

Tema 4
SENSORES GENERADORES
PARTE 2

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Introducción

¿Qué sensores vamos a ver?

Todos ellos son dispositivos que generan tensión, corriente o carga cuyo valor depende de la magnitud.

Algunos ejemplos son:

- **Tensión**
Bandgap (T), termopares (T), ...
- **Corriente**
Bandgap (T), fotodiodos, fototransistores (Luminosidad, presencia, color, etc.), fotomultiplicadores (fotón aislado, radiactividad), ...
- **Carga**
Piezoeléctricos (Sonido, vibraciones, ...) y piroeléctricos (T), ...

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Sensores Band-gap

Fundamento

Ya se vio en temas anteriores que, en las referencias tipo *bandgap*, había una tensión interna proporcional a la temperatura, que puede usarse como sensor de temperatura.

Ejemplos

En referencias discretas, se puede utilizar directamente esta tensión para estimar la temperatura:

$$\text{REF02: } (630 + 2,1 \cdot (T-25)) \text{ mV}$$

$$\text{AD780: } (560 + 1,9 \cdot (T-25)) \text{ mV}$$

O se preparan celdas Brokaw para dar directamente corriente:

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Termopares

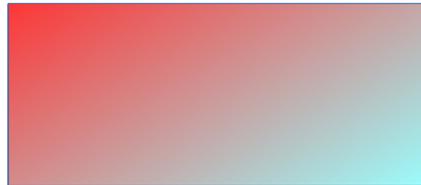
Fundamento

Miden temperatura usando uniones de metales distintos

Efecto termoeléctrico

Cuando se habla de la ley de Ohm, se supone que la temperatura de la resistencia es constante. Si variara, los puntos con mayor temperatura los portadores tendrían distinta movilidad y, al igual que los gases, fluirían de zonas más cálidas a zonas más frías.

Ley de Ohm clásica $\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E} = -\sigma \cdot \nabla V$



Efecto Termoeléctrico

$$\vec{J} = -\sigma \nabla V + S \nabla T$$

Cartagena99

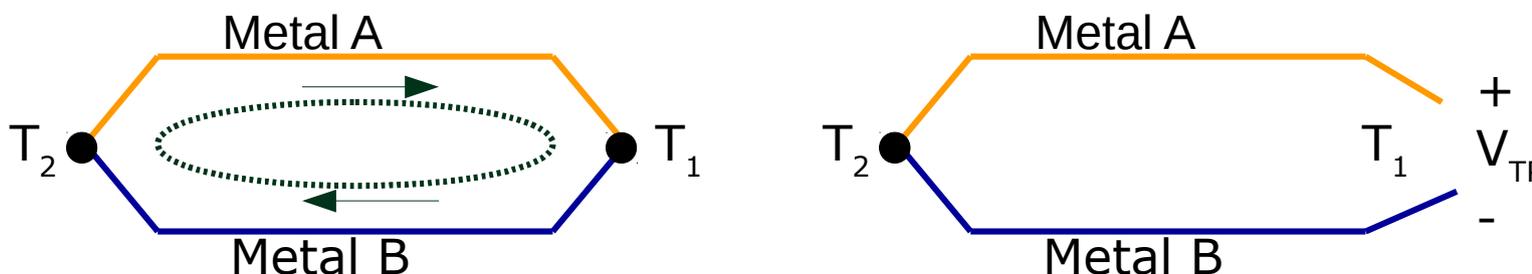
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Termopares

Efecto Seebeck o termopar

Dos metales distintos formando un circuito cerrado a distinta temperatura. Aparece entonces una fuerza electromotriz y, si se abre el lazo, una diferencia de tensión.



Cuantificación

En estas circunstancias, la ecuación del efecto termoeléctrico permite deducir que:

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Termopares

Tipos de termopares

Se clasifican en tipos estandarizados con una serie de características para facilitar la identificación y calibración.

Tipo	Composición (terminal positivo - negativo)	Campo de medida recomendado	Sensibilidad (a 25°C)
J	Fe - Constantán*	0 a 760°C	51,5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
K	Cromel* - Alumel*	-200 a 1250°C	40,5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
N	Nicrosil* - Nisil*	0 a 1260°C	26,5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
T	Cu - Constantán	-200 a 350°C	41,0 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
R	13%Pt 87%Rh - Pt	0 a 1450°C	6 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
S	10%Pt 90%Rh - Pt	0 a 1450°C	6 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
B	30%Pt 70%Rh - 6%Pt 94%Rh	800 a 1800°C	9 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ (a 1000 °C)

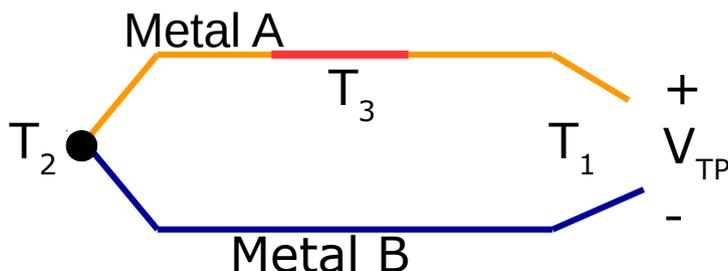
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

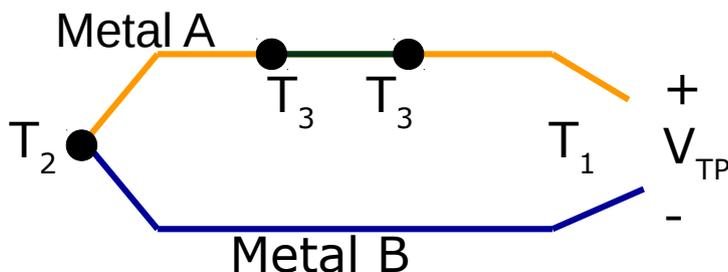
Termopares

Algunas leyes de interés



Ley de los circuitos homogéneos

La existencia de gradientes térmicos en los cables no afecta a la medida si en los extremos la temperatura no se ve afectada



Ley de los metales intermedios

La existencia de un tercer metal no afecta a la medida siempre y cuando las uniones estén a la misma temperatura.



Ley de las temperaturas intermedias

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

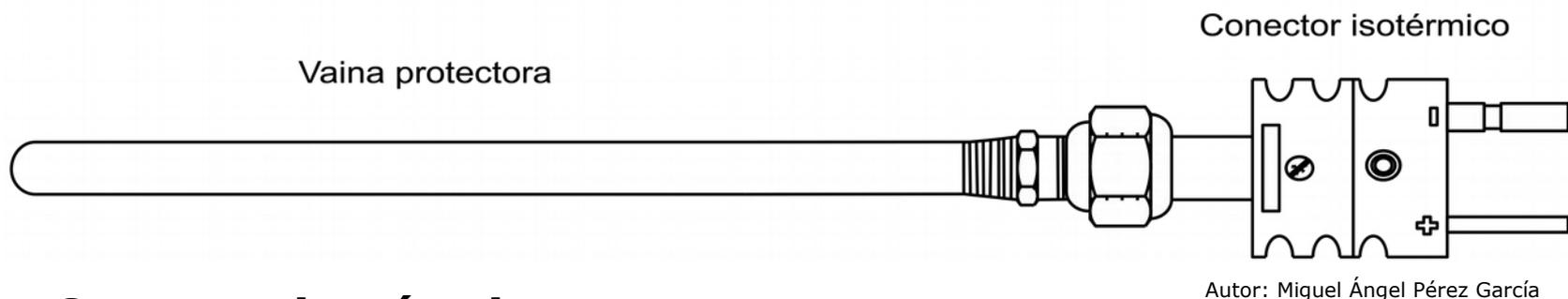
cuadrera

Cartagena99

Termopares

La temperatura del terminal de referencia

Es importante que, en el terminal de contacto, los terminales estén a la misma temperatura y que ésta sea conocida.



Conector isotérmico

Una funda de alta conductividad térmica y gran tamaño permite que los terminales de contacto estén a la misma temperatura

Temperatura de referencia

Esta temperatura puede controlarse de dos modos: Añadiendo un

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Termopares

Errores por efecto termoeléctrico

Al medir tensión en un circuito, se crea el equivalente a un termopar. Si el circuito está a distinta temperatura, aparece una tensión adicional que falsea la medida.

Ejemplo: PT100 + cables de Cu y temperatura no uniforme

Efecto y celdas Peltier

Si tenemos dos materiales unidos y se hace pasar una corriente constante, una unión se enfría y la otra se calienta.

Celda Peltier: Utilizada para crear focos de frío y enfriar.

Recolección de energía

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

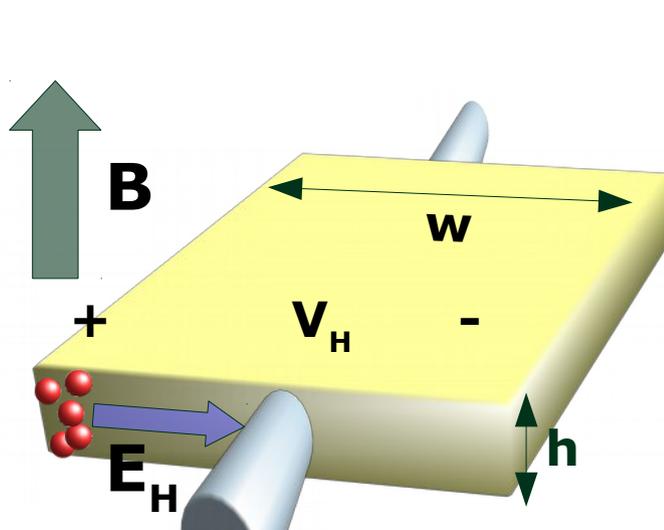
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Sensores de Efecto Hall

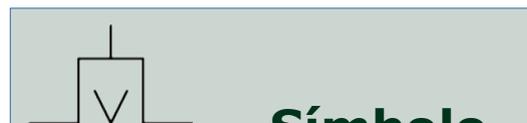
¿Qué son?

El efecto Hall es un fenómeno sobradamente conocido en física. Cuando circula corriente a través de un semiconductor (preferiblemente plano) y se aplica un campo magnético, aparece una diferencia de tensión entre las caras del semiconductor.



$$V_H = \pm \frac{B \cdot I_0}{q \cdot h \cdot n}$$

Dependencia de los parámetros:
 - \pm : Depende del tipo de portador
 - q : Carga del portador
 - h : Espesor del semiconductor
 - n : Concentración de portadores



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Sensores de Efecto Hall

Notas sobre los sensores

- Si se acepta que el sensor es plano, el campo magnético se debe multiplicar por el coseno del ángulo con la vertical.
- El semiconductor suele ser un compuesto de indio.
- En general, estos sensores cuentan con acondicionador de señal integrado en el sensor. Éste puede:
 - Proporcionar salida analógica.
 - Proporcionar salida lógica: Ausencia/presencia de campo
 - Un solo sentido o ambos sentidos

El acondicionamiento de señal incluye fuente de corriente y

amplificación.

Cartagena99

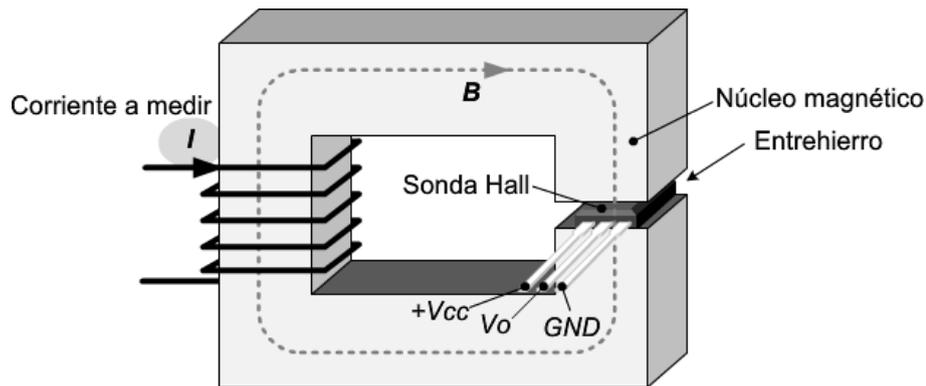
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

por el fabricante.

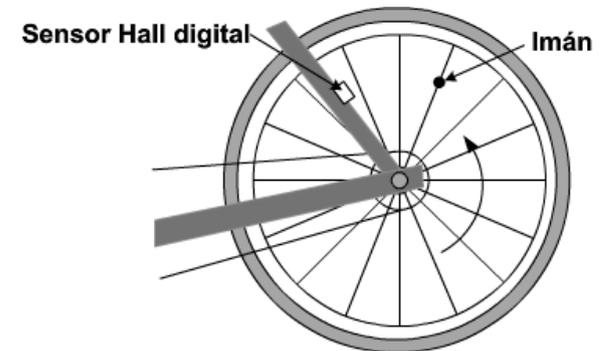
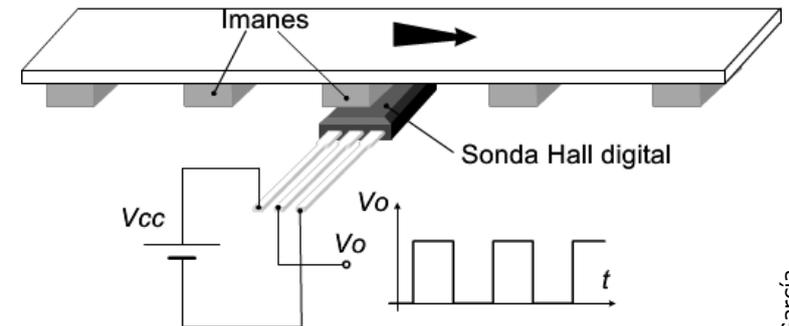
Sensores de Efecto Hall

Ejemplos de uso en electrónica



Medida de corriente

El campo magnético generado en el núcleo de hierro puede medirse con el sensor y de ahí deducir la corriente.



Control de paso

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

cantidades o velocidades.

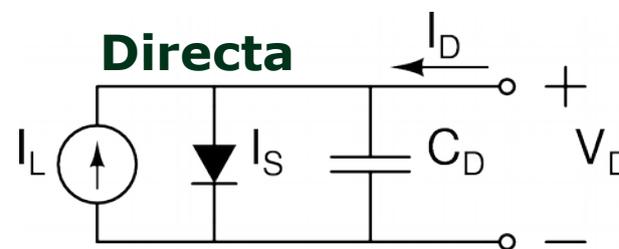
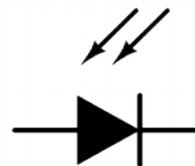
Fotodiodos

¿Qué son?

Cuando se ilumina una unión PN, la radiación electromagnética puede crear pares e-h en la zona de vaciamiento generando de este modo una corriente.

Propiedades físicas

- Anchura de banda prohibida
- Coeficiente de penetración (Ley de Beer-Lambert)
- Corriente en oscuridad
- Respuesta espectral
- Tiempo de bajada/subida
- Ruido



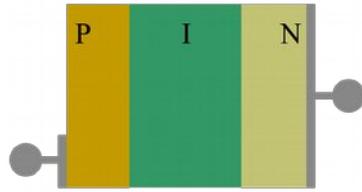
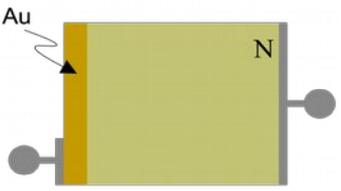
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Fotodiodos

Tipos

Tipo	Estructura	Características
PN		Buenas características generales
PIN		Tensión inversa 5-100V Capacidad de transición pequeña Muy rápidos
Schottky		Buena respuesta en el ultravioleta

Autor: Miguel Ángel Pérez García

Cartagena99

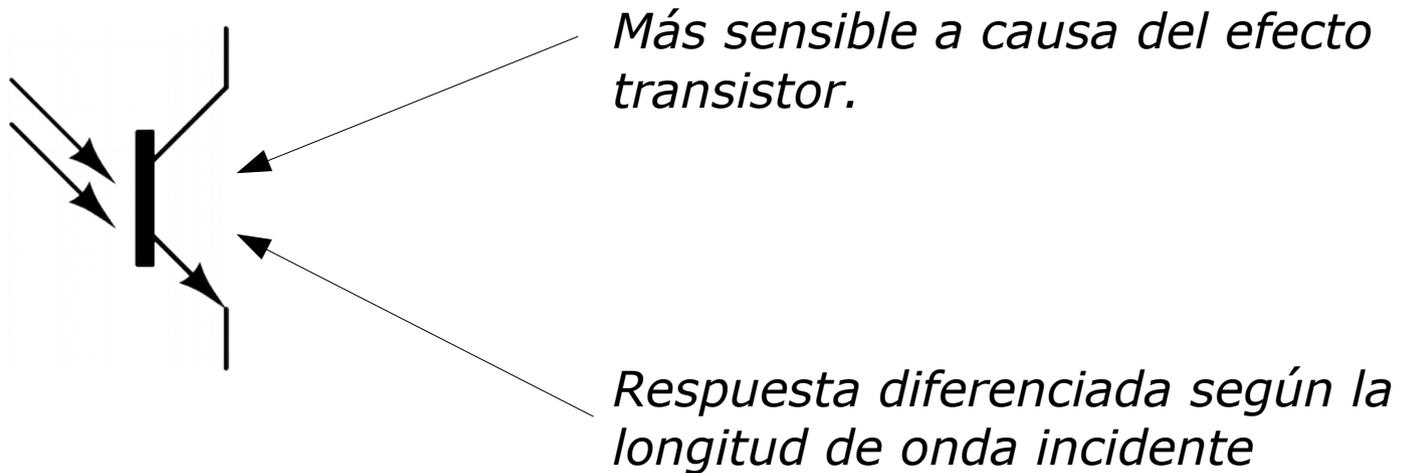
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Fototransistores

¿Qué son?

Transistores bipolares cuya base está al aire (o unida al emisor con resistencia para estabilizar) y que se activan con la acción de la luz



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

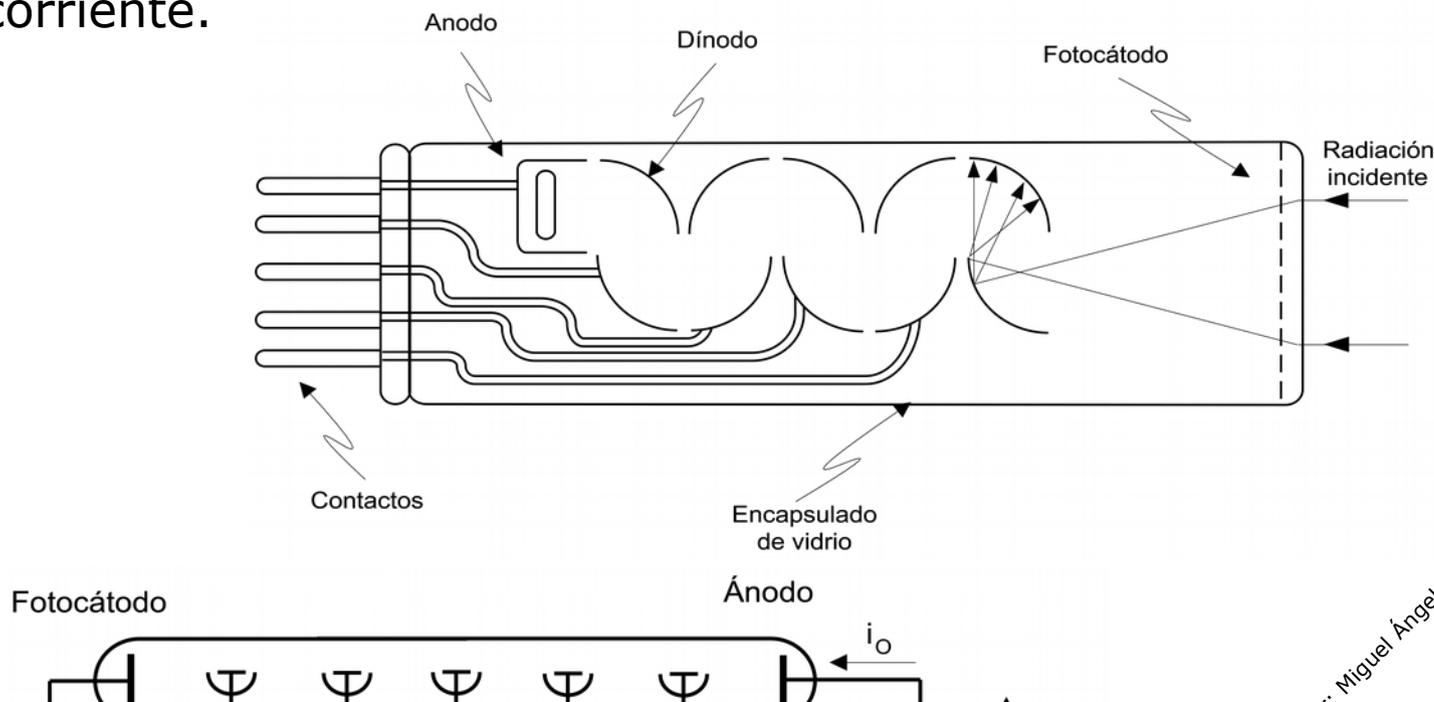
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Fotomultiplicadores

¿Qué son?

Son dispositivos capaces de detectar uno o más fotones. Usan potentes campos eléctricos para multiplicar la intensidad del pulso de corriente.



Miguel Ángel Pérez García

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Alta tensión

Fotomultiplicadores

¿Cómo se usan?

Desde el punto de vista práctico, se pueden considerar casi como fotodiodos pues responden con un pulso de corriente más o menos proporcional a la luz incidente.

¿Cuál es su aplicación?

Se utiliza en sistemas de instrumentación óptica que vayan a trabajar a muy baja iluminación (p.e., telescopios).

Un diseño similar se usa para detectar radiación ionizante.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Acondicionamiento de dispositivos optoelectrónicos

Fotodiodos y fotomultiplicadores

Deben acondicionarse con un op amp en configuración de conversor I-V o con una simple resistencia si es todo/nada

Fototransistores

En general, basta una simple resistencia de *pull-up* o *pull-down* ya que trabajan en colector abierto.

NOTA:

El acondicionamiento de dispositivos optoelectrónicos es complicado y, si se plantea el uso, es necesario profundizar en el conocimiento. **P.e., ¿cómo afectan las capacidades parásitas?**

Dispositivos CCD

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

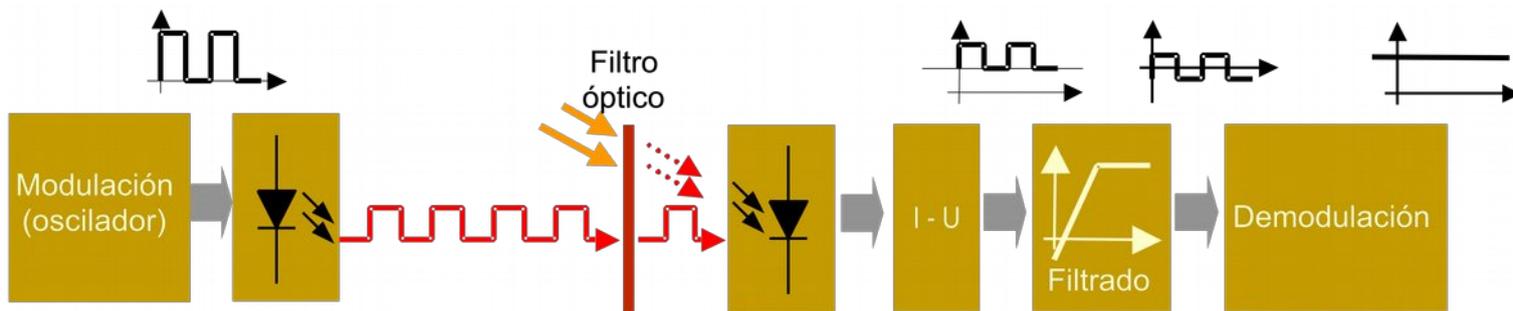
Cartagena99

LEDs y fotorreceptores

Uso de estos dispositivos

De especial importancia en el mundo de las comunicaciones:
Mandos a distancias, fibras ópticas, ...

Un LED genera, un fotodiodo o fototransistor recibe.



Autor: Miguel Ángel Pérez García

Luz ambiental

Para eliminar el efecto de la luz ambiental, se pueden usar filtros ópticos que permitan sólo el paso de luz de una determinada

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

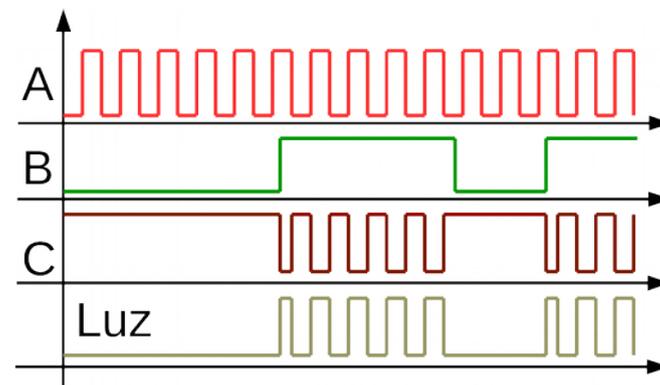
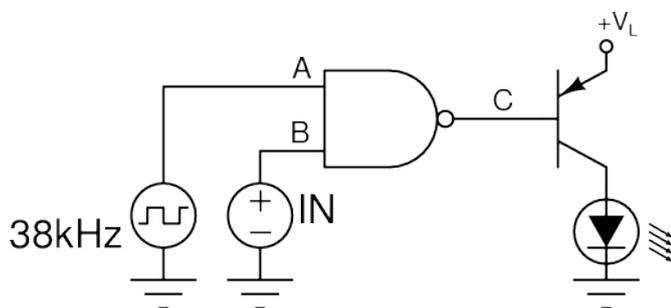
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Modulación a 38 kHz

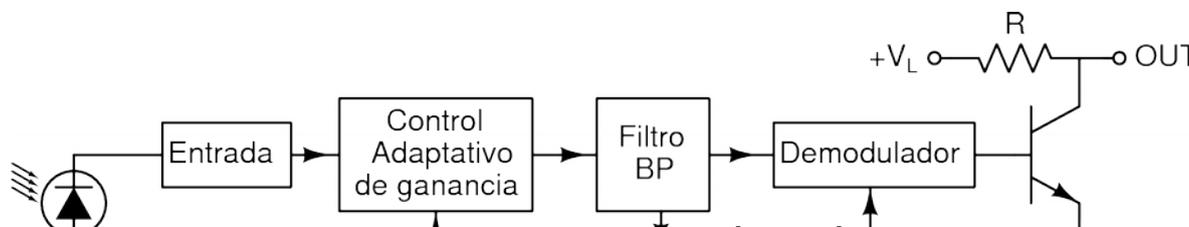
¿Por qué?

En ambientes reales, hay demasiadas fuentes de luz que enmascaran la señal transmitida y no tenemos garantía de que la potencia sea suficiente. Se soluciona modulando en amplitud.

Emisión (ejemplo)



Recepción



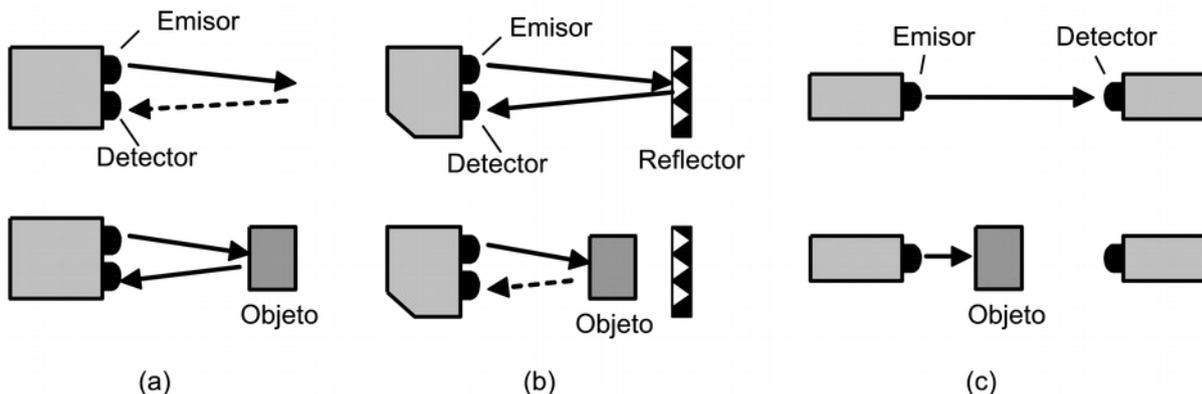
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

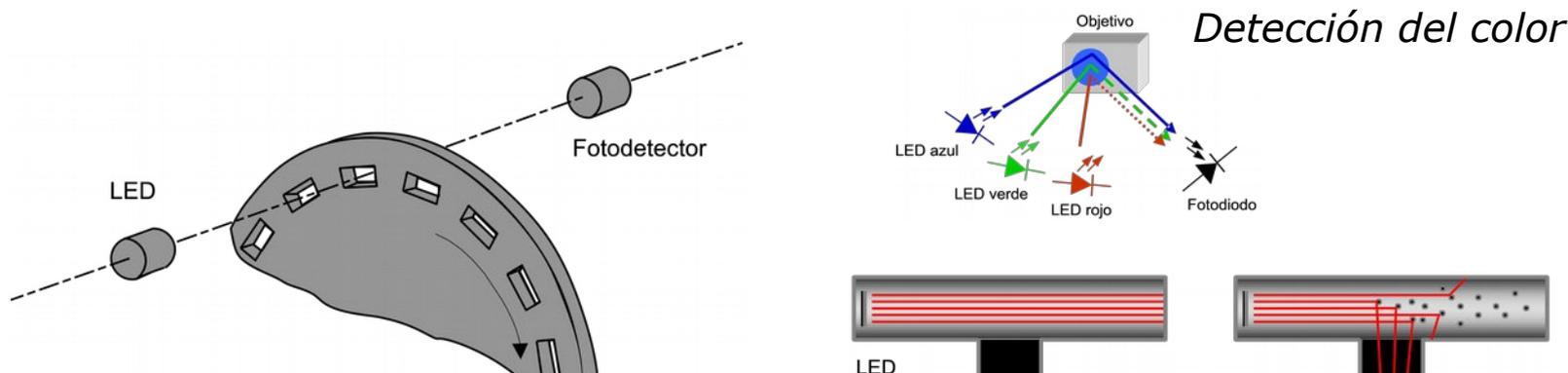
Cartagena99

LEDs y fotorreceptores

Otros usos de estos dispositivos



Técnicas de detección de proximidad



Detección del color

or: Miguel Ángel Pérez García

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Detección de tamaño

Piroeléctricos y piezoelectricos

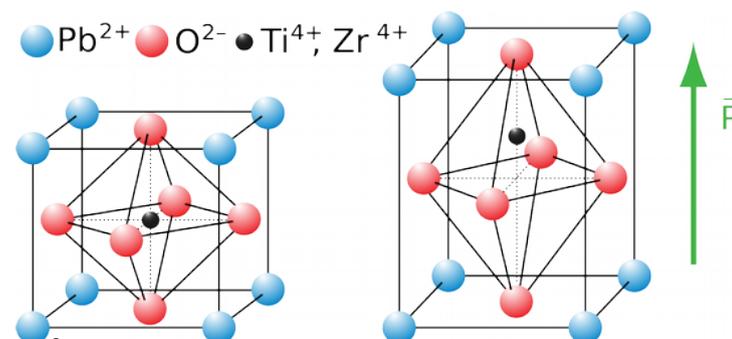
¿Qué son?

En algunos materiales, la peculiar distribución de iones en la red cristalina conlleva la aparición de dipolos eléctricos al ser sometidos bien a presión (piezoelectricidad), bien a cambios de temperatura (piezoelectricidad).

Cuarzo (SiO_2), sacarosa, turmalina, algunos compuestos orgánicos y cerámicos.

En la práctica:

- **PZT:** Titanato-Zirconato de **plomo** (perovskita cerámica)
- **NKN:** Niobato de sodio y potasio (perovskita cerámica)
- **Dióxido de silicio:** Pero en un



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Piroeléctricos y piezoeléctricos

Puntos que tener en cuenta

- **Temperatura de Curie, T_c** : Al alcanzar esta temperatura, el material pierde su carácter piezo/piroeléctrico.
- El efecto piezoeléctrico aparece al deformar el material (carácter estático o dinámico). El piroeléctrico al someterlo a cambios de temperatura (siempre dinámico).
- La piezoelectricidad es bidireccional. Tensiones variables producen deformaciones: **Altavoces**
- Cuando deformamos un dispositivo piezoeléctrico, intervienen:
 - La fuerza deformante
 - La respuesta del material (Lay de Hooke)
 - La fuerza de rozamiento (viscosidad)

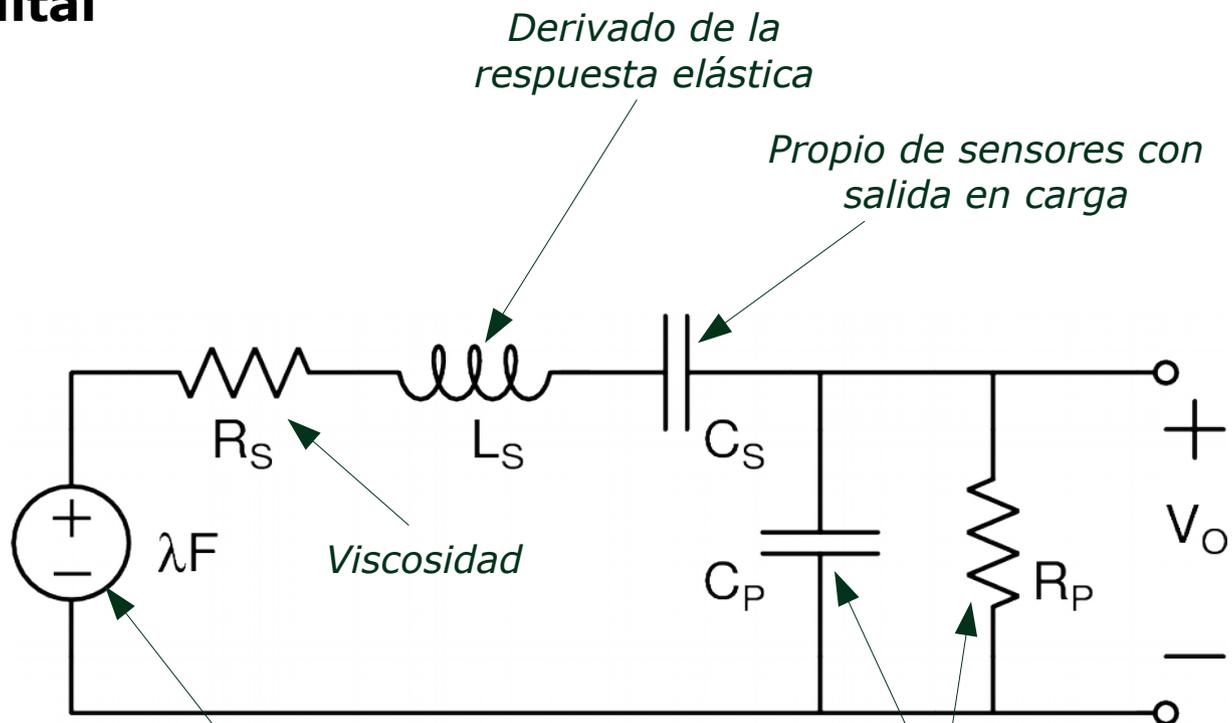
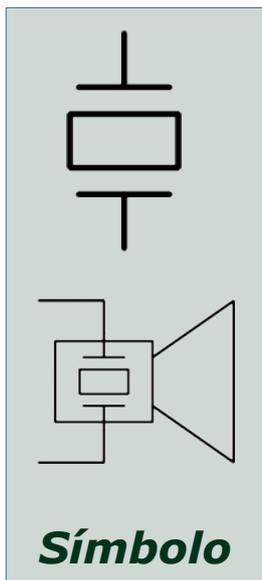
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Piroeléctricos y piezoeléctricos

Modelo circuital



La excitación original se modela como una fuerza en piezoeléctricos y con el

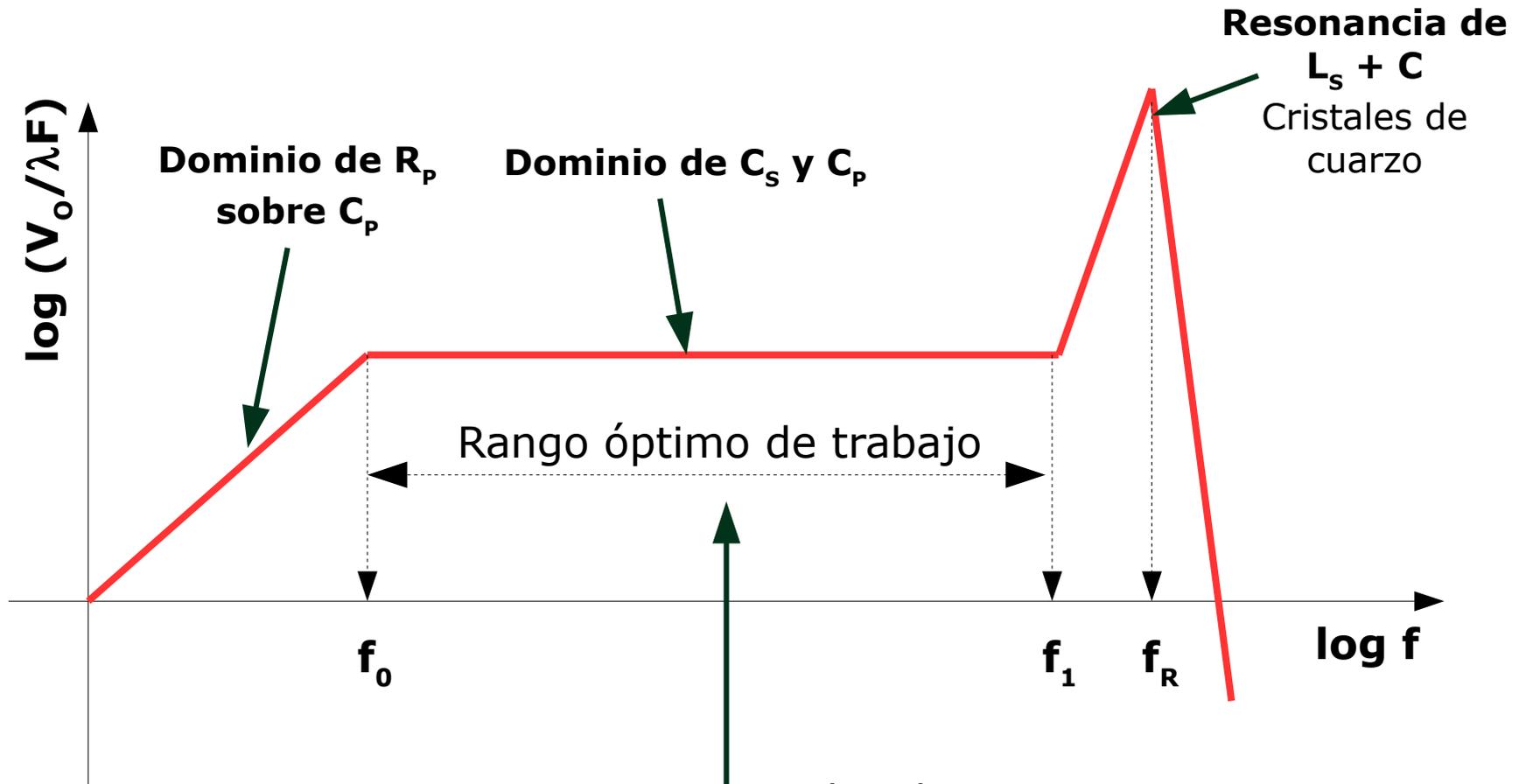
Capacidad asociada a los electrodos con su resistencia en paralelo

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Piroeléctricos y piezoeléctricos

Respuesta en frecuencia



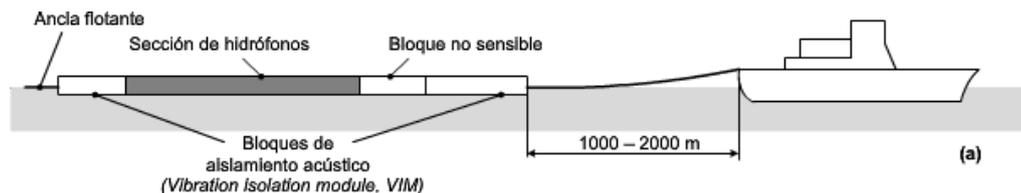
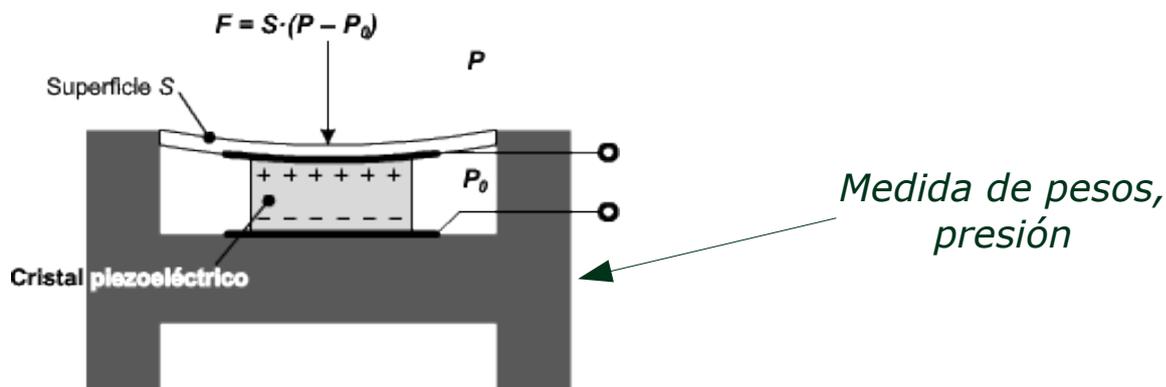
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

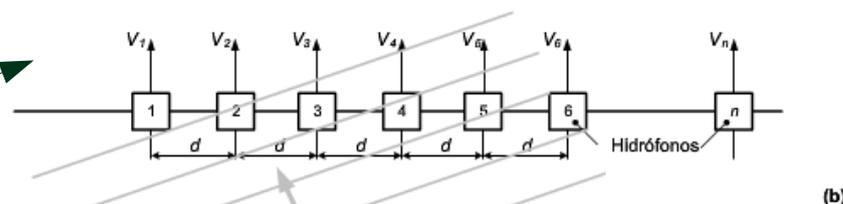
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Piroeléctricos y piezoeléctricos

Aplicaciones de piezoeléctricos (I)



Hidrófonos para posicionar en el mar



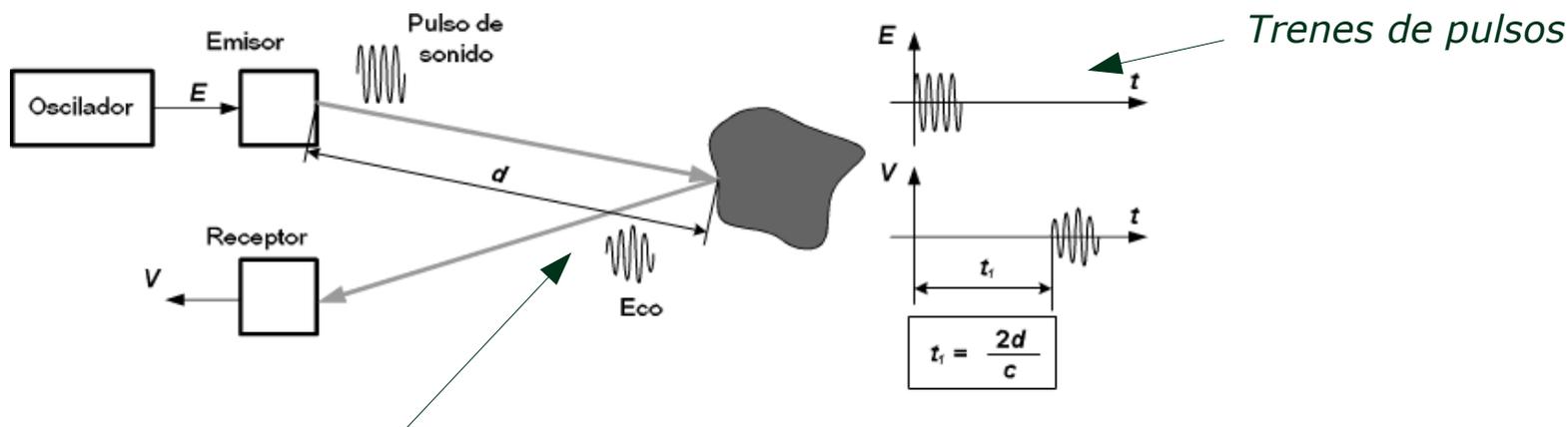
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Piroeléctricos y piezoeléctricos

Aplicaciones de piezoeléctricos (II)



Posicionamiento por sonido.

- Incertidumbre asociada a la fracción de onda.

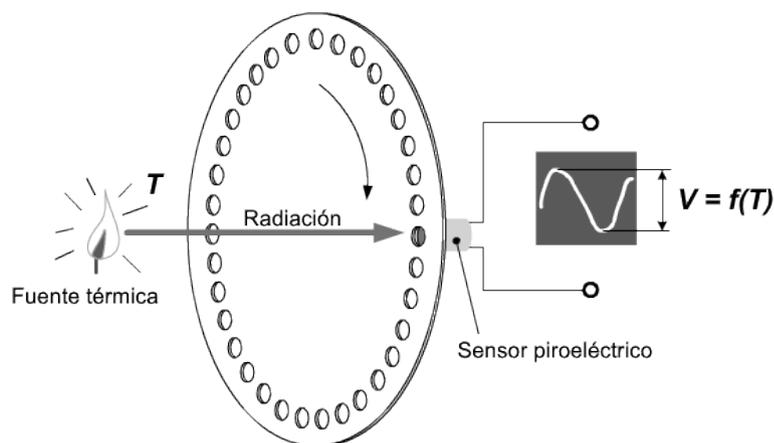
Posicionamiento por sonido.

- Incertidumbre por velocidad del sonido
- Efecto Doppler

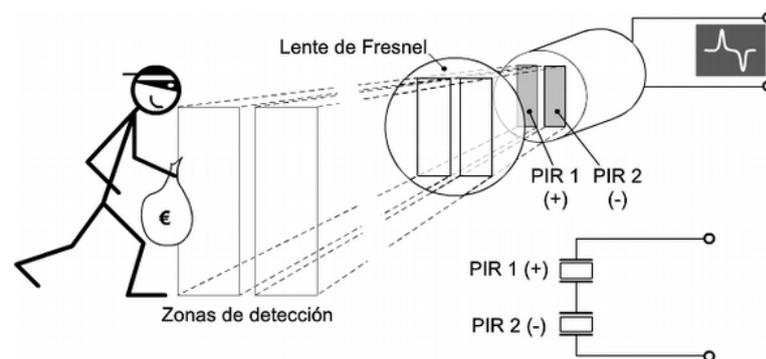
Piroeléctricos y piezoeléctricos

Aplicaciones de la piroelectricidad

Circuitalmente, sólo hay que cambiar fuerza aplicada por evolución temporal de la temperatura. Especialmente indicada para la medida de la radiación infrarroja emitida por un cuerpo. **Se debe inducir algún cambio en la temperatura del sensor.**



Rueda agujereada



Detección de presencia

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70