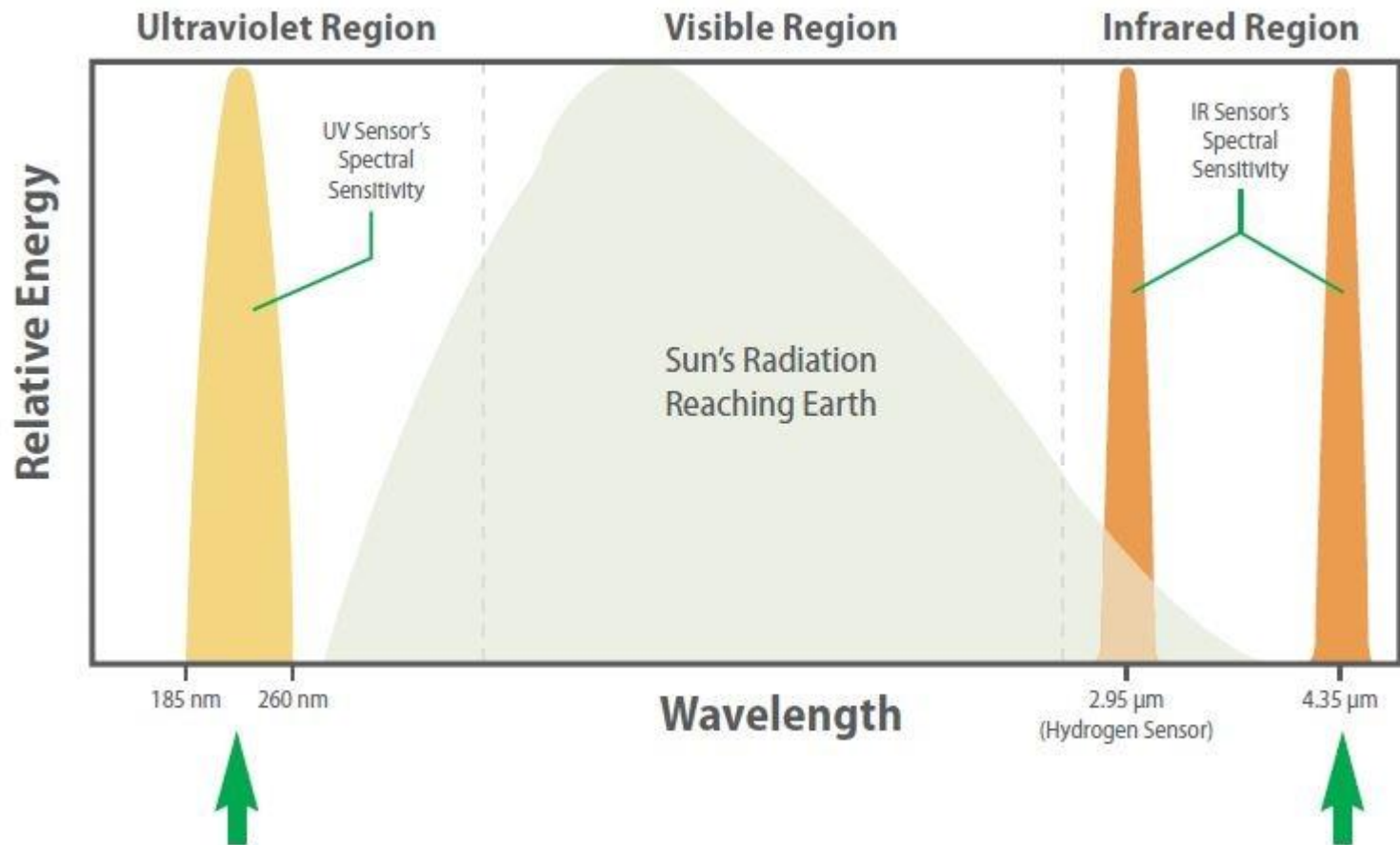
|                                       |                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rango de temperatura                  | -10 ... +250 °C                                                                                                                                         |
| Puntos de medición / resolución       | Sensor: microbolómetro no refrigerado<br>160 x 120 píxeles (19.200 puntos)                                                                              |
| Precisión                             | ±2 °C                                                                                                                                                   |
| Resolución de pantalla                | 192 x 192 píxeles                                                                                                                                       |
| Objetivo (FOV)                        | 9,1 ° x 6,8 °                                                                                                                                           |
| Foco                                  | manual                                                                                                                                                  |
| Distancia de medición                 | 50 cm hasta infinito                                                                                                                                    |
| Funciones de medición                 | dos puntos de medición desplazables, medición<br>diferencia                                                                                             |
| Resolución de temperatura             | 0,15 °C                                                                                                                                                 |
| Frecuencia de imagen                  | 7,5 Hz                                                                                                                                                  |
| Rango espectral                       | 8 ... 14 µm                                                                                                                                             |
| Grado de emisión                      | 0,2 ... 1,0 (regulable en pasos de 0,01)                                                                                                                |
| Memoria de imágenes                   | tarjeta MMC o SD                                                                                                                                        |
| Puerto                                | USB tipo B                                                                                                                                              |
| Pantalla                              | pantalla LCD de 3,5", con iluminación de fondo<br>cuatro escalas de colores regulables:<br>arco iris, arco de hierro, gran contraste y escala<br>grises |
| Indicador de temperatura              | °C, °F o K                                                                                                                                              |
| Puntero láser                         | clase II 1 mW / 635 nm                                                                                                                                  |
| Temperatura operativa                 | -15 ... +45 °C                                                                                                                                          |
| Temperatura de almacén                | -20 ... +70 °C                                                                                                                                          |
| Humedad del aire                      | 10 ... 90 % H.r. sin condensar                                                                                                                          |
| Alimentación por un componente de red | Adaptador AC                                                                                                                                            |
| Acumulador                            | acumulador de ion-litio                                                                                                                                 |
| Tiempo operativo                      | 4 a 6 horas                                                                                                                                             |
| Carcasa                               | plástico                                                                                                                                                |
| Rosca del trípode                     | 1/4 "                                                                                                                                                   |
| Peso                                  | 800 g                                                                                                                                                   |
| Dimensiones                           | 230 x 120 x 110 mm                                                                                                                                      |

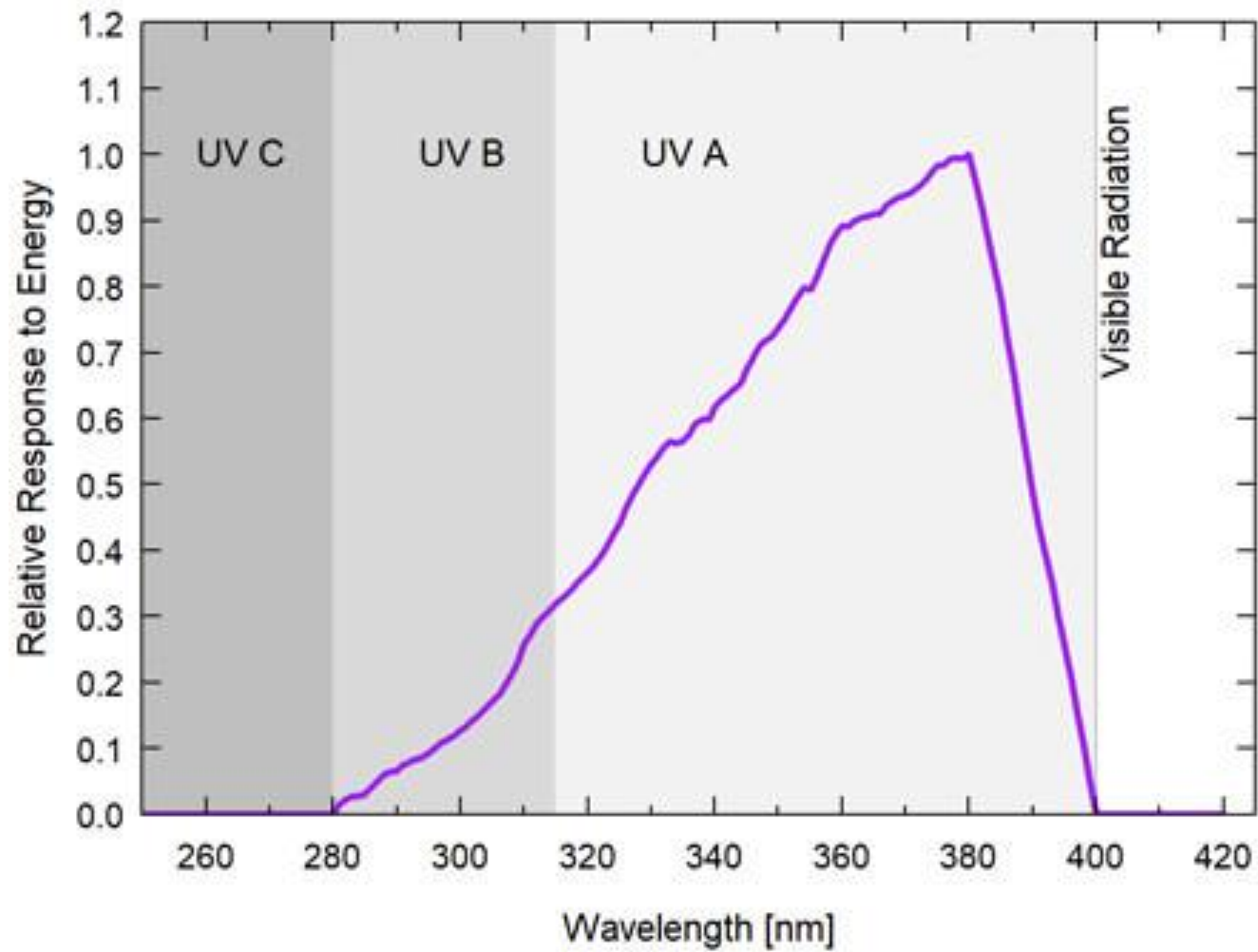




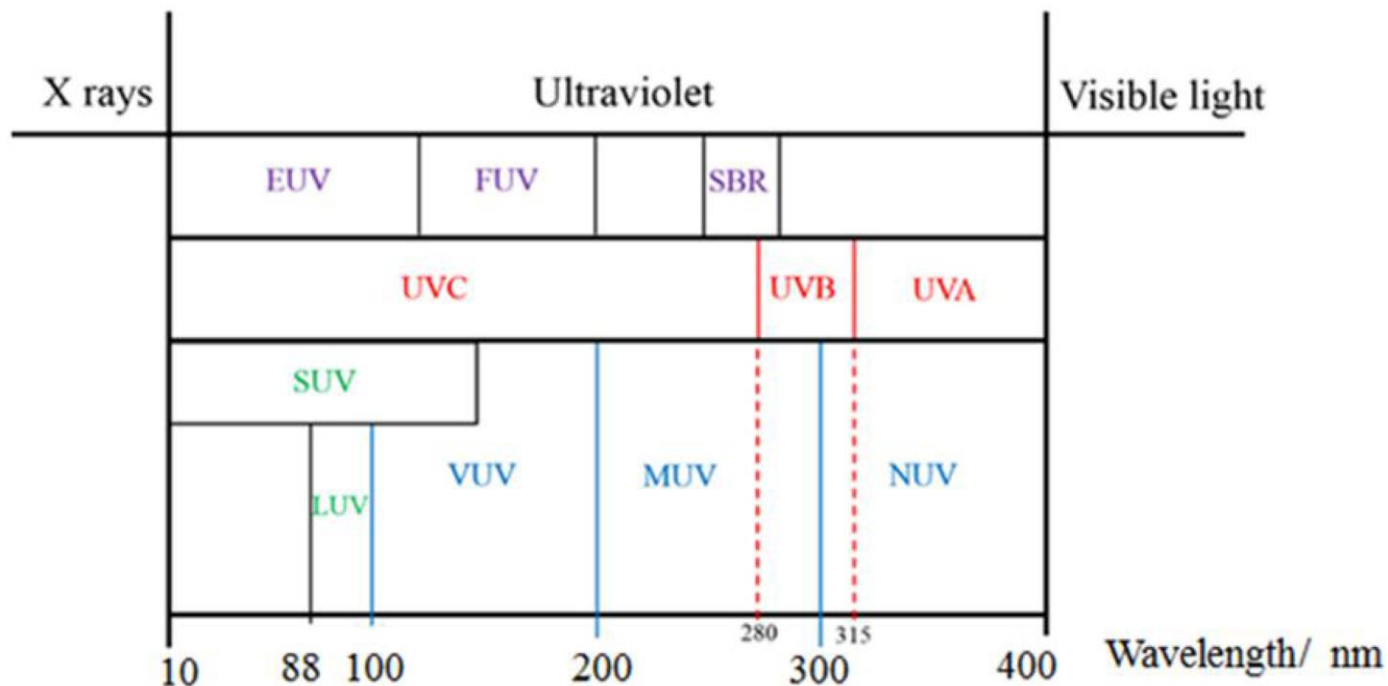
## Parte 3: Ultravioleta







# Zonas del espectro UV



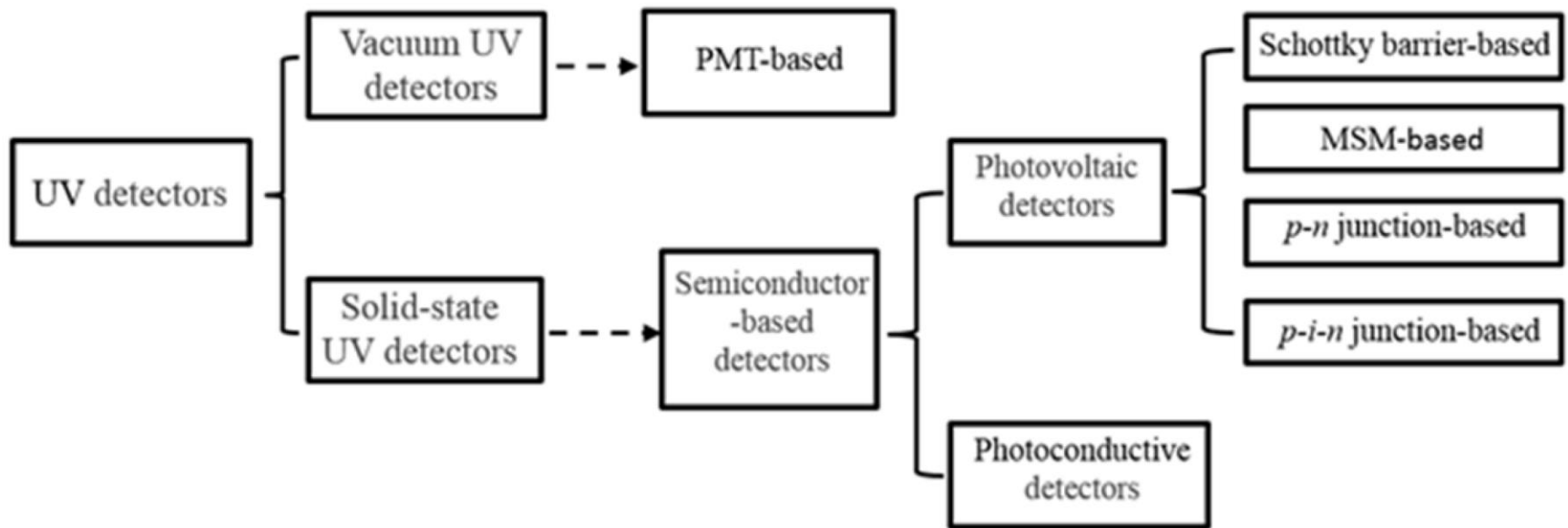
Near UV (NUV) 400–300 nm

Middle UV (MUV) 300–200 nm

Far UV (FUV) 200–100 nm

Extreme UV (EUV) 100–10 nm

# Tipos de detectores UV



Para una explicación detallada de cada tipo leer: “Ultraviolet Detectors Based on Wide Bandgap Semiconductor Nanowire: A Review.pdf”



# GUÍAS DE SELECCIÓN



<https://solarlight.com/product/analog-sensor-selection-guide/>

How to Select an Ambient Light Sensor for Your System.pdf (en aula virtual)

UV Guideline GeniUV.pdf (en aula virtual)





# APLICACIONES



# 1. Sensores de luz

## Función

- Detección de luz ambiental
- Detección de proximidad
- Detección de color RGB
- Reconocimiento de gestos
- Detección de infrarrojos



# 1. Sensores de luz

## Uso final

- Automotor
  - Electrónica de consumo
  - Industrial
  - Cuidado de la salud
  - Otros
- 



# 1. Sensores de luz

Los dispositivos de detección de luz están experimentando un aumento en la demanda de aplicaciones, como teléfonos inteligentes, televisores LCD / LED y computadoras portátiles. Los sensores realizan la función de regular automáticamente el brillo de la pantalla en respuesta a la cantidad de luz ambiental que reciben estos dispositivos, lo que permite ahorrar energía. Las plataformas de iluminación modernas de IoT también se están enfocando en controlar la iluminación con varios elementos de detección digital que involucran detectores de iluminancia.



# 1. Sensores de luz

El **sector de la salud** se está desarrollando rápidamente, a su vez, impulsando el uso de instrumentos avanzados equipados con sensores de luz. Los sensores de luz se utilizan ampliamente en el campo médico para detectar patógenos, monitorear los niveles de oxígeno en pacientes (oxímetros de pulso) y diagnósticos de sangre. Además, ha habido una demanda creciente de sensores optoelectrónicos integrados en la industria de equipos médicos.



# 1. Sensores de luz

Una tendencia clave en el mercado de sensores de luz es el creciente establecimiento de **ciudades inteligentes**. Las luces instaladas en tales ciudades tendrán que ser energéticamente eficientes, por lo que se integrarán con sensores, específicamente para la detección de luz ambiental. De esta forma, cuando oscurezca, las luces se encenderán o aumentarán de brillo. De manera similar, cuando se dispone de abundante luz natural, las luces artificiales disminuirán su brillo o se apagarán automáticamente, lo que ahorrará electricidad.



## 2. Sensores IR

El futuro del mercado de detectores de infrarrojos parece prometedor con oportunidades en los sectores de electrónica de consumo, hogares inteligentes, industrial, comercial y militar y de defensa. Los principales impulsores del crecimiento de este mercado son el aumento de la demanda de teléfonos inteligentes y tabletas, una creciente preocupación seguridad y protección, y el aumento de la automatización en el sector de la construcción y la industria.



Las tendencias emergentes, que tienen un impacto directo en la dinámica de la industria de los detectores infrarrojos, incluyen el uso creciente de detectores infrarrojos en hogares inteligentes y el uso creciente de detectores infrarrojos para visión nocturna y vigilancia.



## 2. Sensores IR

Mercado de detectores infrarrojos por industria:

- Detección de movimiento y personas
- Medición de temperatura
- Espectroscopía e imágenes biomédicas
- HVAC
- Hogar inteligente
- Otros



## 2. Sensores IR

### **Investigación de mercado y tendencias del mercado de sensores infrarrojos**

Los nuevos sensores infrarrojos están revolucionando las anteojos de realidad aumentada (AR), las cámaras de los teléfonos y los autos sin conductor (con estos sensores infrarrojos que permiten ver a través del humo o la niebla, haciendo que los vehículos autónomos sean más baratos).



## 2. Sensores IR

Si-ware Systems, un actor líder en la industria, ha desarrollado un sensor espectral de infrarrojo cercano que es de tamaño pequeño y se puede integrar en un teléfono inteligente. Este sensor tiene muchas aplicaciones industriales y de consumo. Además, se puede utilizar para evaluar la salud de los suelos, la seguridad y el análisis de los alimentos, la composición del petróleo y el gas, así como para determinar la pureza de los medicamentos farmacéuticos. Actualmente, se ha probado en las industrias de salud, agricultura y petroquímica.



## 2. Sensores IR

Los sensores infrarrojos digitales avanzados en las cámaras de alta velocidad se utilizan para escanear la vegetación desde el espacio para detectar cambios en las células de la piel humana y para ayudar a diagnosticar enfermedades de la piel. Además, se utiliza para mapear la cobertura terrestre y el crecimiento de la vegetación cada dos días.





## 2. Sensores IR

Las imágenes de **infrarrojo cercano (NIR)** tienen una creciente demanda en todo el mundo, generalmente como reemplazo de la visión térmica o de infrarrojo lejano (FIR) para la visión nocturna. Las cámaras que comprenden sensores NIR pueden detectar las longitudes de onda de la luz directamente adyacentes al espectro de luz visible. A diferencia de las cámaras térmicas, las cámaras NIR aún detectan fotones como cámaras en el espectro de luz visible, solo que en una longitud de onda diferente. Hay más fotones detectables en el espectro NIR durante la noche, lo que hace que las cámaras NIR sean tan valiosas para la visión nocturna.



## 2. Sensores IR

Otra aplicación del NIR sería su uso en sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS). Los EE. UU. y la UE han exigido que todos los vehículos tengan algún tipo de ADAS para 2020, por lo que esta tecnología proliferará rápidamente.

En 2020, la Unión Europea (UE) ha ordenado que el DMS y otros sistemas de seguridad deben integrarse en todos los vehículos nuevos para 2022, y también se espera que Estados Unidos lo cumpla con la iniciación de la ley "Stay Aware for Everyone" (SAFE). de 2020.

## 2. Sensores IR

El Programa Europeo de Evaluación de Automóviles Nuevos (Euro NCAP) ha anunciado que compensará a los fabricantes que ofrezcan Detección de presencia de niños como una característica estándar en los vehículos nuevos a partir de 2022 (por ejemplo, sistemas de detección para monitorear la seguridad de los niños que quedan desatendidos en los automóviles) . Los fabricantes de automóviles y los proveedores están bajo presión para implementar tecnologías de detección de manera rápida y eficaz, y el papel y el rendimiento de las fuentes de luz NIR adquieren un nuevo significado dentro del vehículo. Se prevé que esto impulsará la demanda de sensores NIR.



## 2. Sensores IR

En comparación con la visión térmica, la visión NIR ha ganado una gran demanda. La visión térmica solo detecta el calor. No es bueno para producir imágenes nítidas y claras que faciliten la autonomía total o parcial. Además, los sensores NIR han sido testigos de la adopción en ingeniería biomédica.



### 3. Sensores UV

- Los sensores UV se utilizan para detectar la **intensidad de la radiación ultravioleta** (UV) incidente y para medir el **índice UV**.
- Los sensores UV se utilizan comúnmente para determinar la exposición a la radiación ultravioleta en diversos entornos ambientales y laboratorios.
- Los fototubos UV son sensores sensibles a la radiación que se utilizan en tratamientos de agua, tratamientos de aire e irradiancia solar.
- Los sensores de luz se utilizan para medir la intensidad de la luz incidente.
- Los sensores de espectro UV se utilizan comúnmente en fotografía científica.



## 3. Sensores UV

- Continua la adopción de sensores UV en varias industrias sobre sus dos alternativas principales, sensores fotoeléctricos y sistemas de visión artificial debido a su alta precisión y confiabilidad.
- Existe una gran demanda de sensores UV, en particular de las empresas involucradas en el ensamblaje electrónico. Además, la expansión del sector del embalaje junto con la creciente preferencia por los sensores UV para detectar la presencia de etiquetas, píldoras y sellos de plástico a prueba de manipulaciones en botellas y otros materiales de embalaje aumenta la demanda de sensores UV a nivel mundial.



## 3. Sensores UV

La expansión de las aplicaciones de los sectores automotriz, de fabricación de muebles, farmacéutica y textil de sensores UV impulsa el crecimiento del mercado global de sensores UV.





# Ejemplos de aplicaciones biomédicas

<https://www.excelitas.com/application/medical>

<https://www.melexis.com/en/tech-talks/harnessing-life-saving-chemistry-with-infrared-temperature-sensors>



A vertical bar on the left side of the page, composed of several colored segments: a thin black line at the top, followed by a thin white line, a thin grey line, a thin olive green line, and a thick dark red line at the bottom.

**FABRICANTES**

# ■ Principales fabricantes:

- [AMS AG](#)
- [Analog Devices, Inc.](#)
- [Broadcom Inc.](#)
- [Everlight Electronics Co. Ltd.](#)
- [Maxim Integrated Products Inc.](#)
- [ROHM Co. Ltd.](#)
- [Sharp Corporation](#)
- [STMicroelectronics NV](#)
- [Vishay Intertechnology Inc.](#)
- [Texas Instruments](#)
- [Hamamatsu Photonics](#)
- [Skye Instruments](#)



# Fabricantes (sensores IR)

- [Excelitas Technologies Corporation](#)
  - [FLIR Systems Inc.](#)
  - [Murata Manufacturing Co. Ltd.](#)
  - [Nicera](#)
  - [Lynred](#)
  - [InfraTec](#)
- 



# Fabricantes (sensores UV)

- [Silicon Labs](#)
- [Solar light](#)
- [Davis Instruments](#)
- [GeniUV](#)
- [Opsytec](#)





# BIBLIOGRAFÍA



# || Bibliografía

Cap 22 – Handbook of transducers, Norton

Light sensors – Electronic tutorial.pdf

Technical reference Temperature – Omega

Platt - Encyclopedia of Electronic Components Volume 3.pdf

[Photonics.com](http://Photonics.com)