



SENSORES Y ACONDICIONADORES

TEMA 4 (3)

SENSORES RESISTIVOS

**Magnetorresistencias, fotorresistencias,
higrómetros resistivos, sensores de gases,
sensores de conductividad de líquidos y
sensores de intensidad**

Profesores: Enrique Mandado Pérez
Antonio Murillo Roldan



MAGNETORRESISTIVIDAD

EFEECTO MAGNETO-RESISTIVO

Propiedad que tienen ciertos materiales de cambiar su resistividad al aplicarles un campo magnético externo.

MAGNETORRESISTENCIAS

Se les conoce por el acrónimo MRS (*Magneto Resistive Sensors*).

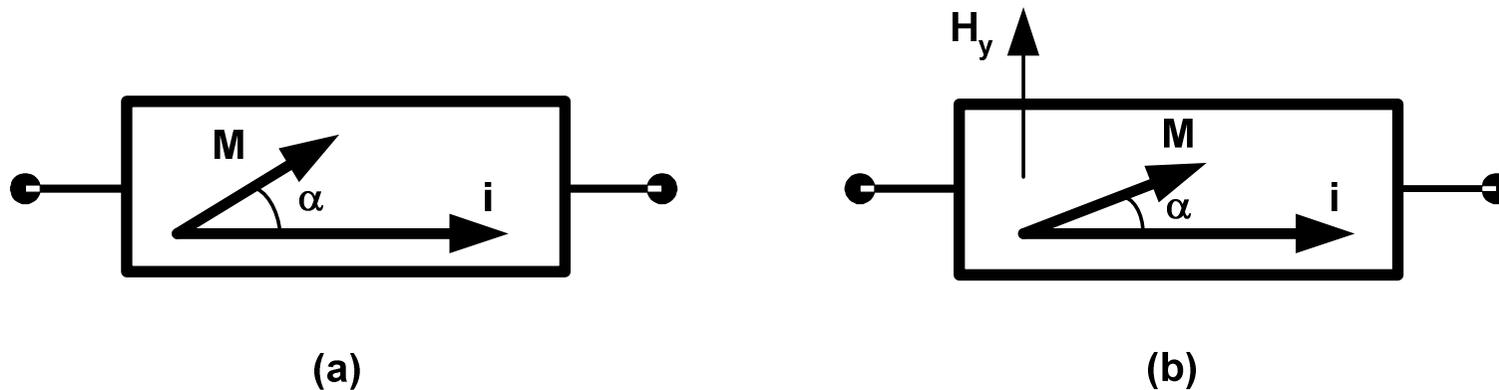
Están constituidas por una película delgada de una aleación metálica ferromagnética, depositada sobre una oblea de silicio y modelada como una banda de resistencia. Una de las aleaciones más utilizadas es la de Níquel-Hierro denominada Permalloy (20% de Fe, 80% de Ni). Su resistencia varía **entre un 2% y un 5%** al aplicarle de un campo magnético.





MAGNETORRESISTENCIAS

La magnetorresistencia se magnetiza en una determinada dirección que forma un ángulo α (de 45° para lograr la máxima linealidad) con respecto a la corriente i que circula por ella.



Si a la magnetorresistencia se le aplica un campo magnético perpendicular a la corriente i , el ángulo α que forman M e i se modifica tal como se indica en la figura.



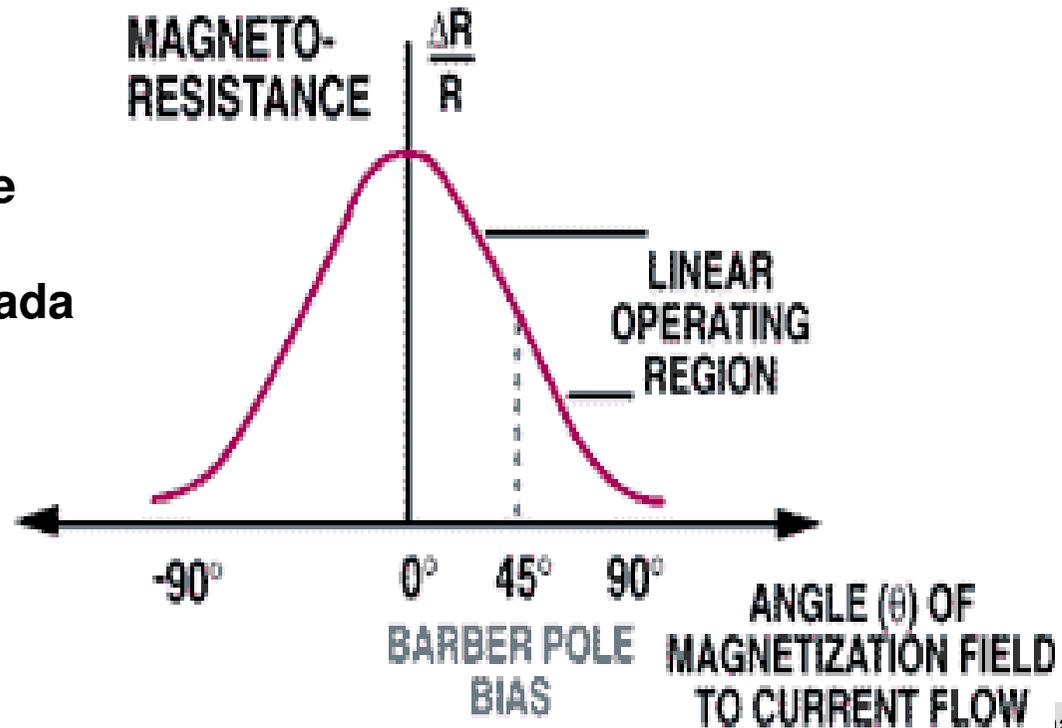
MAGNETORRESISTENCIAS

La relación entre la resistencia y el campo magnético es:

$$R = R_0 + \Delta R_0 \left(1 - \frac{H_y^2}{H_0^2} \right) \quad (H \leq H_0)$$

en la cual R_0 es la diferencia entre las resistencias máxima y mínima

Si el valor de H es constante y solo varía su orientación, la variación de R es la indicada en la figura.

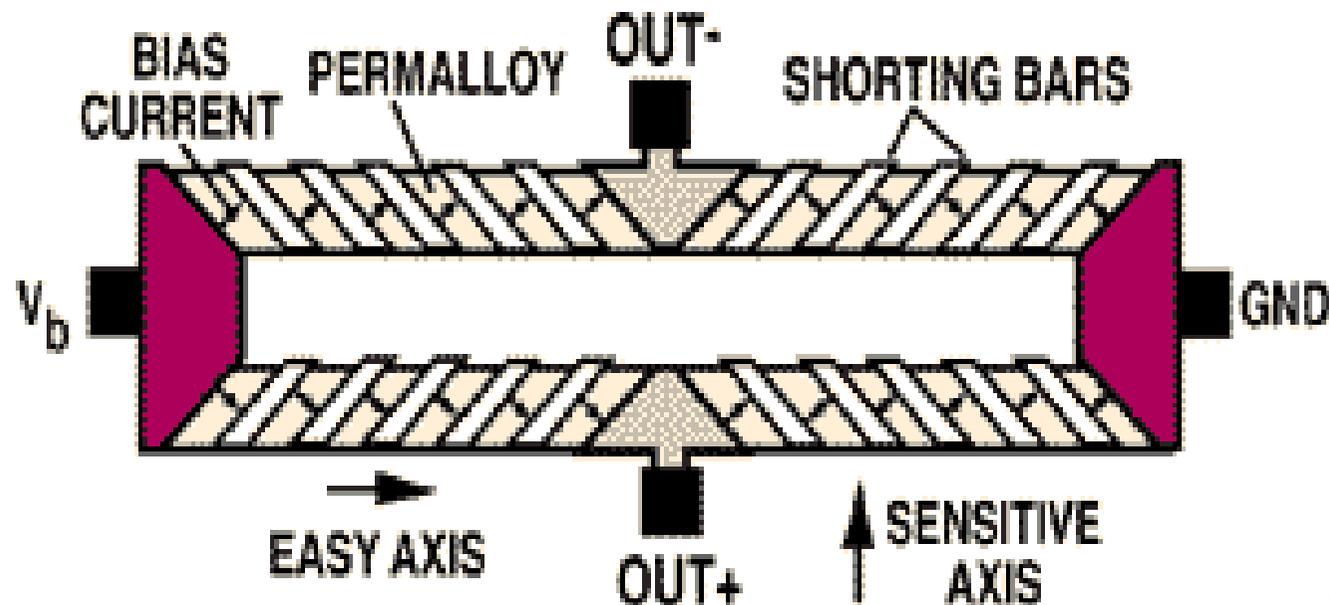




MAGNETORRESISTENCIAS

La técnica utilizada para que la corriente forme un ángulo de 45° con el eje de la película se suele denominar “**poste de peluquero (*Barber pole*)**”.

El sensor está constituido por **bandas de oro** (de baja resistencia) que **forman un ángulo de 45°** con la dirección del eje de la película. Se logra así que la corriente fluya de una barra a la siguiente con un ángulo 45° .





MAGNETORRESISTENCIAS

Los sensores magnetorresistivos se caracterizan por:

- **Alta sensibilidad** en la detección de los campos magnéticos.
- **Amplio rango de temperatura.**
- **Gran estabilidad y margen de variación o desviación (Offset) reducido**
- **Baja sensibilidad** a la tensión mecánica.



MAGNETORRESISTENCIAS

Aplicaciones

- **Medida directa de campos magnéticos**

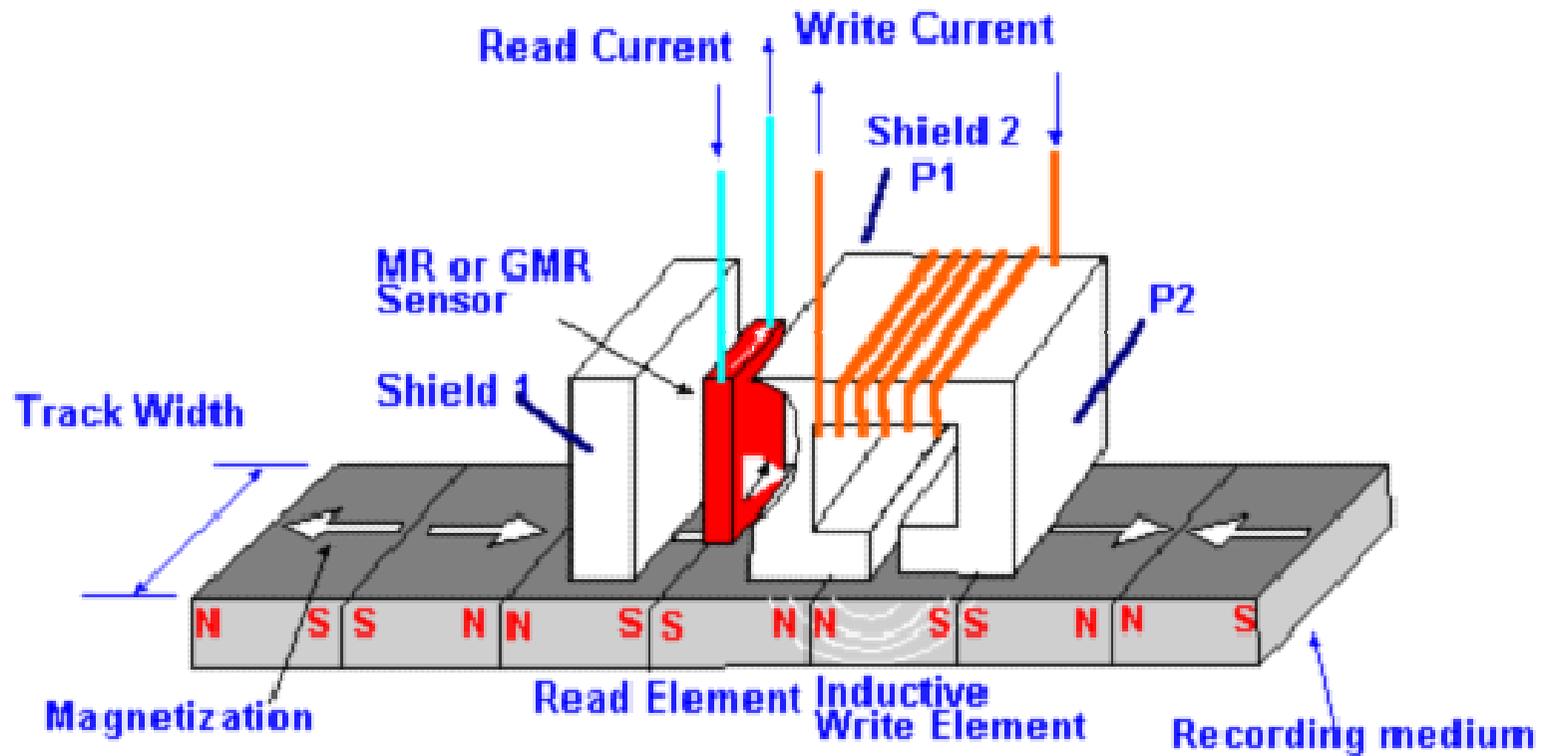
- **Medida de otras magnitudes a través de variaciones de campo magnético**

Excelentes para medida de desplazamientos lineales y angulares en condiciones ambientales extremas en aplicaciones de automoción y maquinaria (ruedas dentadas, varillas de metal, levas, etc.).



MAGNETORRESISTENCIAS

Ejemplo de medida directa de campos magnéticos



Aplicación: Lectura de cintas magnéticas



FOTORRESISTIVIDAD

Propiedad de los semiconductores cuya resistencia varía al someterlos a una radiación óptica (Radiación electromagnética de longitud de onda comprendida entre 1 mm y 10 nm).

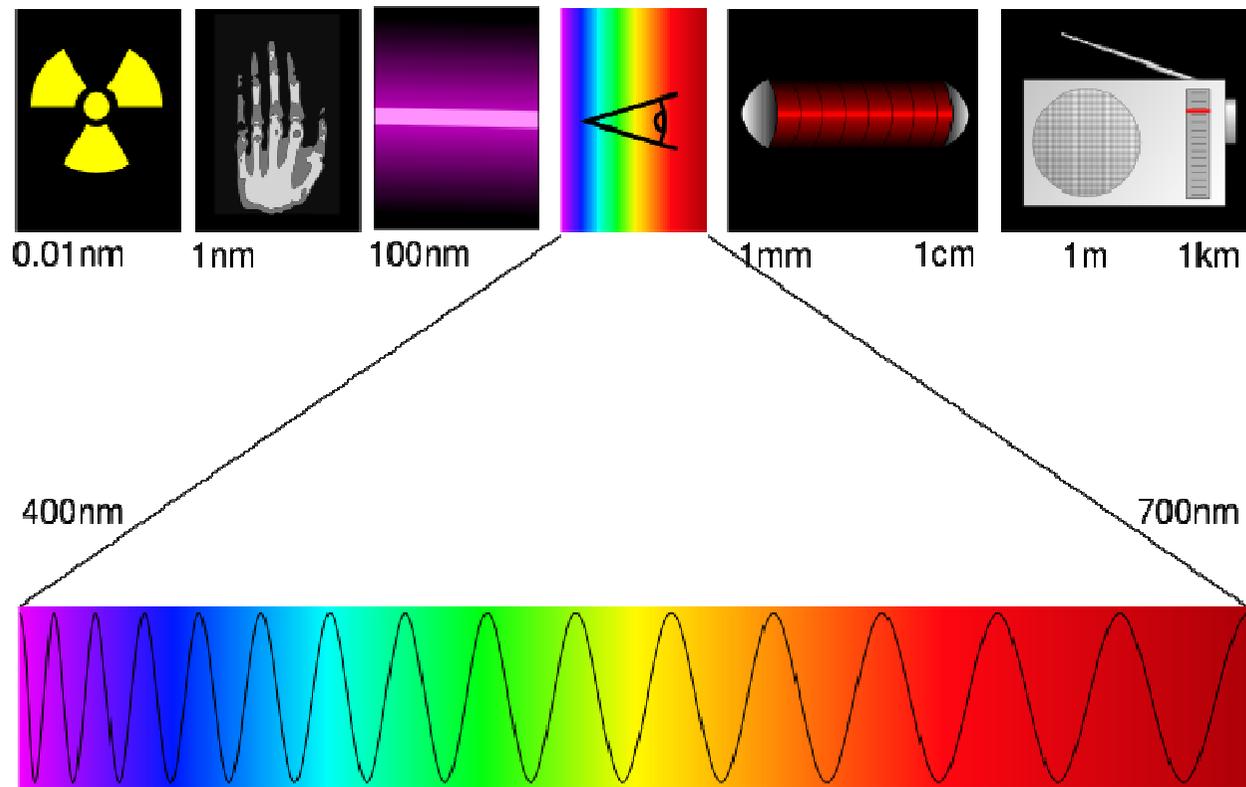
A baja temperatura la mayor parte de los electrones de un semiconductor intrínseco están en la banda de valencia, y por ello se comporta casi como un aislante. Se obtiene un aumento de la conductividad elevando su temperatura. Ello es debido a que dicha elevación hace que aumente el número de electrones que pasan de la banda de valencia a la banda de conducción.

Si el semiconductor es extrínseco (está impurificado), el salto es todavía más fácil. Por ello, si se le aplica una radiación óptica de suficiente energía, se provoca dicho paso y a mayor iluminación, mayor es la conductividad.

En el caso de un conductor, la conductividad es de por sí tan alta que el cambio debido a la incidencia de la radiación apenas se nota.



FOTORRESISTIVIDAD





FOTORRESISTIVIDAD

Efecto fotoconductor de diferentes materiales

<u>Material</u>	<u>Ancho de banda prohibida(eV)</u>	<u>Longitud de onda máxima(um)</u>
S Zn	3,60	0,345
S Cd	2,40	0,52
Se Cd	1,80	0,69
Te Cd	1,50	0,83
Si	1,12	1,10
Ge	0,67	1,85
S Pb	0,37	3,35
As In	0,35	3,54
Te	0,33	3,75
Te Pb	0,30	4,13
Se Pb	0,27	4,58
Sb In	0,18	6,90

Anchura de la banda prohibida

Diferencia del nivel de energía de los electrones entre la banda de conducción y la de valencia)

Longitud de onda máxima de la radiación que produce el efecto fotoeléctrico interno.

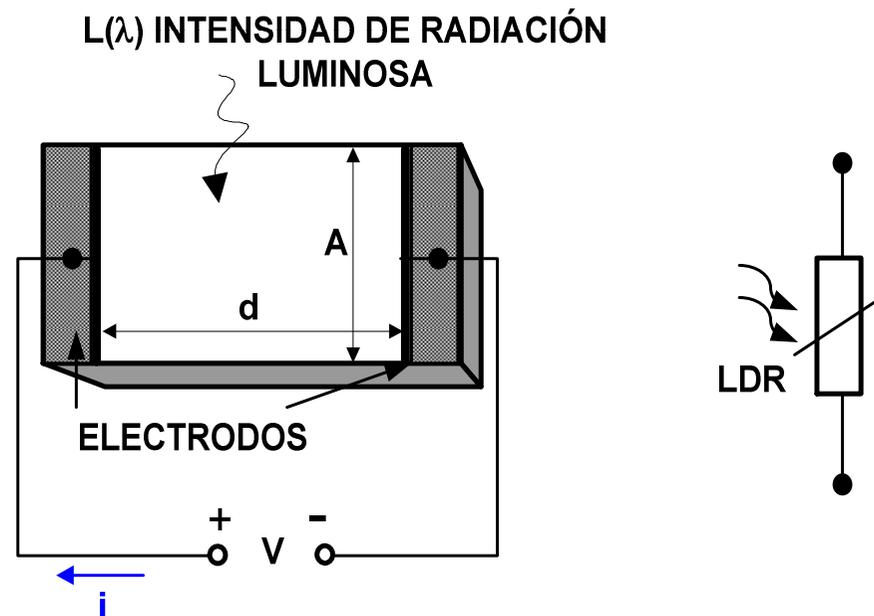
La relación entre la energía E de los fotones y la longitud de onda λ de la radiación es $\lambda = h c / E$ en la cual h es la constante de Planck (6,626 10⁻³⁴ J·s o 4,136 10⁻¹⁵ eV). Si E se expresa en eV (1eV = 1,602 10⁻¹⁹), se tiene $\lambda(\text{mm}) = 1,24 / E(\text{eV})$



FOTORRESISTENCIAS

Elementos sensores basados en la fotorresistividad. Se suelen denominar LDR (*Light Dependent Resistors*).

Una LDR está constituida por un bloque de material semiconductor, sobre el que puede incidir la radiación, y dos electrodos metálicos situados en los extremos.





FOTORRESISTENCIAS

La relación entre la resistencia de un fotoconductor y la iluminación no es lineal.

La relación entre la resistencia máxima y la mínima es superior a 10.000.

Una LDR se puede caracterizar mediante la expresión:

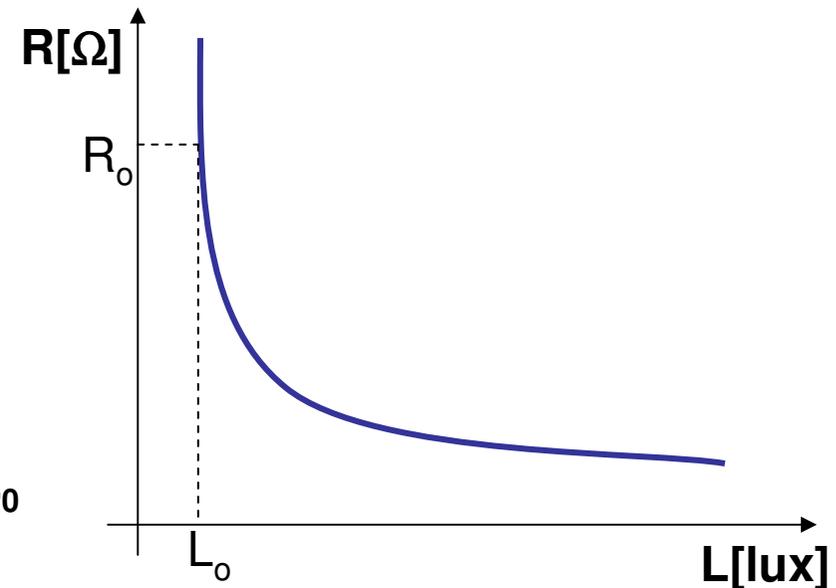
$$R_L = R_0 \left(\frac{L_0}{L} \right)^\alpha$$

en la cual:

L: iluminación (lux)

R_L y R_0 : resistencias a los niveles L y L_0

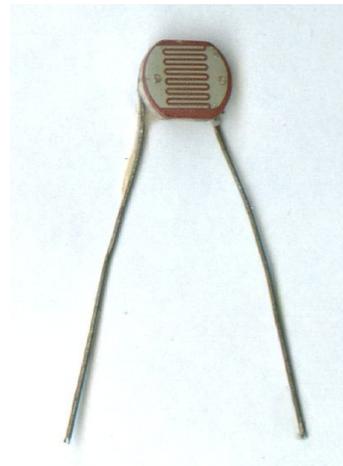
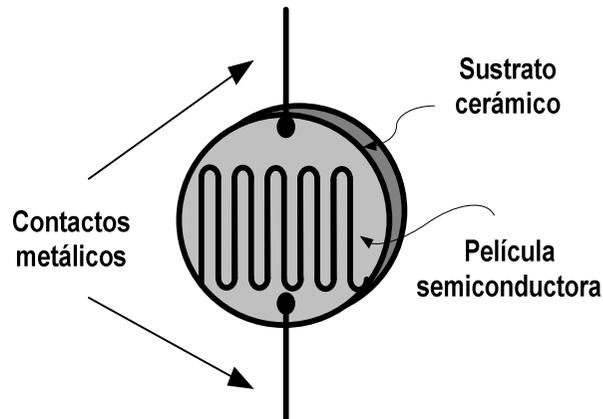
α : constante cuyo valor depende del tipo de material





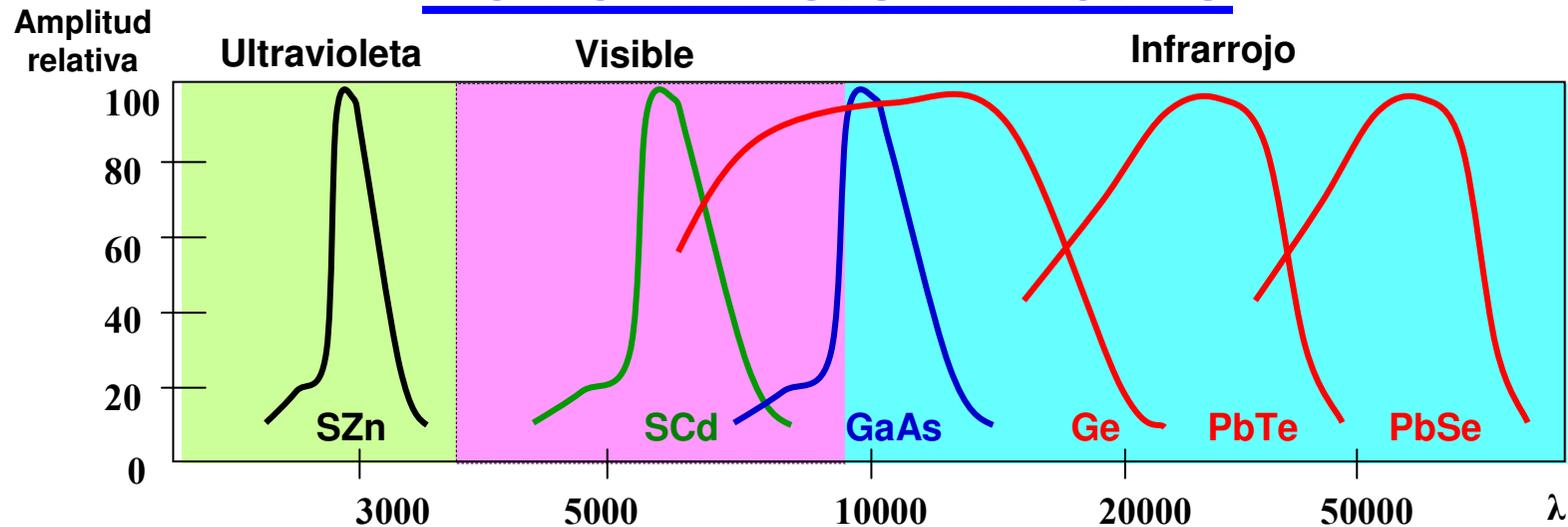
FOTORRESISTENCIAS

Están formadas por capas finas de materiales semiconductores dispuestas sobre un sustrato cerámico o de plástico. Para obtener una elevada sensibilidad con unas dimensiones reducidas, la película semiconductor se construye en zig-zag.





FOTORRESISTENCIAS



En la **zona visible** (0,38 a 0,78 μm) y del infrarrojo muy cercano (0,78 a 4 μm) se emplean compuestos de cadmio (SCd, SeCd, TeCd).

En la **zona del infrarrojo** (1,4 a 14 μm) se emplean compuestos de Galio, Indio, Arsénico: (SbIn, AsIn), Telurio, y aleaciones de telurio, cadmio y mercurio, así como Silicio y Germanio impurificados.

Las LDR más comunes, utilizables a temperatura ambiente, son de SCd, SPb y SePh.



FOTORRESISTENCIAS

Características importantes

- **Elevado tiempo** de respuesta que limita su frecuencia de trabajo a algunos KHz.
- El tiempo de respuesta al **iluminar** la LDR es menor que al **oscurecerla**. Además su valor es función del tipo de material.
- La **sensibilidad** de la LDR ante la radiación incidente depende de la temperatura. La elevación de esta última genera ruido térmico, que se manifiesta en forma de fluctuaciones de la corriente cuando se le aplica una tensión para medir el valor de su resistencia.
- Su **respuesta espectral es estrecha**, lo que hace que el tipo de material utilizado se deba elegir en función de la longitud de onda que se quiere detectar.
- Para minimizar la reflexión superficial, el material del **encapsulado debe ser transparente** a la longitud de onda de la radiación que se quiere detectar.



APLICACIONES DE LAS FOTORRESISTENCIAS

Medida de luz

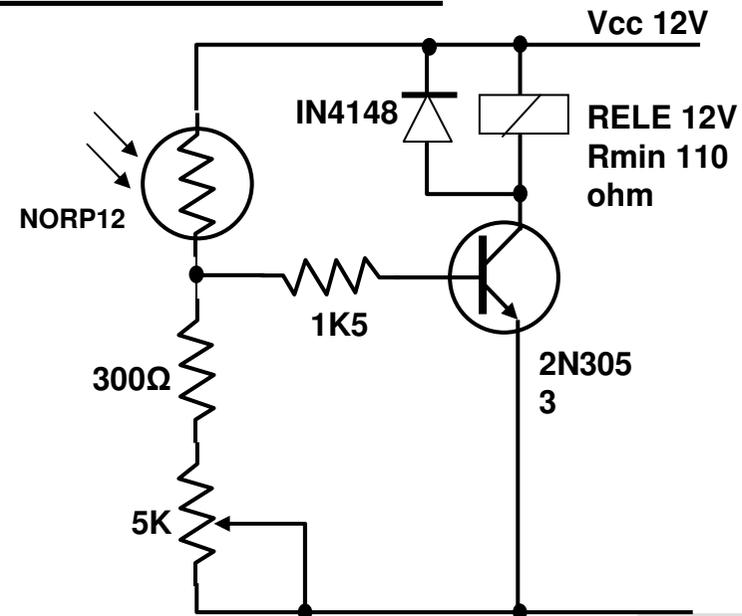
En aplicaciones en las que se exige poca precisión y bajo coste como por ejemplo el control automático de brillo y contraste, el control del diafragma de las cámaras fotográficas, etc.

Detección del nivel de luz

Para implementar sensores todo-nada como por ejemplo detectores de presencia y posición, encendido automático del alumbrado público, etc.

Detector de luz: Fotorresistencia NORP12

Características técnicas	
Pico de respuesta espectral	530 nm
Resistencia de LDR 10 lux	9000 ohm
Resistencia de LDR 1000 lux	400 ohm
Resistencia en oscuridad	1 Mohm
Pico máx de tensión en ac/dc	320 V
Disipación máxima a 25°C	250 mW
Tiempo de respuesta al elevar R	18 ms
Tiempo de disminución de R	120 ms





HIGRÓMETROS (*Hygrometers*) RESISTIVOS

Elementos sensores cuya resistencia eléctrica depende del grado de humedad.

Humedad de un gas

Cantidad de vapor de agua presente en él (*humidity*).

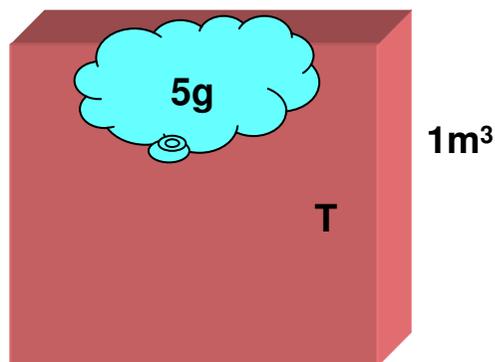
También es humedad la cantidad de agua absorbida en un líquido o un sólido (*moisture*).

Humedad absoluta

Masa de vapor de agua contenida en un volumen dado de gas (g/m^3).

Humedad relativa

Relación entre la presión parcial del vapor de agua presente y la necesaria para que haya saturación a una temperatura dada.



$$H_a = 5 \text{ g}/\text{m}^3$$

$$H_r = \frac{P \text{ vapor a } T}{P \text{ satur. a } T}$$



HIGRÓMETROS (*Hygrometers*) RESISTIVOS

La mayoría de los **aislantes eléctricos** presentan un **descenso de resistividad** y un **aumento de la constante dieléctrica**, al aumentar su humedad.

En el mismo sensor se puede medir la resistencia o la capacidad:

- **Higrómetro resistivo** mide la variación de resistencia («humistor»).
- **Higrómetro capacitivo** mide la variación de capacidad.

La relación entre la humedad relativa y la resistencia **suele ser de tipo exponencial**.

La resistencia **se debe medir con corriente alterna** sin nivel de continua para evitar la electrólisis del agua.

El **tiempo de respuesta** es el cambio del 63% de la humedad relativa (>10 s).



HIGRÓMETROS (*Hygrometers*) RESISTIVOS

Para construir higrómetros resistivos se utilizan soluciones acuosas de una sal higroscópica (CaLi , F_2Ba , P_2O_5) depositadas sobre un sustrato plástico en forma de zig-zag entre dos electrodos.

Los higrómetros resistivos son más adecuados que los capacitivos cuando la humedad relativa es alta.



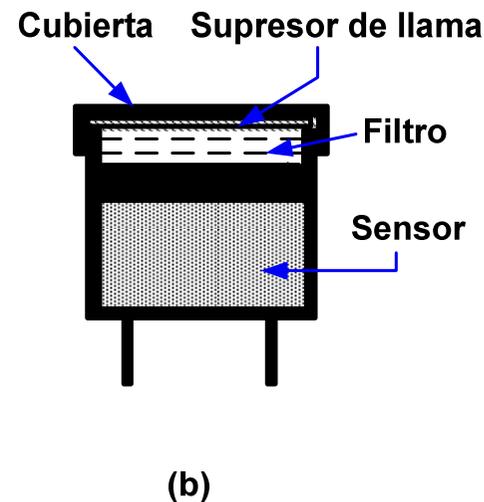


SENSORES Y DETECTORES DE GASES

Son elementos sensores implementados con algunos óxidos metálicos cuya resistencia a temperaturas elevadas varía en función de la concentración de oxígeno del ambiente.

La elevada temperatura de funcionamiento se obtiene con un calefactor de platino colocado dentro o alrededor del sensor, o impreso en el dorso de la base cerámica. Esto hace, además, que la temperatura de trabajo sea constante y elimina su efecto sobre la sensibilidad.

El material más utilizado es el SnO_2





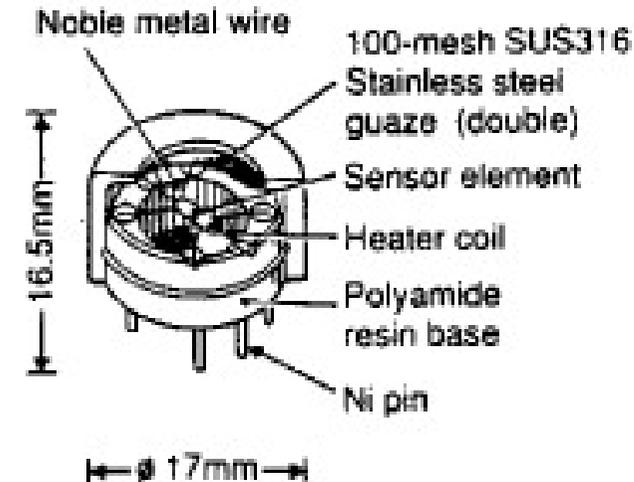
SENSORES Y DETECTORES DE GASES

Características

- Alta sensibilidad, fiabilidad y robustez
- Bajo coste de los óxidos metálicos utilizados en su fabricación y de las técnicas para procesarlos
- Pequeño tamaño

Consideraciones importantes

- No se pueden utilizar para medir la concentración de gases en soluciones acuosas porque el agua y las sales afectan a la conductividad.
- Son muy sensibles a la temperatura y a la humedad.
- Su sensibilidad disminuye cuando la concentración de O₂ es muy alta.
- Tienen escasa selectividad porque que son sensibles a cualquier gas que modifique la concentración de oxígeno. Se consigue más sensibilidad a un gas concreto controlando la temperatura y colocando un filtro.





SENSORES Y DETECTORES DE GASES

Aplicaciones

- **Detección de la concentración de oxígeno**

- **Detección de otros gases**



SENSORES Y DETECTORES DE GASES

Aplicaciones

Detección de la concentración de oxígeno

A alta temperatura, la conductividad superficial de algunos óxidos varía en función de la concentración de oxígeno del ambiente en el que están situados. Esto se debe a la existencia de defectos en la estructura cristalina, que producen un déficit de átomos de oxígeno. Debido a ello, a dicha temperatura, el O_2 absorbido se disocia, sus electrones neutralizan el exceso de metal y baja la conductividad.



Aplicaciones

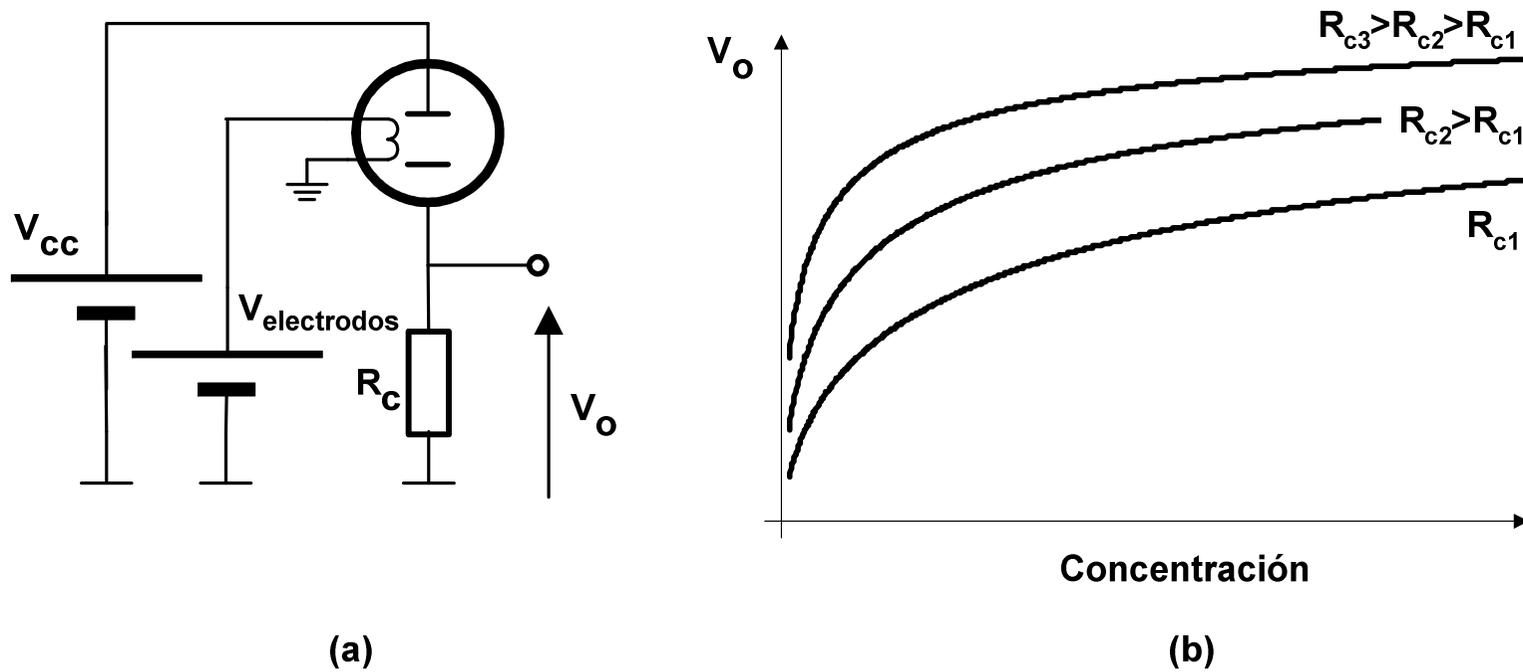
Detección de otros gases

Combinando diferentes temperaturas y la impurificación de la capa de SnO₂ se obtienen sensores cuya sensibilidad está optimizada para detectar gases concretos. Se puede medir la concentración de gases que la nariz mide a través del olfato. Por ello a este tipo de sensores se le suele llamar nariz electrónica.

Son adecuados para detectar niveles de alarma (gases de escape de motores de combustión interna (CO), fuga de gases, detección de humo, pruebas de alcoholemia).



SENSORES Y DETECTORES DE GASES



Circuito básico de medida



SENSORES Y DETECTORES DE GASES

Categoría	Uso doméstico	Uso comercial e industrial
<u>Gases combustibles</u> <ul style="list-style-type: none">- Metano- Propano- Hidrógeno	- Alarma de gases para casas, vehículos y barcas	<ul style="list-style-type: none">- Sistemas de detección de gas para comercios, plantas industriales y petroquímicas- Detectores portátiles de gases
<u>Gases tóxicos</u> <ul style="list-style-type: none">- Monóxido de carbono- Amoníaco- Otros	- Detectores de CO para casas, vehículos, barcas	<ul style="list-style-type: none">- Detectores de fugas de amoníaco para refrigeradores- Detectores de amoníaco para el sector primario- Detectores portátiles de gases
<u>Alcohol</u>	Etilómetros	Etilómetros profesionales
<u>Vapores orgánicos</u>		Detectores de disolventes para fábricas
<u>CFCs</u> (Clorofluorocarbonatos)		Detectores CFCs para congeladores, aires acondicionados, procesos de limpieza para componentes eléctricos...
<u>Otros</u> <ul style="list-style-type: none">- Oxígeno- Hidrógeno		<ul style="list-style-type: none">- Detectores de oxígeno- Detectores de oxígeno para el mantenimiento de transformadores, baterías, etc.
<u>Detectores de fuego</u>	- Alarmas de fuego	- Sistemas de detección de fuego

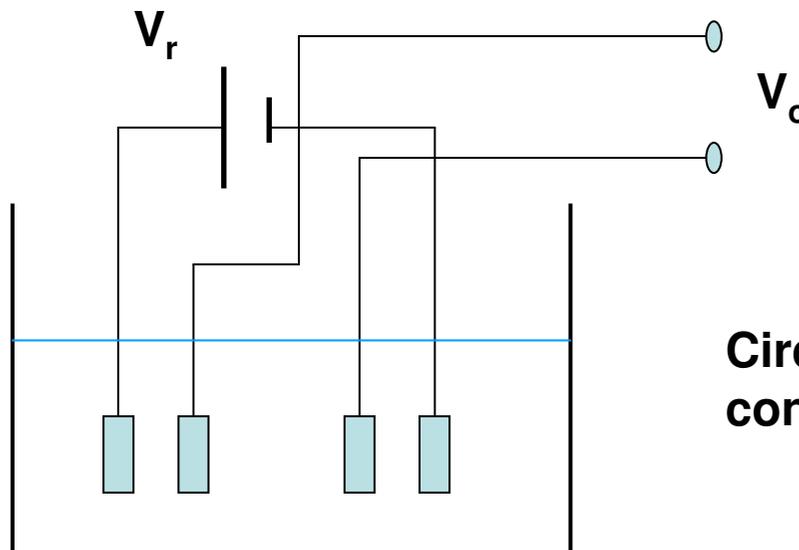
Aplicaciones de los sensores resistivos de SnO₂



SENSORES DE CONDUCTIVIDAD DE LÍQUIDOS

Elementos sensores que utilizan la variación de conductividad de un electrolito en función de la concentración de iones en él. No es un método específico para detectar un tipo determinado de electrolito.

La conductividad del agua pura a 25 °C es $\sigma = 0,038 \mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que la conductividad de algunas soluciones alcanza 1 S/cm.



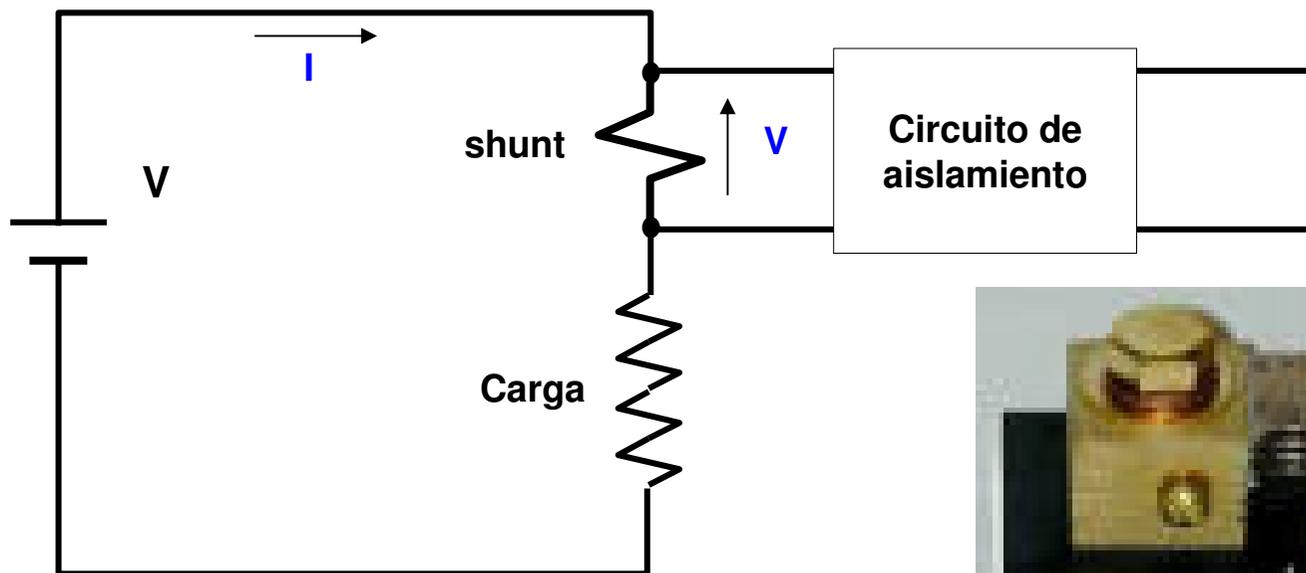
Circuito básico de medida de la conductividad



SENSORES RESISTIVOS DE INTENSIDAD (SHUNT)

El método más sencillo para obtener una señal proporcional a la intensidad de corriente es una **resistencia en serie (shunt)**.

La resistencia es óhmica pura y por ello la tensión en sus bornes es proporcional a la corriente que circula por ella.





SENSORES RESISTIVOS DE INTENSIDAD (SHUNT)

Consideraciones importantes

-Al insertar una resistencia en el circuito, **la corriente disminuye** (se introduce un error). Para minimizar este error la resistencia debe tener **un valor muy bajo** próximo a los 0 ohmios.

Por otra parte, un valor excesivamente bajo **no proporciona una tensión fácilmente medible**.

En la práctica se llega a un compromiso entre ambas exigencias.

Se fabrican principalmente de cobre recocido.

Comercialmente se fabrican resistencias para medida de corrientes **desde 1 A hasta 6000 A** con una caída de tensión de **60 a 150 mV**.



SENSORES RESISTIVOS DE INTENSIDAD (SHUNT)

- Se utilizan para todo tipo de corrientes: alterna, continua, impulsos, etc.
- Cuando el circuito trabaja con tensiones elevadas es necesario realizar **aislamiento eléctrico** entre la resistencia y el circuito en el que se realiza la medida.
- Cuando la corriente es alterna se puede emplear un **transformador de aislamiento**.
- Otra desventaja es el **excesivo peso y tamaño** de la resistencia a altas intensidades. El peso puede alcanzar los 15 kg para una intensidad de 6000 A.

