

# **TEMA 11:**

# **COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CONTROL.**

- \*Componentes de un sistema de control.**
- \*Tipos de señales. Transductores.**
- \*Transductores de posición.**
- \*Transductores de desplazamiento.**
- \*Transductores de velocidad.**
- \*Transductores de presión.**
- \*Transductores de temperatura.**
- \*Transductores de luz.**
- \*Detectores de error o comparadores.**
- \*Elementos finales o actuadores.**
- \*El amplificador operacional.**

# Componentes de un sistema de control

- **Sistema de control.** Conjunto o combinación de componentes que actúan juntos para realizar el control.  
Además de la planta o el proceso que se vaya a controlar, son componentes o partes del sistema de control:
  - **Mandos de entrada.** Como el selector de la temperatura de una vivienda, que permiten fijar el valor deseado de una variable.
  - **Captadores.** Como la boya detectora del nivel en una cisterna de baño, que miden el valor real alcanzado por una variable.
  - **Comparadores.** Calculan la diferencia entre dichos valores.
  - **Amplificadores y actuadores.** Multiplican la señal de salida del comparador de modo suficiente para actuar con potencia elevada sobre el sistema o proceso a controlar.

En la unidad anterior se abordó el estudio de los controladores o reguladores, que, siendo los elementos más importantes de un sistema de control, para cumplir su misión precisan de señales eléctricas con las que poder operar. Dichas señales son facilitadas por los transductores, los captadores y los detectores de error o comparadores.

Las señales que emiten los controladores deben llegar a los elementos de trabajo o actuadores. Ello puede hacerse, en ocasiones, de forma directa o, preferiblemente, de forma indirecta, ya que la potencia de la señal e incluso su naturaleza pueden no ser las adecuadas (la señal suele ser eléctrica y el actuador puede ser neumático). Los actuadores eléctricos (motores), los neumáticos y los oleohidráulicos los vimos ya en unidades anteriores.

La señal de control puede ser de tantos tipos como fuentes de energía conocemos (luminosa, sonora, eléctrica, neumática, etc.), pero en esta unidad solamente utilizaremos las de tipo eléctrico (en dos variantes: tensión o intensidad) ya que, junto con las neumáticas, son las que mejor se adaptan a los entornos industriales para transportar la información; además, cabe destacar el auge reciente de las señales de tipo luminoso, gracias al desarrollo de la fibra óptica. Será preciso, por tanto, utilizar algún sistema que permita transformar las magnitudes anteriormente comentadas en otras de tipo eléctrico, y viceversa.

# A

## Tipos de señales

# Tipos de señales. Transductores

**Señal analógica.** La magnitud observada presenta una evolución continua en el margen de funcionamiento. Es decir, entre dos valores cualesquiera siempre se pueden encontrar los que se deseen.

**Señal digital.** Entre dos valores no hay intermedios: se salta directamente de uno a otro. En caso de que sólo admita dos estados posibles (abierto-cerrado, marcha-paro, alto-bajo, 0-1, etc.), se llama señal binaria.

La Figura 11.1 muestra las señales anteriores aplicadas a un autoclave que debe esterilizar material quirúrgico. Tanto el sistema analógico como el digital muestran

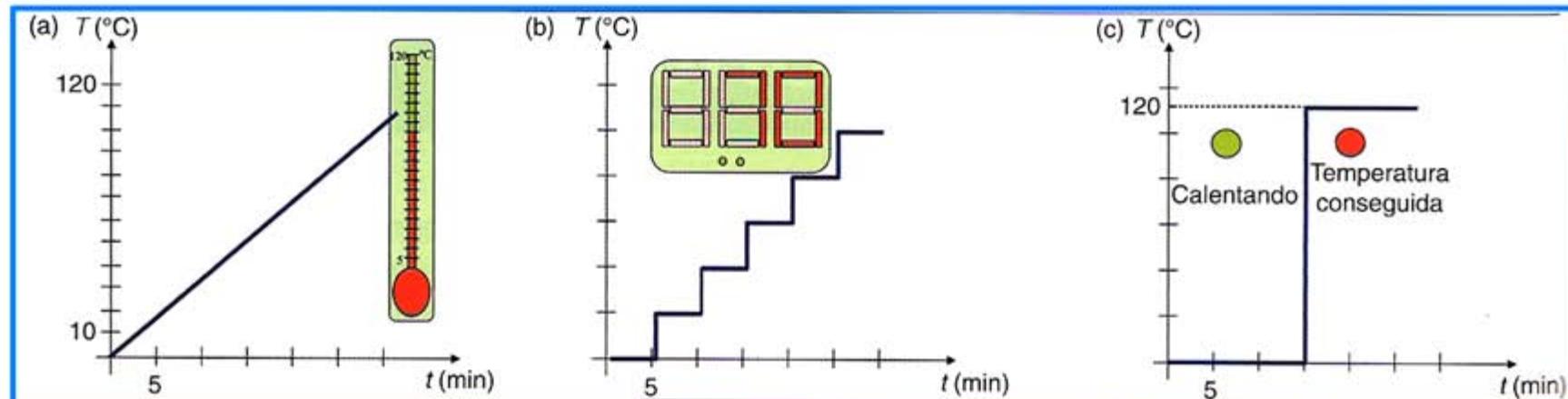


Fig. 11.1. Tipos de señales: (a) señal analógica; (b) señal digital; (c) señal digital binaria.

la indicación de la temperatura, y el digital binario indica con una luz la llegada a la temperatura del final del proceso. En todos los casos, las señales portadoras de la información se han graficado en función del tiempo.

En la automatización es preciso disponer de elementos que midan adecuadamente las magnitudes físicas de interés. Por ejemplo, el nivel del llenado de un depósito o la velocidad de un motor, para controlar estas magnitudes en todo instante. Por ello, es preciso utilizar elementos que sean capaces de traducir la magnitud de referencia a otro tipo de magnitud que permita su utilización de forma más conveniente para conseguir controlar el proceso.

## Tipos de señales. Transductores

### B

#### Sensor, transductor, captador

**Sensor.** Es el elemento que se encuentra en contacto directo con la magnitud que se va a evaluar.

**Transductor.** Transforma la señal que sale del sensor en otra de tipo eléctrico que se puede utilizar para medir. El transductor incluye el sensor como una parte de él.

**Captador.** Es un transductor en el que la señal de salida no es de tipo eléctrico. También incluye al sensor.

**Transmisor.** Es la circuitería que transforma la señal que sale del sensor, transductor o captador y la convierte en señal normalizada.

Nosotros emplearemos los términos *sensor, transductor y captador* como sinónimos. La Figura 11.2 muestra las analogías y las diferencias de estos vocablos en un caso real.

# C

## Tratamiento de la señal

# Tipos de señales. Transductores

Al final, se trata de que el circuito transmisor presente una salida para el fin previsto. En el ejemplo de la Figura 11.2 se muestra un dispositivo que emite una señal binaria (Fig. 11.3). En el eje OX están marcadas las temperaturas y en el eje OY, la tensión de salida. Por debajo de la temperatura umbral no hay salida (salida cero) y por encima de esta temperatura la salida es de 24 V. No hay estados intermedios; la señal solamente puede asumir dos valores: se trata de la señal binaria que, como se ha comentado al principio, es un tipo de señal digital.

Horno eléctrico

Transductor

24 V

Captador

A

Sensor

Transistor

**Horno eléctrico**

Se trata de controlar manualmente un horno eléctrico cuando se supera una determina temperatura.

El **sensor** en contacto directo con la atmósfera (calor) del horno está formado por dos metales de diferente coeficiente de dilatación. Al aumentar la temperatura, cada lámina se dilata de diferente manera, con lo cual el conjunto de las dos láminas se deforma tocando en un punto (A) a modo de interruptor mecánico.

El **captador** es el conjunto del sensor y su segundo contacto (el fabricante suministrará una caja o elemento con dos cables,

esa caja es el captador y en su interior contiene el sensor). Como no da una salida eléctrica, no se denomina transductor.

El **transmisor** es el conjunto de la batería y los cables que llevan la electricidad a un nivel normalizado (por ejemplo, 24 V, que son utilizables en un autómata o directamente en una lámpara).

En este caso, se tiene también un **transductor**, que es la lámpara que transforma la señal eléctrica normalizada del transmisor a señal lumínica en la bombilla. El **regulador** es el observador que al detectar la lámpara encendida decidirá si apaga o no el horno.

Fig. 11.2. Control de un horno eléctrico.

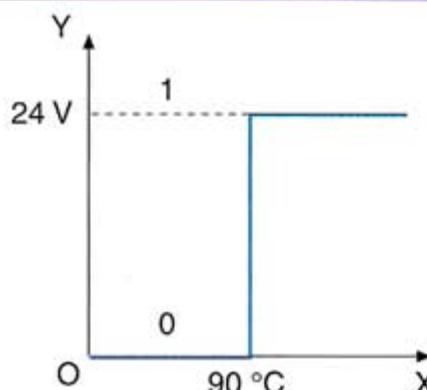


Fig. 11.3. Señal binaria del ejemplo de la Figura 11.2.  
Contacto cerrado; pasa corriente; nivel alto (1 lógico); lámpara encendida.  
Contacto abierto; no pasa corriente; nivel bajo (0 lógico), lámpara apagada.

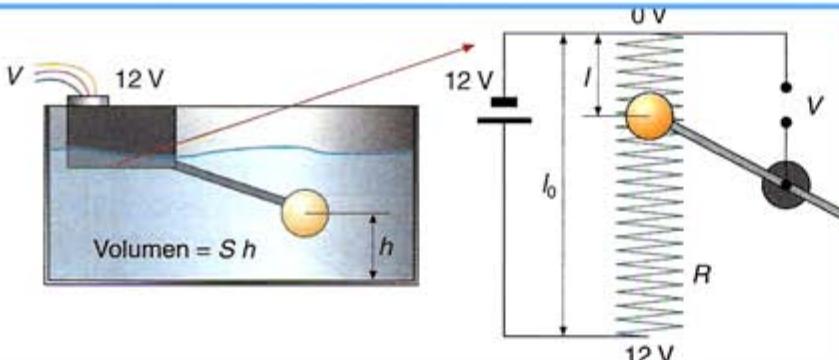
La Figura 11.4 muestra otro tipo de sensor. En este caso el nivel del depósito es registrado por una boyas (elemento que emite una señal mecánica, la altura o la posición respecto del nivel inferior del depósito), pero la boyas se encuentra solidaria a una resistencia eléctrica variable (reóstato). La diferencia de potencial que da el circuito de salida presenta una gráfica como la de la Figura 11.5.

En este caso, la propiedad específica que se desea medir es el volumen de líquido que contiene el depósito. Para ello, el volumen se hace corresponder con la altura (si el depósito es de sección constante, no es problema, pues el volumen es el área de la sección recta por la altura). Esa altura se transmite por un sistema de palanca a un reóstato (hilo de micrón arrollado) de forma que dicho reóstato está alimentado por una tensión constante de 12 V. Para evitar el calentamiento, se procura limitar la intensidad que circula con un adecuado valor de la resistencia total del reóstato. Cuando la posición del cursor está cerca del cable de 12 V, la tensión  $V$  será de este valor; cuando esté próxima al de 0 V, la tensión será 0 V, con lo que hemos conseguido un transductor de volumen a tensión. La tensión se puede medir con un voltímetro que se gradúa en unidades de volumen, y es posible procesarla para abrir o cerrar bombas o compuertas en función del volumen del depósito.

Dada la similitud, analogía o correspondencia entre la magnitud que se desea medir (volumen del líquido que contiene el depósito) y la magnitud de la señal que da el transductor, a esta última se le denomina señal analógica y se caracteriza porque entre dos estados cualesquiera que se elijan se pueden encontrar otros infinitos estados (al menos en teoría).

La señal de salida  $V$  se muestra en la Figura 11.5 en función del volumen. Es decir, la forma de la señal de salida es una recta de una pendiente determinada. Esta pendiente, en el ejemplo, toma el valor:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{12 \text{ voltios}}{60 \text{ litros}} = \frac{1}{5} \frac{\text{V}}{\text{l}} = 0,2 \frac{\text{V}}{\text{l}}$$



## C Tratamiento de la señal

### Tipos de señales. Transductores

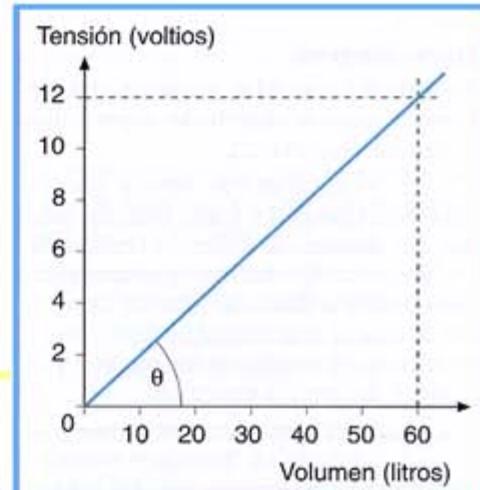


Fig. 11.5. Señal analógica lineal.

Fig. 11.4. Sensor de nivel para un depósito. La resistencia  $R$  está sometida una tensión de 12 V correspondiente a la que proporciona la batería. Por la resistencia  $R$  pasará una intensidad  $I = \frac{12}{R}$ . El cursor se acerca o aleja de la referencia de 0 V, de forma que, como la resistencia es proporcional a la longitud, cuando estemos a una distancia  $l$ , la caída de tensión  $V$  será  $V = \frac{1}{l_0} \cdot 12$ .

## Tipos de señales. Transductores

Utilizando un cable (bit)

Intervalo tensión	Señal
0-5	0
5, 1-12	1

Tabla 11.1. Intervalos de tensión para una señal de un bit.

Utilizando dos cables (dos bits)

Intervalo tensión	Señal 1	Señal 2
0-3	0	0
3, 1-6	0	1
6, 1-9	1	0
9, 1-12	1	1

Tabla 11.2. Intervalos de tensión para una señal de dos bits.

### C Tratamiento de la señal

La señal lineal analógica obtenida anteriormente con frecuencia debe ser procesada por sistemas que solamente pueden evaluar señales binarias o digitales. En estos casos se debe realizar una conversión en intervalos. Así, los 12 V se pueden transformar de acuerdo con las Tablas 11.1 y 11.2 según el número de cables o portadores de señal que empleemos.

A medida que aumenta el número de portadores de información colocados en paralelo, dividimos el intervalo de medición en más trozos y, por tanto, mayor será la precisión. El número de combinaciones posibles en las tablas es de  $2^n$ , donde  $n$  es el número de señales empleadas. Cada una de estas señales se denomina **bit** (dígitos del sistema binario, que estudiaremos más a fondo en la unidad siguiente) y pueden significar encendido o apagado, hay tensión o no, pasa o no-pasa. Los niveles de señal son variables, pero son habituales 0 V (cero lógico) y 5 V (1 lógico).

Si la información se transmite con **ocho señales binarias**, se denomina **byte** o **palabra**. En nuestro ejemplo, si empleamos un sistema que disponga de 8 bit, los 12 V los repartiremos en  $2^8 = 256$  intervalos c que van de 0 a 255) de  $12/256 \approx 0,047$  V.

# C

## Tratamiento de la señal

# Tipos de señales. Transductores

En el mercado existen circuitos integrados en los que su entrada se alimenta con una tensión analógica y en la salida disponen de una serie de conexiones que son los bits

correspondientes (Fig. 11.6). Estos integrados precisan, además de la alimentación, de una entrada de reloj para realizar el muestreo de la señal analógica y la correspondiente conversión en el momento oportuno o con la frecuencia deseada. Esta velocidad de conversión es una de sus características más importantes, que está en torno a los microsegundos.

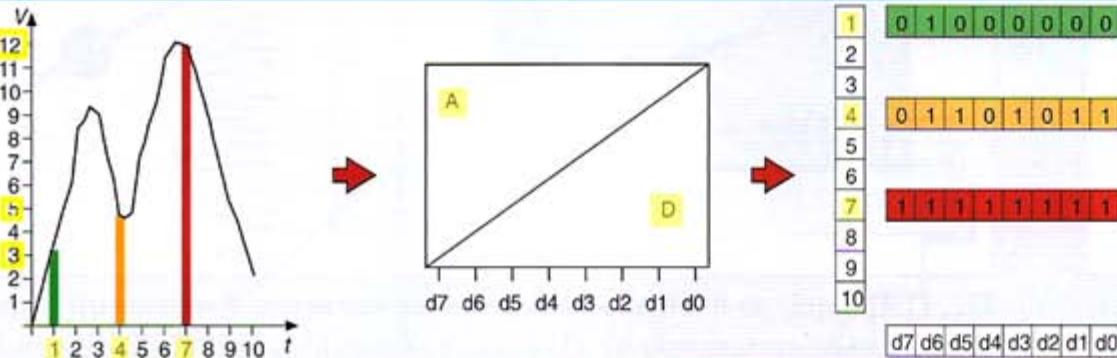


Fig. 11.6. Conversión de una señal analógica a digital. Se han elegido los muestreos para  $t = 1$ ,  $t = 4$  y  $t = 7$ . La salida digital está sobre la base de que  $12 \Rightarrow 256$ , luego  $3 \Rightarrow 256/4$  y  $5 \Rightarrow 256 \cdot 5/12$ .

Por último, hay que comentar que las señales que suelen facilitar los sensores no son lo bastante amplias como para poder trabajar con ellas. Los milivoltios de tensión que dan o los miliamperios se deben amplificar. La Figura 11.7 muestra el esquema.

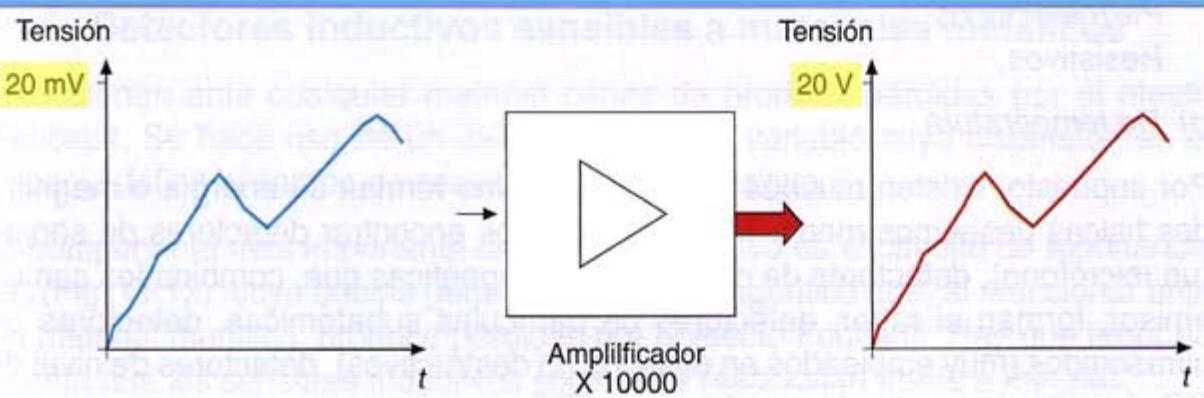


Fig. 11.7. Amplificación de la señal. El amplificador no altera la señal con el tiempo, solamente multiplica el valor de salida del sensor por un factor de ampliación.

# Tipos de señales. Transductores

D

## Propiedades de los sensores

Vamos a citar unas propiedades de los sensores que determinan su calidad:

**Rango de medida.** Es la diferencia entre los máximos y los mínimos valores entre los que se necesita medir. Se recomienda no utilizar un transductor para medidas por debajo de 1/10 del máximo valor que puede medir (por ejemplo, si un captador de presión llega a medir un máximo de 1000 Pa, no se debería emplear para medir menos de 100 Pa), a esto se le denomina *valor de fondo de la escala*.

**Sensibilidad.** Es la pendiente de la curva que relaciona la salida eléctrica con la magnitud física a medir (Fig. 11.8). En el ejemplo de la Figura 11.5, resultó ser de 0,2 V/l.

**Resolución.** Es la variación de señal detectable más débil.

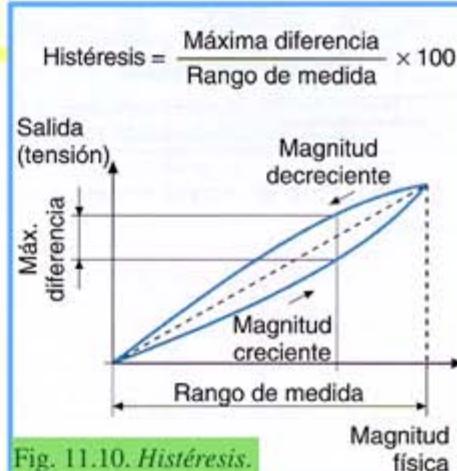
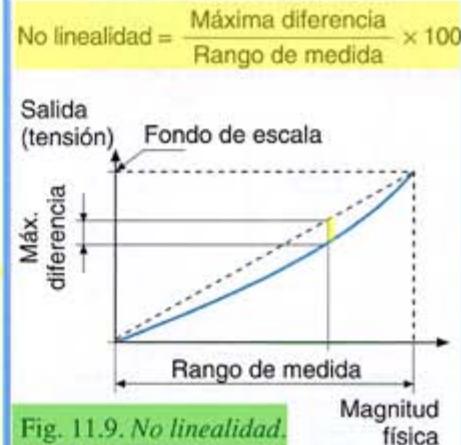
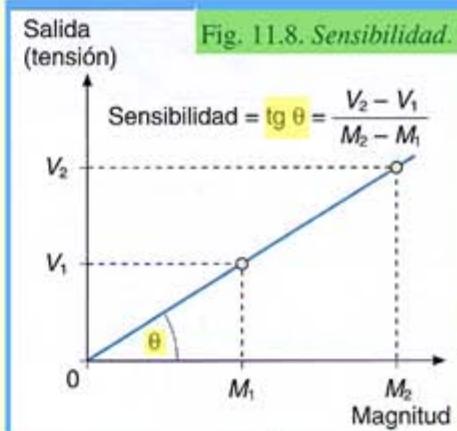
**No linealidad.** Es la distancia mayor entre la curva de funcionamiento del sensor (en dirección ascendente) y la recta del punto inicial al final de funcionamiento (Fig. 11.9).

**Histéresis.** En ocasiones, los caminos que sigue la gráfica que relaciona la magnitud a medir con la señal eléctrica de salida no tienen el mismo comportamiento en el proceso de aumento de la perturbación y de disminución. La Figura 11.10 ilustra el concepto.

$$\text{Histéresis} = \frac{\text{Máxima diferencia}}{\text{Rango de medida}} \times 100$$

**Repetibilidad.** Cuando se realiza la medida varias veces, la gráfica que relaciona la magnitud a medir con la salida eléctrica no siempre pasa por el mismo lugar. La máxima diferencia será el valor absoluto de la repetibilidad.

$$\text{Repetibilidad} = \frac{\text{Máxima diferencia}}{\text{Rango de medida}} \times 100$$



# Tipos de señales. Transductores

## D

### Propiedades de los sensores

- **Display.** Terminal de salida capaz de editar los resultados de algún medio físico.

Una vez establecidas las diferencias y las similitudes que existen entre captadores, sensores y transductores (aunque vamos a emplear estos términos indistintamente), los tipos de señales que emiten y que podemos procesar en un sistema de control, vamos a pasar al estudio de las **características de los transductores** más usuales. Éstos se clasifican en función de la naturaleza de la magnitud de entrada que deben captar, siendo en todos ellos la señal de salida de tipo eléctrico:

a) **De posición/desplazamiento:**

- Finales de carrera mecánicos.
- Detectores de proximidad, inductivos y capacitivos, ópticos.
- Detectores lineales.
- Detectores angulares.

b) **De velocidad:**

- Tacómetros.
- Ópticos.

c) **De presión/fuerza:**

- Piezoeléctricos.
- Resistivos.

d) **De temperatura.**

Por supuesto, existen muchos más, tantos como formas de energía o magnitudes físicas deseemos medir. También podemos encontrar **detectores de sonido** (un micrófono), **detectores de ondas electromagnéticas** que, combinados con un emisor, forman el radar, **detectores de partículas subatómicas**, **detectores de ultrasonidos** (muy empleados en ensayos no destructivos), **detectores de nivel de CO<sub>2</sub>** (empleados en las inspecciones de ITV) y muchos más.

## Transductores de posición

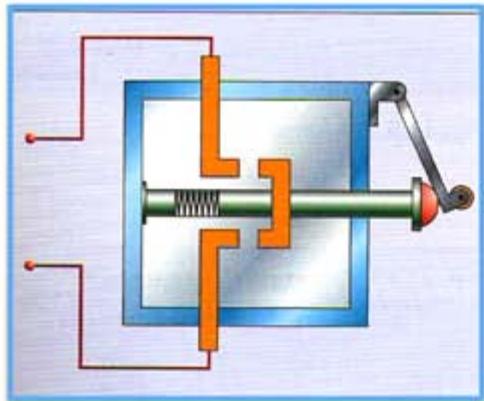


Fig. 11.11. Final de carrera mecánico de palanca.

### A Finales de carrera mecánicos

Son interruptores que sirven para detectar la posición de una determinada pieza, de un móvil, etc. Cuando éste alcanza el extremo de su carrera, actúan mecánicamente sobre una palanca, émbolo o varilla, produciendo el cambio de unos pequeños contactos internos.

Según sea el elemento actuador del transductor se dividen en:

- Final de carrera de palanca (Fig. 11.11).
- Final de carrera de émbolo.
- Final de carrera de varilla.

### B Sensores de proximidad inductivos

No precisan del contacto físico. Utilizan un campo magnético para reaccionar frente a un objeto que se desea detectar.

Se clasifican en función de los distintos materiales ante los que son capaces de reaccionar.

- **Émbolo:** Pieza que se mueve alternativamente en el interior de otra.
- **Palanca:** Barra rígida que se apoya, puede girar sobre un punto y sirve para transmitir una fuerza.
- **Varilla:** Barra larga y delgada.

### C Detectores inductivos sensibles a materiales ferromagnéticos

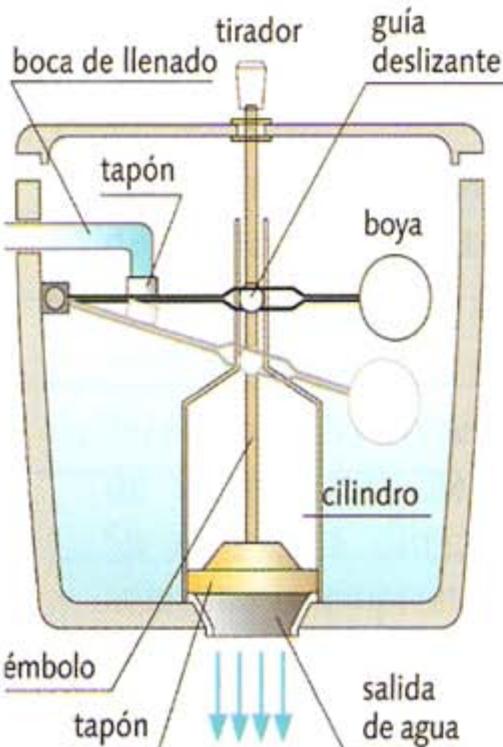
Se hace uso de un campo magnético estático que es modificado por la presencia del material ferromagnético a detectar. Están más próximos a los finales de carrera mecánicos, pues no precisan de alimentación eléctrica. Se utilizan cuando son precisas muchas actuaciones, o no hay sitio para los de tipo mecánico o las influencias ambientales (polvo, humedad) pueden dificultar el funcionamiento de los de contacto mecánico. Tienen el inconveniente de no poderse usar allí donde se prevea que pueden aparecer campos magnéticos (máquinas de soldadura, motores, transformadores).

#### Sabías que...

Los captadores y los transductores tienen que cumplir una serie de normas. Por ejemplo, la norma europea EN50044 define el color de los hilos del captador.

## Sensor tipo flotador

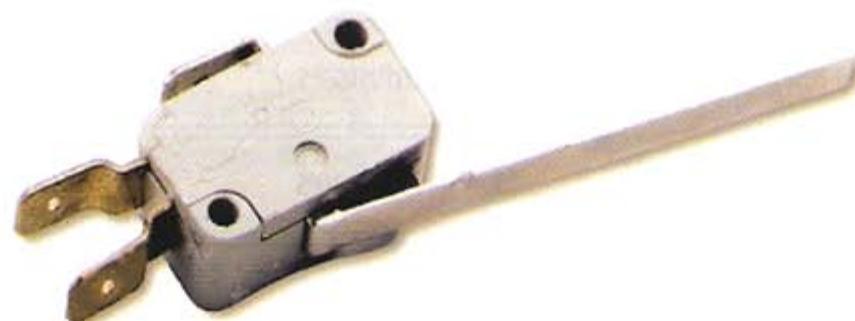
Para detectar el nivel de líquidos se usan habitualmente **sensores tipo flotador** como el utilizado en el sistema de **llenado automático** de la cisterna del inodoro.



# Transductores de posición

## ■ INTERRUPTORES MECÁNICOS ■

Se produce la **detección del objeto** por contacto de este con el interruptor. Los más usados son los interruptores de final de carrera, formados por una **lámina** sobre la que choca el objeto y que activa el interruptor.



Interruptor de final de carrera.



# Transductores de posición

## ■ INTERRUPTORES de PROXIMIDAD MAGNÉTICOS ■

Están formados por dos láminas metálicas imantadas que modifican su posición cuando aproximamos un imán.



Interruptor de proximidad magnético.

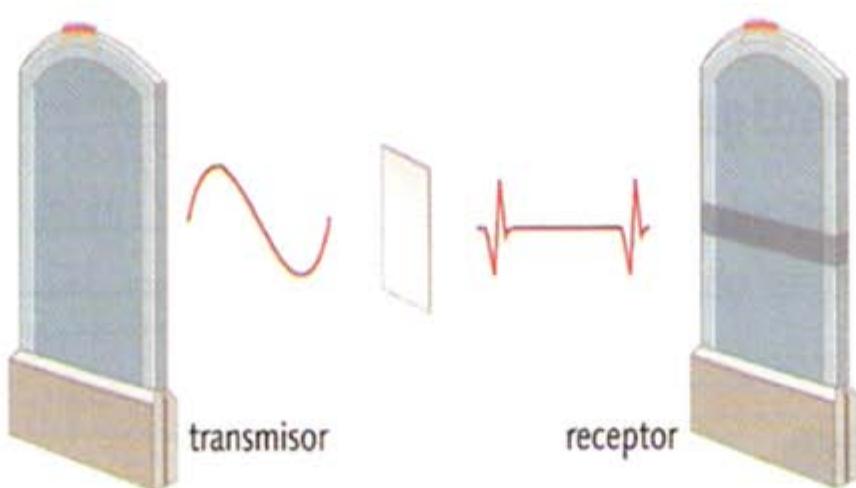
Se usan para determinar la posición de objetos, por ejemplo en la apertura de puertas y ventanas.

Sistema de alarma mediante interruptor de proximidad magnético.

# Transductores de posición

## ■ SENSORES de OBJETOS METÁLICOS ■

Dependiendo de las características del objeto que hay que detectar, se emplean otros tipos de detectores. Por ejemplo, la determinación de la posición de **objetos metálicos** puede basarse en las **propiedades magnéticas** de estos; así, en un sistema antihurto de un supermercado, la presencia de un determinado **material** modifica la señal que llega al receptor:



# D

## Detectores inductivos sensibles a materiales metálicos

Reaccionan ante cualquier material capaz de producir pérdidas por el efecto Foucault. Se hace uso de un campo magnético variable cuya dispersión en el espacio define el campo de sensibilidad del dispositivo.

El componente más importante del sensor inductor es el circuito de resonancia LC (Fig. 11.12), cuya bobina genera un campo magnético que, al reaccionar ante un material metálico, produce pérdidas por el efecto Foucault. Hay que tener en cuenta que los sensores inductivos solamente reaccionan frente a metales.

Los sensores inductivos de proximidad permiten detectar objetos metálicos a una distancia máxima de 40 mm.

Estos sensores se pueden montar total o parcialmente empotrados, como puede verse en la Figura 11.13.

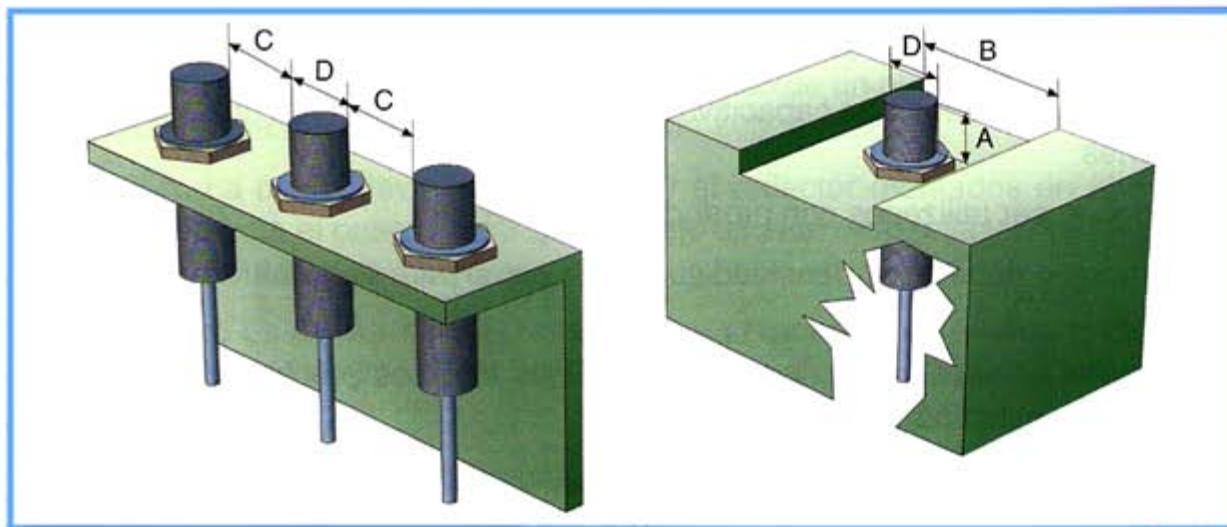


Fig. 11.13. Sensores inductivos total y parcialmente enrasados, con indicación de medidas mínimas para evitar interferencias.

## Transductores de posición



Fig. 11.12. Sensor inductivo y, arriba, esquema de bloques.

# D

## Detectores inductivos sensibles a materiales metálicos

## Transductores de posición

Existen versiones para corriente alterna y continua, dando el fabricante los datos precisos de conexionado (Fig. 11.14).

En la Tabla 11.3 aparecen algunas características de varios sensores de proximidad.

Distancia de reacción $d_0$	2 mm $\pm$ 10 %	8 mm $\pm$ 10 %	10 mm $\pm$ 10 %
Campo de temperaturas	-25 a 70 °C	-25 a 70 °C	-25 a 70 °C
Campo de tensiones	10 a 30 V	10 a 30 V	10 a 30 V
Corriente en vacío	10 mA (24 V)	10 mA (24 V)	10 mA (24 V)
Corriente de carga máxima	400 mA	400 mA	400 mA
Histéresis	15 % de $d_0$	15 % de $d_0$	15 % de $d_0$
Repetibilidad	$\pm$ 0,01 mm	$\pm$ 0,01 mm	$\pm$ 0,01 mm
Montaje	Enrasado	No enrasado	Enrasado
Frecuencia de conexiones	Máx. 2 kHz	Máx. 1 kHz	Máx. 300 kHz
Protección	IP67	IP67	IP67
Empalme	3 m de cable 3 $\times$ 0,34 mm <sup>2</sup> + marrón - azul A negro	3 m de cable 3 $\times$ 0,34 mm <sup>2</sup> + marrón - azul A negro	3 m de cable 3 $\times$ 0,34 mm <sup>2</sup> + marrón - azul A negro

Tabla 11.3. Algunas características de sensores inductivos.

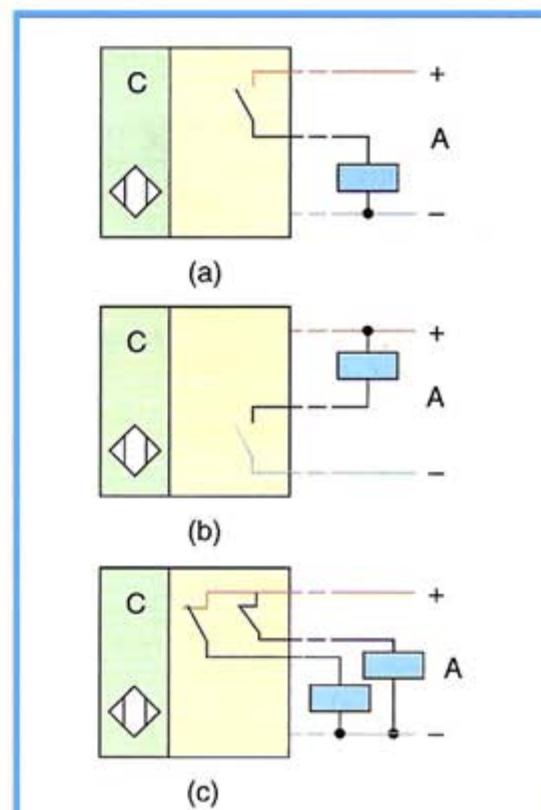


Fig. 11.14. Conexionado de sensores inductivos de corriente continua. a) Normalmente abierto. b) Normalmente cerrado. c) Normalmente abierto, conmutación en negativo.

## Transductores de posición

## E Sensores de proximidad capacitivos

Utilizan un campo eléctrico como fenómeno físico aprovechable para reaccionar frente al objeto a detectar.

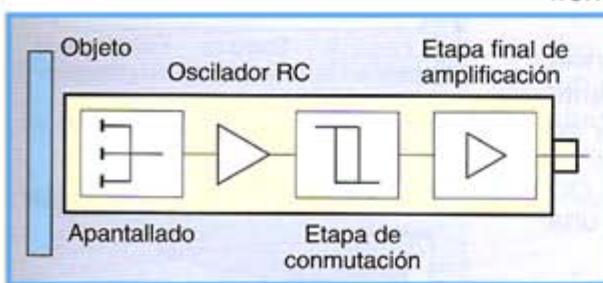


Fig. 11.15. Esquema de bloques de un sensor capacitivo.

Distancia de reacción $d_0$	15 mm
Tensiones de alimentación	24 V = ± 15 %
Corriente de temperaturas	15 mA
Campo de temperaturas	0 a 60 °C
Corriente de carga máxima	200 mA
Frecuencia de conexiones	Máx. 100 Hz
Protección	IP67

**Tabla 11.4. Constantes de proporcionalidad, para la determinación de cargas a aplicar en el ensayo de Brinell**

El electrodo sensor (Fig. 11.15), en forma de disco, junto a una pantalla forman el condensador de un oscilador RC. El oscilador RC está atenuado para que no se presente vibración inicial. La aproximación de un objeto hacia los electrodos del condensador hace aumentar la capacidad, esto hace que el oscilador empiece a vibrar. La tensión de salida se convierte en una señal de comutación.

Esta clase de sensores permiten detectar diferentes productos a una distancia de 40 mm (se deben consultar las especificaciones de cada fabricante), como por ejemplo:

- Líquidos conductores y no conductores.
  - Objetos metálicos.
  - Sustancias en polvo o en grano (harina, trigo, avena, grava, etc.).

En el empleo de sensores capacitivos deben tenerse en cuenta una serie de precauciones:

- No deben ser utilizados con productos adhesivos.
  - El producto debe tener densidad suficiente como para perturbar el oscilador del sensor.

La Tabla 11.4 enumera algunas características técnicas precisas para elegir un captador de este tipo.

En la Figura 11.16 pueden observarse, al igual que en el caso de los inductivos, algunas formas de conexión.

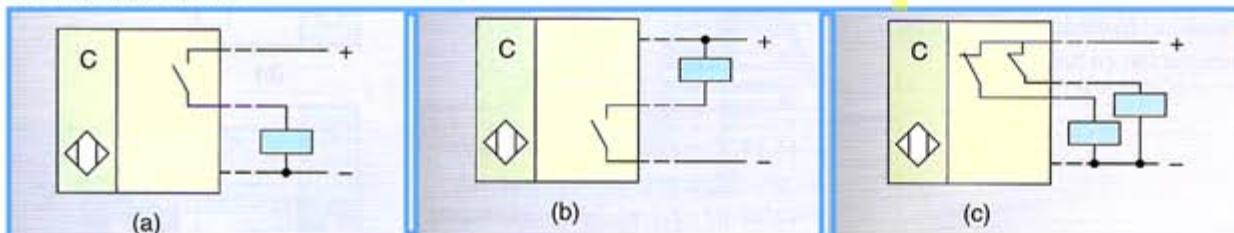


Fig. 11.16. Conexionado de sensores capacitivos: a) normalmente abierto; b) normalmente con comutación en negativo, c) normalmente cerrado y normalmente abierto, serán precisos cuatro cables.

# Transductores de posición

## ■ SENSORES de OBJETOS NO METÁLICOS ■

Para detectar la presencia de otros materiales como madera, papel o líquidos se pueden emplear detectores capacitivos, formados por un condensador cuya capacidad se altera en presencia de estos.

Se usan en sistemas de llenado automático de botellas, cortes de piezas de madera, empaquetado de folios, etcétera.



Muchas pantallas táctiles se basan en detectores capacitivos.

## Transductores de posición

### F

## Sensores ópticos

En este caso no se ha incluido la palabra proximidad, pues los hay para distancias grandes y pequeñas (inferiores a 200 mm), en cuyo caso sí serían sensores de proximidad ópticos.

Los sensores de proximidad ópticos permiten detectar todo tipo de objetos y productos, tanto sólidos como líquidos. Se clasifican en dos grupos:

- a) Sensores ópticos directos.
- b) Sensores ópticos con fibras ópticas acopladas.

En ambos casos, la luz es modulada por infrarrojos y, por tanto, es insensible a las luces parásitas. La detección se realiza por reflexión, al devolver el objeto la luz recibida, o por barrera. En el primer caso el emisor de luz y el receptor están en el mismo cuerpo; en el segundo, en diferente (Fig. 11.17). La fibra óptica permite realizar una detección puntual.

- A la hora de utilizar un detector óptico habrá que tener en cuenta que:
  - Ambientes con mucho polvo pueden perturbar el buen funcionamiento.
  - La distancia de detección, en el caso de los de reflexión, podrá variar según el color y el grado de brillo del producto.
  - Estos sensores pueden reemplazar a los inductivos y capacitivos cuando se deseen distancias de detección mayores.

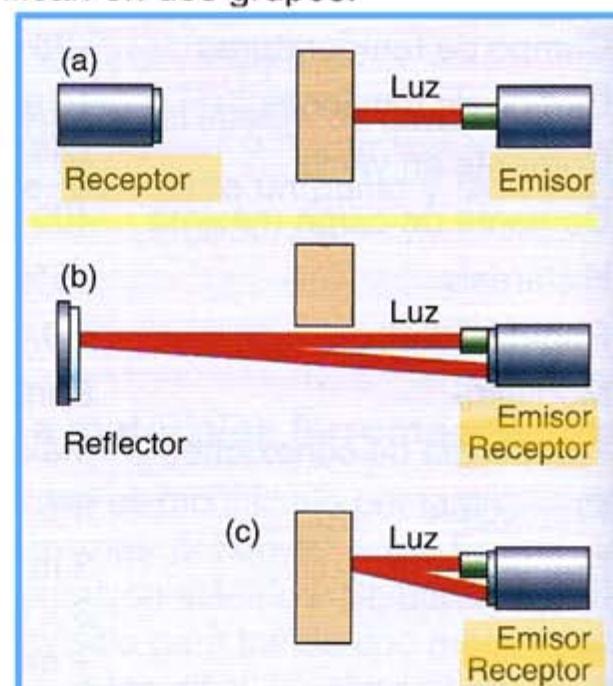


Fig. 11.17. Captadores ópticos: a) de barrera; b) de reflexión; c) de reflexión directa (refleja el elemento que detectar).

# Transductores de posición

## F Sensores ópticos

Para distancias superiores se utilizan las células fotoeléctricas.

Las **células fotoeléctricas** funcionan también por **infrarrojos** y permiten detectar todo tipo de objetos, productos, móviles o personas:

- Paso de vehículos.
- Paquetes, cajas, etc., en cintas transportadoras.
- Piezas de maquinarias.
- Nivel de líquidos y sólidos.
- Paso de personas.

Los tres sistemas principales de detección en las células son:

- **Barrera.** La célula está compuesta por dos módulos, un **emisor** y un **receptor**, colocados **uno frente al otro** para detectar el paso de un objeto entre dos módulos. La distancia máxima de detección es de **200 m**.
- **Reflexión.** La célula lleva el **transmisor y el reflector montados en el mismo módulo** y detecta el paso de cualquier objeto situado entre ella y el receptor. La distancia máxima es de **10 m**.
- **Proximidad.** La célula lleva el **transmisor y el receptor en el mismo módulo**, y percibe el paso de cualquier objeto próximo a ella. La distancia máxima es de **15 m**.

La **Figura 11.18** representa dos ejemplos de utilización de estos captadores de barrera, en un caso para **medir niveles** y en otro, como **protección de un área de trabajo**.

### • Luz infrarroja

Luz emitida por un **diodo led** que tiene la longitud de onda de los **infrarrojos**, es decir, más allá del rojo visible.

### • Ultrasonido

Sonido cuya frecuencia de vibraciones es superior al límite perceptible por el oído humano.

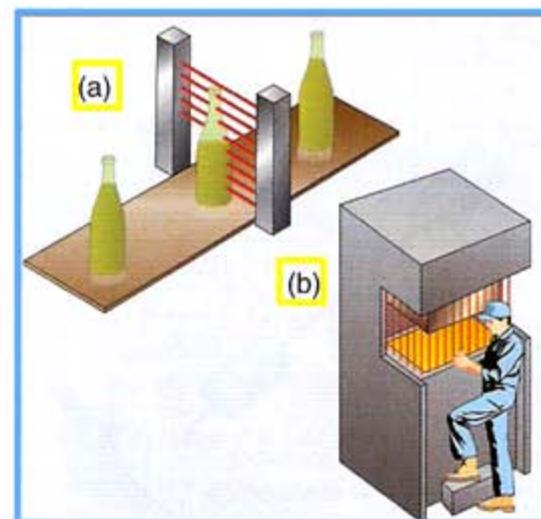
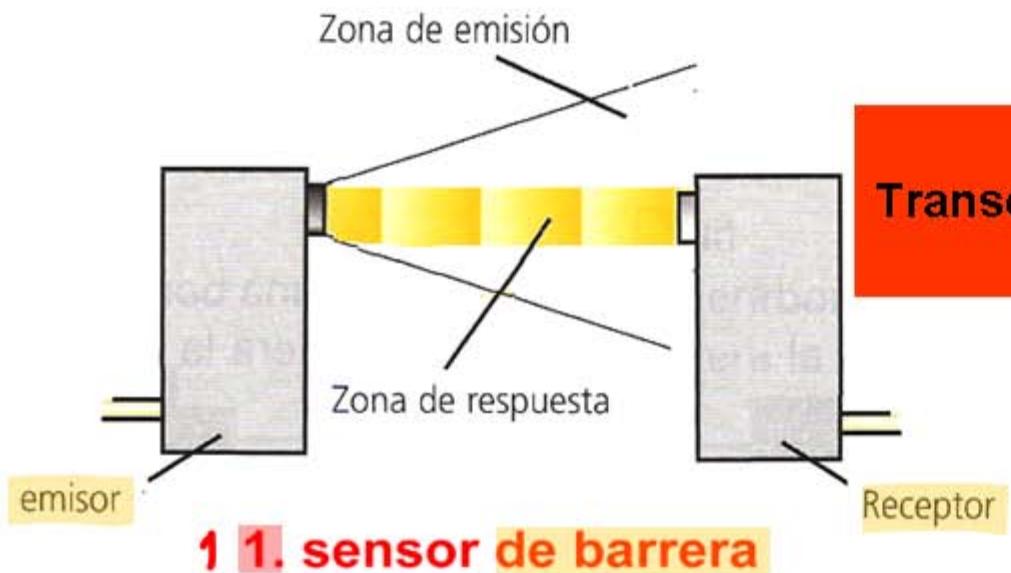


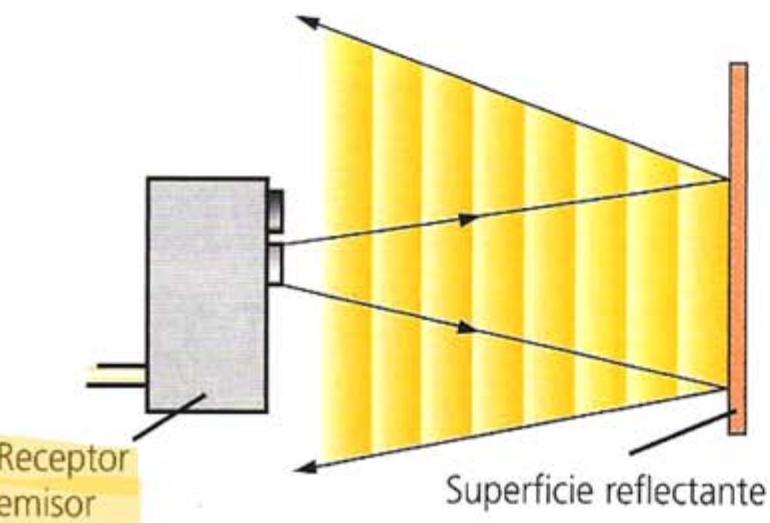
Fig. 11.18. Ejemplo de utilización de sensores ópticos. a) Para evaluar la altura de líquido en las botellas. b) Como barrera de protección para evitar el acceso a zonas de peligro; al invadir la barrera se desconecta la máquina.

# ópticos de posición

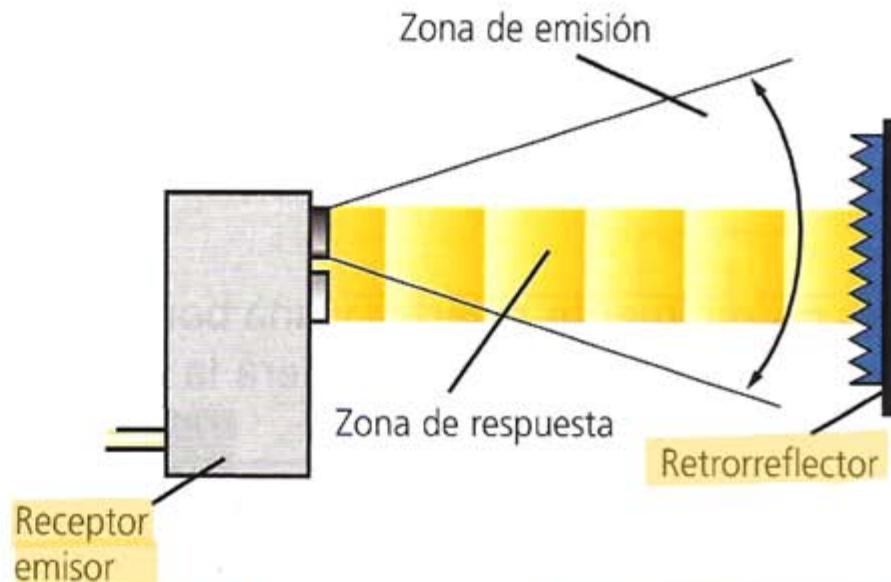
## TIPOS:



1 1. sensor de barrera



2 2. sensor de reflexión directa



3 3. sensor de retrorreflexión

# ■ SENSORES ÓPTICOS ■



La detección de objetos se basa en emitir un rayo de luz y comprobar si alcanza al receptor. Como **emisor** suele utilizarse un diodo LED de radiación infrarroja para evitar interferencias con la luz visible. La **detección de la intensidad luminosa** puede realizarse mediante **LDR, fotodiódos o fototransistores**:

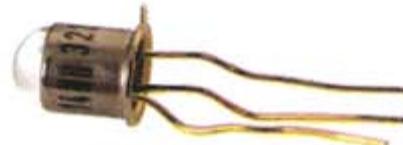
- 1- **LDR.** Resistencias que modifican su valor en función de la intensidad luminosa que incide sobre ellas.



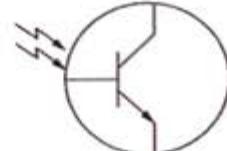
- 2- **Fotodiódos y fototransistores.** Se activan mediante la luz.



**Fotodiódos.**



**Fototransistor y símbolo.**

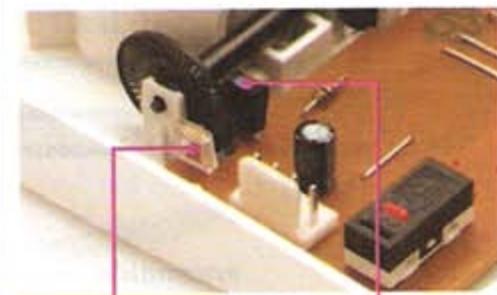


Se utilizan en apertura de puertas, sistemas de alarma, lectores de códigos de barras, periféricos de ordenador, etcétera.

# sensores de posición

## Ratón óptico

Los ratones ópticos utilizan **sensores de posición ópticos** en combinación con una rueda con ranuras (llamada **encoder**) para determinar su posición.



**diodo receptor**

**LED infrarrojo**

**Interior de un ratón óptico.**

# Transductores de desplazamiento

## A

### Medidas de grandes distancias

Para este tipo de medidas se utiliza principalmente el radar (Fig. 11.19). Está compuesto por un transmisor de radiaciones electromagnéticas generadas por un oscilador modular a impulsos. Estas radiaciones son emitidas directamente por una antena, y un receptor (ubicado en la misma antena) amplifica los ecos que recibe del objeto cuya distancia se desea medir.

Esta distancia se puede calcular como:

$$D = c \Delta t / 2$$

donde:

$c$  = Velocidad de propagación de ondas.

### Efecto Doppler

$\Delta t$  = Tiempo transcurrido desde que la onda es emitida hasta que se recibe.

El radar se emplea para distancias mayores de 100 m, incluso para más de 10 km. También se puede utilizar para medir la posición y la velocidad de objetos móviles aplicando el efecto Doppler.

Para medir distancias inferiores a 100 m se utilizan ultrasonidos (30 a 40 kHz) cuya velocidad de propagación es mucho menor (340 m/s aire; 1 450 m/s en el agua; 4 000 m/s en los metales).

En distancias medias, para topografía, se emplea el rayo láser. El principio es semejante al de los captadores ópticos y se aplican las ecuaciones de las ondas electromagnéticas.

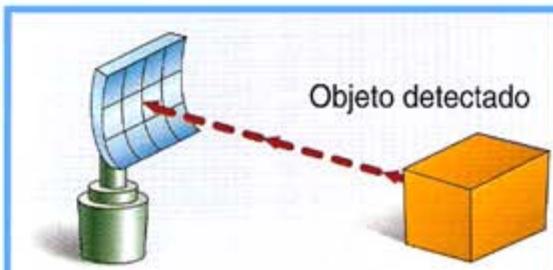


Figura 11.19. Principio de utilización del radar. Las ondas emitidas por la antena son recogidas por el receptor.

# B

## Medida de distancias cortas

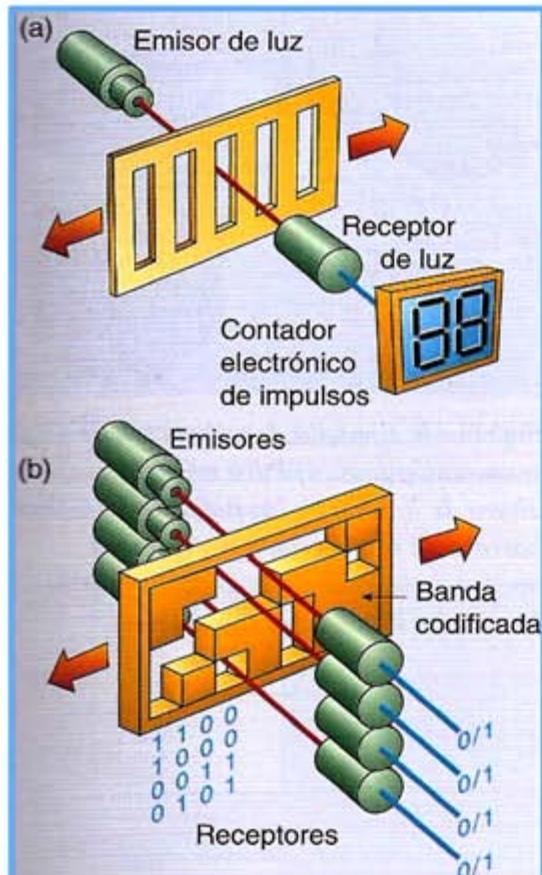


Fig. 11.21. Reglas ópticas para medida de desplazamientos. Son elementos relativamente caros, pero de gran precisión. Se suelen utilizar en máquinas de medición por coordenadas. a) De tipo incremental. b) De tipo absoluto.

## Transductores de desplazamiento

Cuando la distancia que se va a medir no supera unos pocos metros, se utiliza un potenciómetro acoplado sobre un eje rosado, cuyo movimiento determina la posición del elemento móvil cuya posición se mide.

El principal inconveniente en el empleo de potenciómetros es el desgaste que se produce en el elemento móvil. Fig. 11.20

Para evitar estos inconvenientes se utilizan, en algunos casos, reglas graduadas según un código continuo, como el de Gray, que son leídas ópticamente. La Figura 11.21 muestra dos reglas, la primera es de tipo incremental, pues cada vez que se pone en marcha comienza a contar el recorrido. La segunda es absoluta, ya que, debido al código marcado en ella, al conectar la máquina se conoce la combinación de la posición en cuestión.

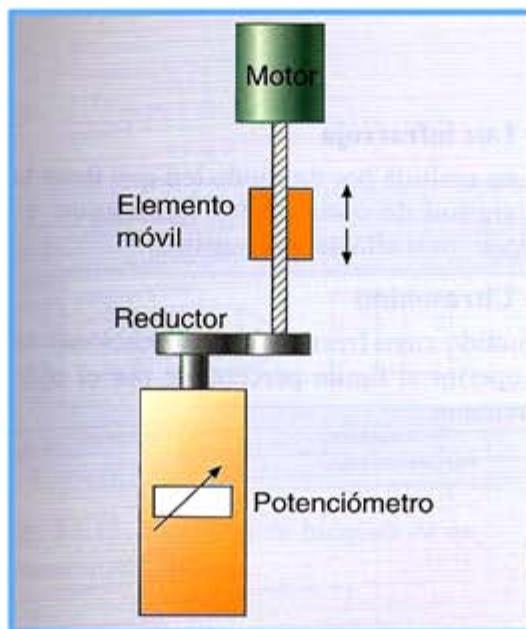


Fig. 11.20. Medida de distancias con potenciómetro.

# C

## Medida de pequeños desplazamientos

# Transductores de desplazamiento

Existen muchos procedimientos para medir **pequeños desplazamientos** en posición de que el transductor utilizado sea resistivo, inductivo o capacitivo.

### Resistivo

Existen resistencias de hilo metálico o material semiconductor construidas para variar su resistencia al ser deformadas. Estas resistencias se denominan **galgas extensométricas**, y se adhieren sobre el soporte adecuado para medir su deformación. En el caso de medir **esfuerzos** indirectamente, se basan en la **ley de Hooke** (Fig. 11.22).

### Inductivos

Se utiliza un sistema formado por **dos devanados planos de igual paso**, uno fijo y otro móvil que se desplaza sobre el fijo (Fig. 11.23).

Si el **devanado fijo**, que cubre todo el campo de medida, es alimentado por una **corriente alterna**, se inducirá sobre el devanado móvil una señal cuya amplitud dependerá de la fase en que se encuentren ambos devanados. Se suelen colocar **dos devanados móviles** de forma que se pueda conocer el **sentido de la marcha**.

### Capacitivos

Con ellos se pueden **medir distancias de algunos metros**, aunque no se emplean debido a su poca exactitud.

Si se utilizan para **pequeños desplazamientos**, se basan en que **se puede variar la capacidad de un condensador**, modificando la distancia entre sus placas.

*La amplitud de la salida será máxima cuando un devanado móvil esté coincidiendo con el fijo y nula cuando estén desplazados  $\lambda/4$ . Cuando la separación es de  $\lambda/2$ , la salida es máxima, pero negativa.*

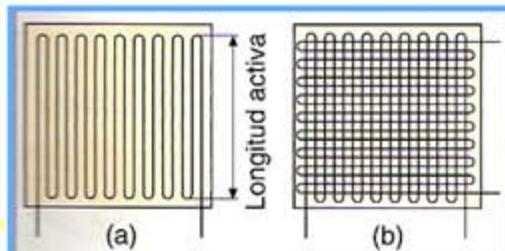


Fig. 11.22. Utilización de galgas extensométricas. a) Disposición simple. b) Disposición cruzada.

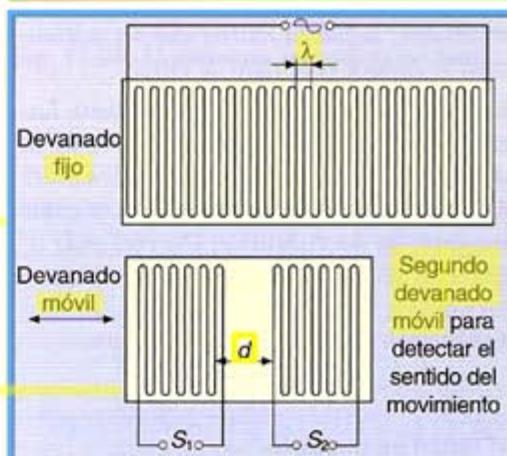


Fig. 11.23. Sistema inductivo para medida de desplazamientos (inductosyn). La separación entre los dos devanados móviles se hace  $d = \left(k - \frac{1}{4}\right)\lambda$ , donde  $\lambda$  es el **paso de los devanados**. Cuando este **paso** es de 2 mm y se emplea un **convertidor analógico/digital de 14 bits**, se divide en  $2^{14} = 16384$  partes. El **devanado fijo** es alimentado por una tensión alterna, que induce en los móviles una salida  $S_1$  y  $S_2$ .

# Transductores de desplazamiento

## C

### Medida de pequeños desplazamientos

#### Ejemplo 1

- Una galga extensométrica tiene una resistencia sin deformar de  $5\,000\ \Omega$  y un factor de galga  $K = 2,5$ . Se coloca fijada a una pletina de acero cuyo módulo de elasticidad es  $E = 220\,000\ \text{N/mm}^2$  y su sección rectangular es de  $10 \cdot 3\ \text{mm}^2$ , que está traccionada con una fuerza de  $10\,000\ \text{N}$ . ¿Cuál será la nueva resistencia de la galga?

#### Solución

- La deformación unitaria es:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{F}{S} = \frac{\frac{10\,000\ [\text{N}]}{30\ [\text{mm}^2]}}{\frac{220\,000\ [\text{N/mm}^2]}{}} = 0,0015$$

- La nueva resistencia será:

$$R = R_0 (1 + K\varepsilon) = 5\,000 (1 + 2,5 \cdot 0,0015) = 5\,018,9\ \Omega$$

- Obsérvese en el ejemplo cómo estas galgas pueden emplearse indirectamente para conocer la fuerza (si se conocen las constantes del material).
- Además, el cambio de resistencia debe ser medido por algún método.

# Transductores de desplazamiento

## C

### Medida de pequeños desplazamientos

#### Ejemplo 2

- Tras la deformación, una galga extensométrica de resistencia nominal  $5\,000\ \Omega$  y factor de galga 2,5, pasa a tener  $5\,018,9\ \Omega$ . ¿Cuál es la deformación unitaria experimentada por el material? En el caso de ser una pletina de acero de módulo de elasticidad  $E = 220\,000\ \text{N/mm}^2$  y sometida a tracción, ¿cuál será la tensión experimentada? Si la sección de la barra es de  $30\ \text{mm}^2$ , ¿cuál será la fuerza de tracción? Si la longitud de la barra es de 3 m, ¿cuál será su longitud tras la deformación?

#### Solución

$$R = R_0 (1 + K\varepsilon) \Rightarrow \varepsilon = \frac{\frac{R}{R_0} - 1}{K} = \frac{\frac{5\,018,9}{5\,000} - 1}{2,5} = 0,0015$$
$$\sigma = E \varepsilon = 220\,000 \cdot 0,0015 = 333 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma = \frac{F}{S} \Rightarrow F = \sigma S = 333 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \cdot 30 [\text{mm}^2] \approx 10\,000\ \text{N}$$

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \Rightarrow l = l_0 + \varepsilon l_0 = 3 + 0,0015 \cdot 3 = 3,0045\ \text{m}$$

# D

## Medida de ángulos

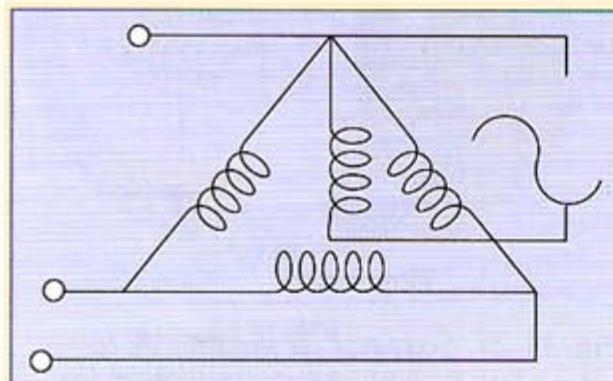
# Transductores de desplazamiento

La medida de **desplazamientos angulares** tiene los mismos principios que los medidores de desplazamiento lineales. Los transductores pueden ser:

- Resistivos (potenciómetros).
- Inductivos (resolver y syncro).
- Capacitivos.
- Discos codificados.

Los **sistemas resistivos** tienen el **inconveniente del contacto móvil**, por lo que se suelen sustituir por sistemas **inductivos**. Los detectores más empleados son los de **tipo inductivo** denominados **syncro** y **resolver**. El **syncro** es parecido a un **alternador trifásico** (Fig. 11.24); cuando se alimenta el **rotor con una corriente alterna**, se inducen en los devanados del estator **tres tensiones** que son función del **ángulo  $Q$**  del rotor con uno de los devanados.

Para la lectura de  $Q$  se recurre a **un segundo syncro** que actúa **tras recibir las tres tensiones** del syncro emisor y **pone la posición del rotor en función de estas tensiones**.



■ Si en lugar de utilizar un **generador trifásico** se utiliza uno **bifásico**, con los devanados a  $90^\circ$ , el transductor conseguido se llama **resolver**.

Fig. 11.24. Syncro.

# Transductores de desplazamiento

## D Medida de ángulos

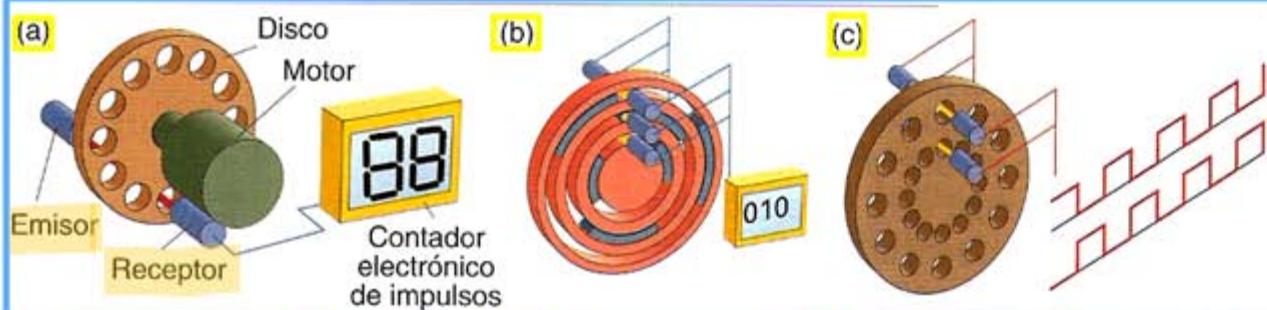


Fig. 11.25. Encoders: **a)** incremental; **b)** absoluto; **c)** incremental con detección del sentido de giro debido al desfase de las marcas. Se puede observar el cronograma resultante, según la marca que va adelantada se conoce el sentido de giro.

Las zonas oscuras representan un cero. Las zonas blancas representan un 1. Frente al disco se colocan elementos fotosensibles como emisor de luz un fotodiodo, y como receptor, un fototransistor. Dependiendo de que el disco esté en una posición clara u oscura, los fototransistores podrán detectar la luz y con ello se generará un código.

## Ratón óptico

Los ratones ópticos utilizan sensores de posición ópticos en combinación con una rueda con ranuras (llamada **encoder**) para determinar su posición.



Para detectar posiciones angulares también se utilizan los **discos codificados o encoders**, que pro-

porcionan una <sup>1)</sup> señal digital en función de la **posición** en que se encuentren (Fig. 11.25).

Además, en función de la <sup>2)</sup> frecuencia de los pulsos, se puede conocer la **velocidad angular**. Es decir, los encoders unidos **con un reloj** se convierten en **captadores de velocidad**.

Como observación adicional, hay que señalar que estos **encoders** se pueden conectar <sup>3)</sup> con un mecanismo de tornillo y tuerca con lo que sería posible la **medición de longitudes**. Esto es muy utilizado en las máquinas herramienta.

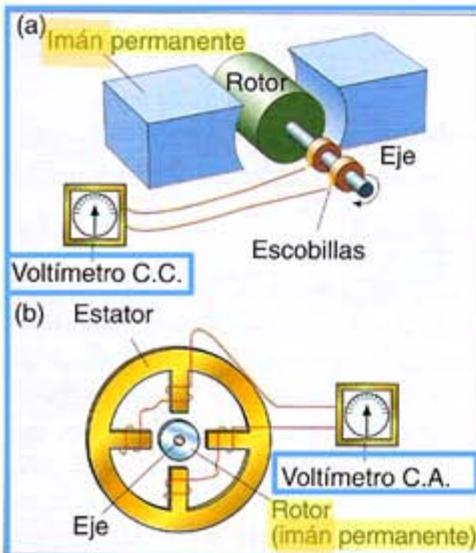


Fig. 11.26. Tacómetros. a) Tacodinámico; la señal de salida es continua. b) Tacoalimentador la señal de salida es alterna.

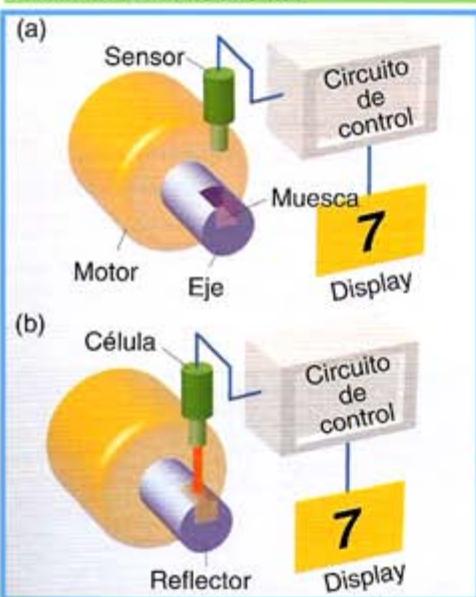


Fig. 11.27. Sistemas de medida de la velocidad de rotación por impulsos; a) con muesca; b) con reflector.

## Transductores de velocidad

### A Tacómetro

Es un instrumento que indica la velocidad, generalmente en revoluciones por minuto, de la máquina a la que va acoplado.

El tacómetro mide una magnitud física o mecánica, de la que se conoce la ley de variación en función de la velocidad (Fig. 11.26).

Normalmente son tacómetros electrónicos, que producen una tensión proporcional a la variación de rotación.

$$e = K B \omega$$

donde:

$e$  = Tensión de salida.

$K$  = Constante de proporcionalidad.

$B$  = Inducción magnética.

$\omega$  = Velocidad angular a medir.

El tacómetro tendrá una inducción magnética con  $B$  constante (imanes permanentes).

### B Medidor de velocidad por impulsos y sistemas ópticos

Si tenemos un eje en el cual hemos hecho una muesca, capaz de ser detectada por un detector inductivo de proximidad o mediante un sistema óptico (es decir, una cinta reflectora y un rayo luminoso), podemos generar una tensión proporcional a la velocidad de generación de impulsos (Fig. 11.27).

El detector, tanto óptico como inductivo, entrega una tensión que, una vez adaptada por medio de un contador, nos permite conocer el número de veces que la muesca o la cinta reflectora pasa por delante del detector.

## Transductores de presión

En las Unidades 8 y 9 de este libro se trata el concepto de presión, así como las unidades más utilizadas, por lo que aquí nos dedicaremos a hablar de los transductores más empleados, que se pueden clasificar en tres grupos:

- Mecánicos.
- Electromecánicos.
- Electrónicos.

## A Mecánicos

# Transductores de presión

Son elementos de medida directa que miden la presión comparándola con un líquido de densidad y altura conocidos.

### Manómetro de presión absoluta

Se usa la combinación de dos fuelles, uno como medida de la presión relativa y otro para medir la atmosférica. El movimiento resultante de la unión de los dos fuelles equivale a la presión absoluta (Fig. 11.28).

### Manómetro de columna de líquido

Para la medida de bajas presiones se emplea el manómetro en «U» con un líquido, agua o mercurio normalmente, aunque entre los más usados está el tetrabromoetano (Fig. 11.29).

Industrialmente se utiliza el manómetro en «U» modificado o de columna, y esta columna es indicada para precisiones muy exactas.

También existen otros tipos de manómetros, que son aquellos que se deforman por la presión interna del fluido que contienen. Los más empleados son el tubo Bourdon, el diafragma y el fuelle.

El **tubo Bourdon** es de sección elíptica, metálico y curvado, formando casi un anillo (Fig. 11.30). Este anillo está cerrado en un extremo y por el otro se le aplica la presión a medir. Al aplicar la presión, el tubo tiende a enderezarse. El movimiento resultante es transmitido y amplificado por un sector dentado y piñón o una palanca, sobre el que va montada la aguja indicadora o un transductor para obtener una señal eléctrica.

El **diafragma** consiste en una o varias cápsulas circulares cerradas por dos campanas. Una de las campanas sirve para conectar la presión a medir y la otra queda libre a la atmósfera. El diafragma se desplazará en función de la presión. Se utiliza para pequeñas presiones.

El **fuelle**, parecido al diafragma, pero de una sola pieza flexible axialmente, puede dilatarse o contraerse con un desplazamiento considerable.

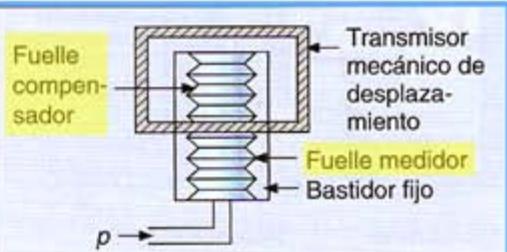


Fig. 11.28. Manómetro mecánico de fuelle.

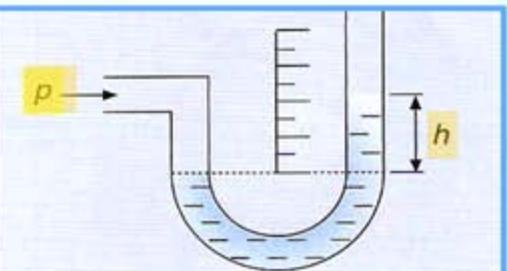


Fig. 11.29. Manómetro de columna de líquido.

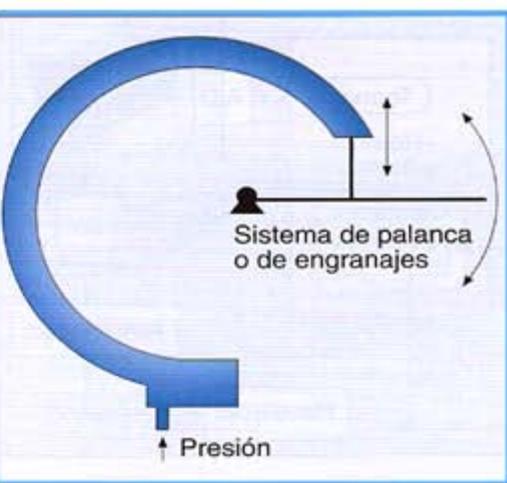
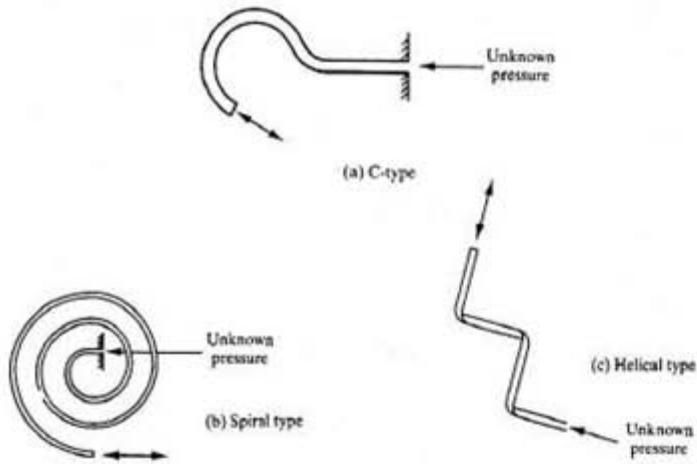
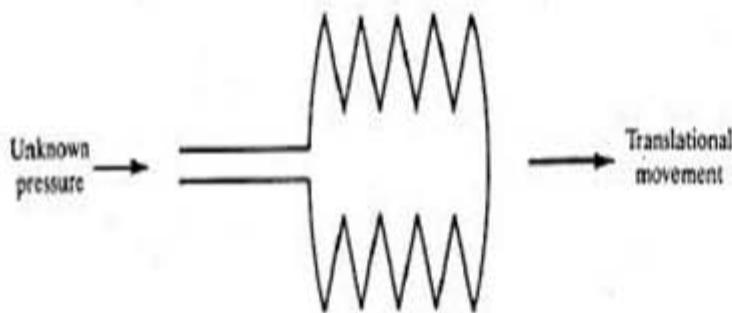


Figura 11.30. Tubo Bourdon.

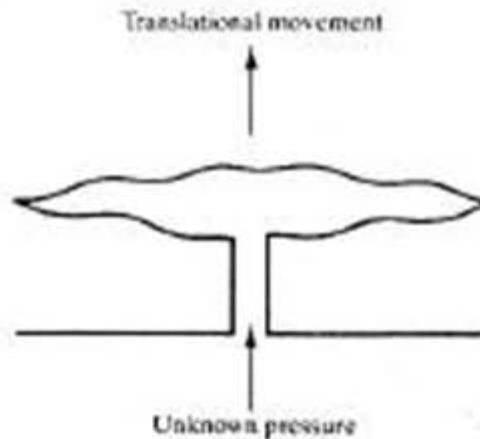
Industrialmente, el tubo Bourdon se emplea para medir presiones comprendidas entre 0,5 y 6 000 kg/mm<sup>2</sup>. El diafragma mide presiones en un rango variable. Por último, el fuelle es sensible a diferentes presiones.



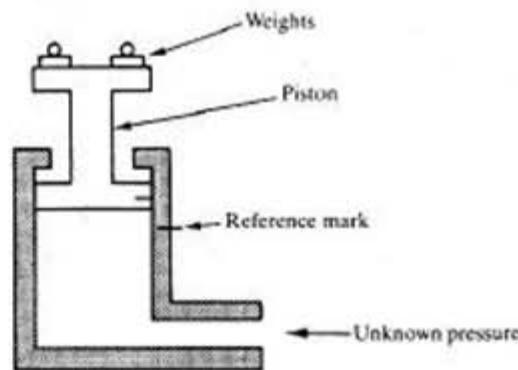
**Tubos de Bourdon  
en C, en espiral y helicoidal**



**fuelle**



**diafragma**



**medidor de peso muerto**

# Transductores de presión

## B Electromecánicos

Utilizan un **elemento mecánico elástico** (tubo Bourdon, diafragma, fuelle o una combinación de éstos) junto con un **transductor elástico que genera la señal eléctrica correspondiente**.

Los más empleados son:

- Transmisores eléctricos de equilibrio de fuerzas.
- **Resistivos** (la Fig. 11.31 ilustra el método).
- **Magnéticos**.
- **Capacitivos**.
- **Extensométricos**: en este caso vale lo ya comentado para las **galgas**.
- **Piezoeléctricos**, se basan en la propiedad de que algunos **cristales producen cargas eléctricas si están sometidos a un esfuerzo** (Fig. 11.32). Esta carga es proporcional a la fuerza, pero, al ser muy pequeña, se necesita un circuito amplificador.

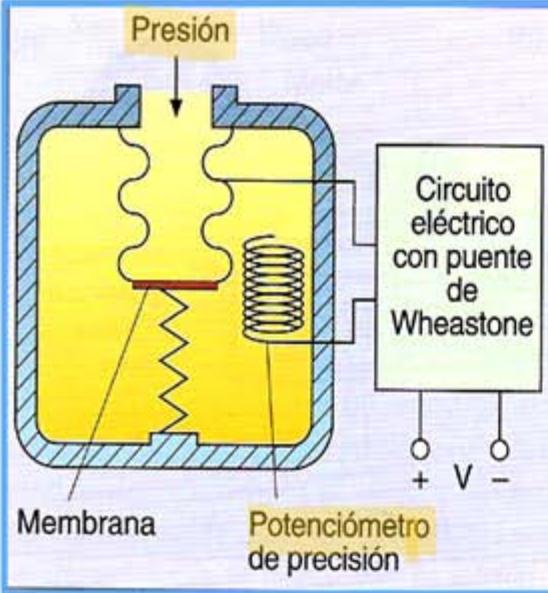


Fig. 11.31. Transductor de presión resistivo.

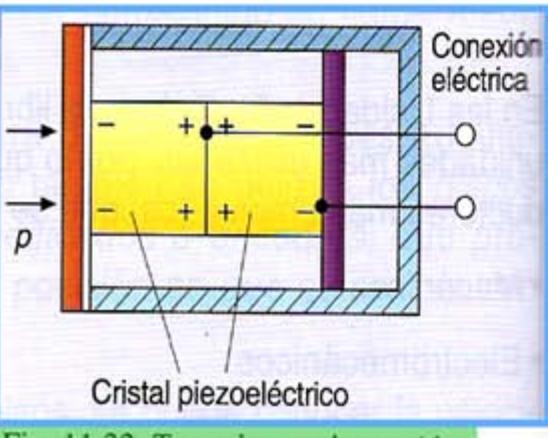
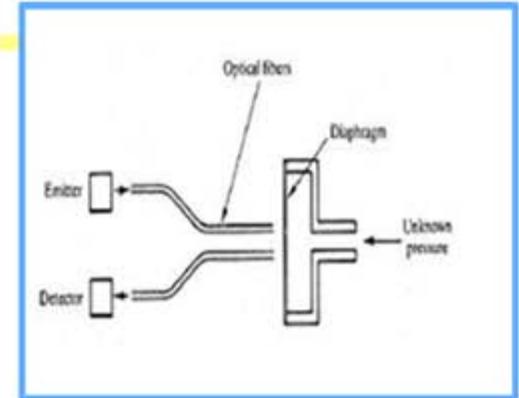
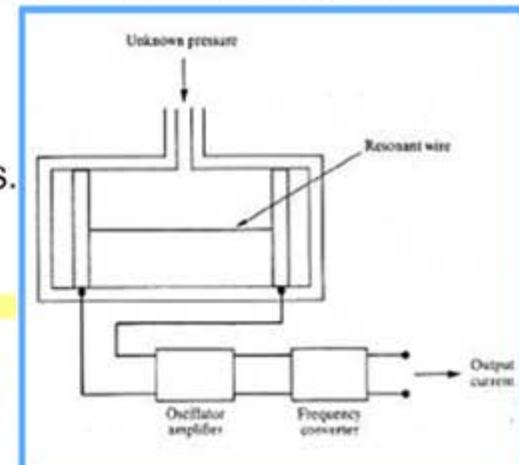


Fig. 11.32. Transductor de presión piezoeléctrico.



# Transductores de fuerza y presión



## ■ GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS ■

*¿Te has preguntado alguna vez cómo una báscula es capaz de determinar el peso de una persona?*

Las básculas utilizan unos sensores denominados **galgas extensiométricas**. Estas están formadas por una fina lámina metálica depositada sobre un material flexible. Cuando se deforma, se produce una **variación de la resistencia** de la misma (debido al cambio de forma y a la presión) **proporcional a la deformación** producida por el peso del objeto.

Se emplean en **básculas**; para controlar **deformaciones** en **edificios, puentes, etc.**; y también se utilizan para medir la **presión**.



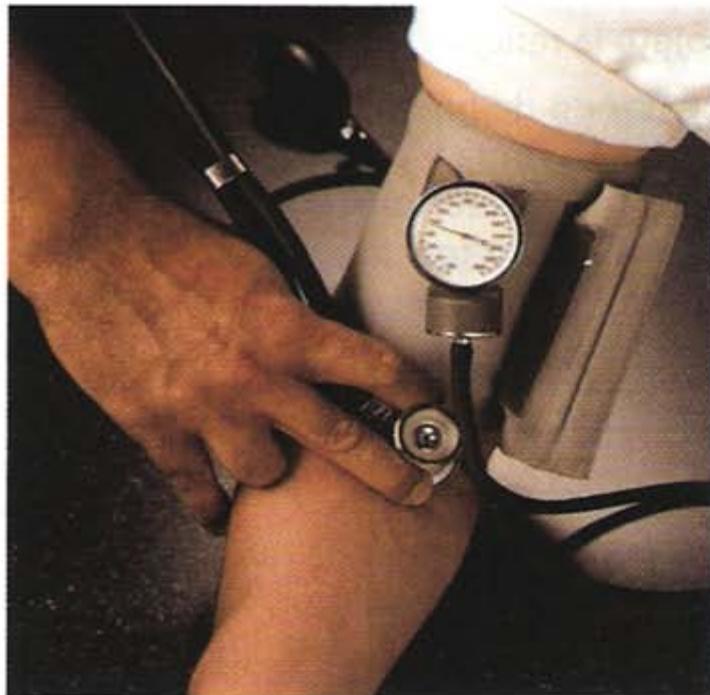
Sensor de presión mediante galga extensiométrica.

**deformación = variac. resistencia. eléctrica**

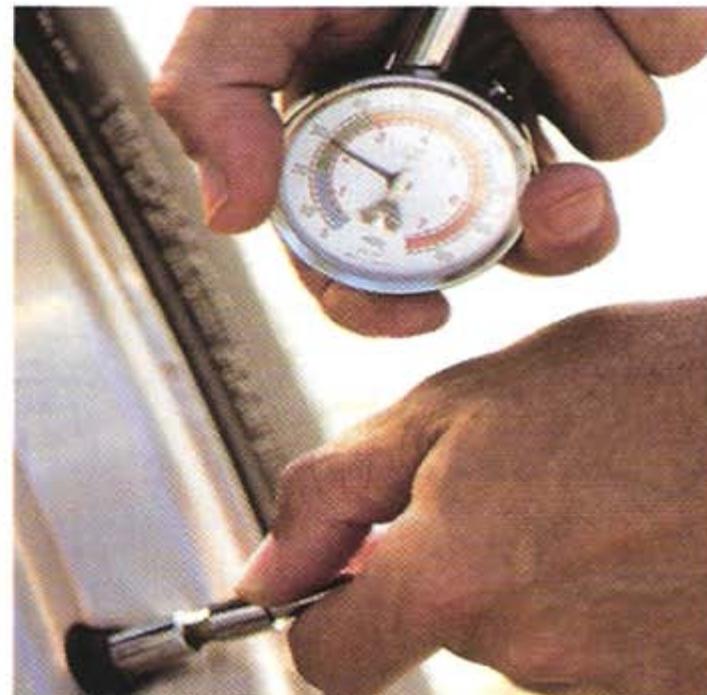
# Transductores de fuerza y presión

## ■ otras formas de medir la presión: MANÓMETROS ■

Existen otras formas de medir la presión. Un tipo de sensor muy usado (por ejemplo, para medir la presión de los neumáticos) es el tipo Bourdon, en cuyo interior hay un tubo flexible que modifica su posición en función de la presión de entrada.



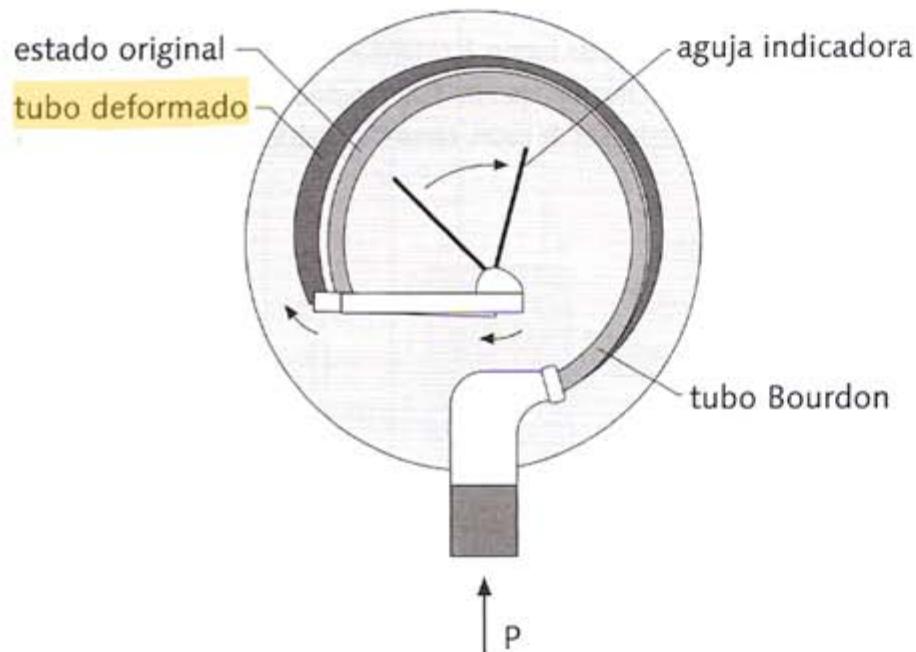
La medida de la presión arterial es una práctica habitual en medicina.



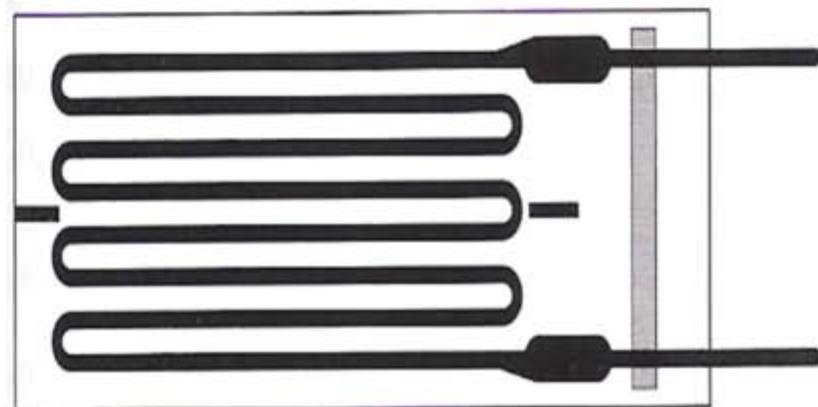
Para medir la presión de los neumáticos se utiliza un sensor de presión tipo Bourdon.

# Transductores

de fuerza y presión



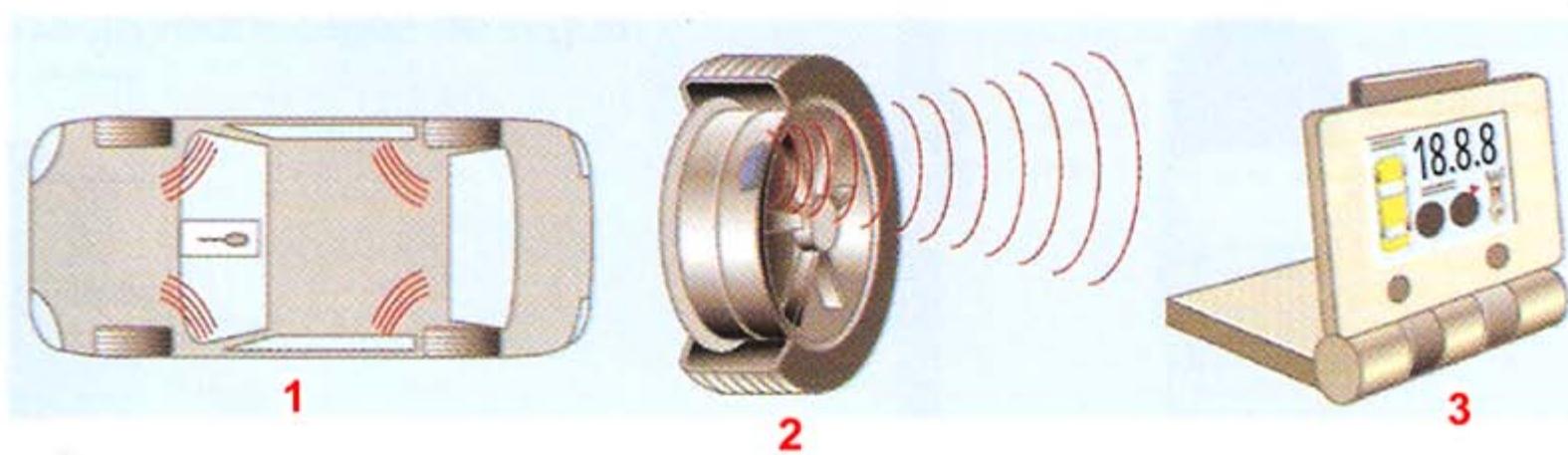
manómetro tipo BOURDON



galga extensiométrica

# Transductores de presión

■ ¿Qué representa los siguientes dibujos? ¿Qué ventajas tiene este tipo de sensores?



1 Se trata de un **medidor de la presión** de los neumáticos de un coche, colocado 2 en el interior de los mismos y que envía el resultado de la medida mediante **ondas de radio**. La ventaja principal es que, en todo momento, 3 podemos conocer el estado de la presión de los neumáticos.

# Transductores de temperatura

La medida de la temperatura constituye una de las mediciones que se realizan en la industria con mayor frecuencia. La Figura 11.33 ilustra el control de temperatura de un horno eléctrico. En la actualidad los métodos empleados para la medida de la temperatura son múltiples, pero, en general, están basados en los siguientes fenómenos:

- Variación de la resistencia de un conductor con las temperaturas (termorresistencias).
- Variación de la resistencia de un semiconductor con la temperatura (termistores): PTC, NTC.
- Fuerza electromotriz creada en la unión de dos metales distintos (termopares) al variar la temperatura.
- Intensidad de la radiación emitida por un cuerpo (pirómetros de radiación).

## Sabías que...

La definición de un sensor de temperatura consta de siete parámetros, cada uno de los cuales significa lo siguiente: 1. Elemento sensible. 2. Material de cubierta. 3. Código del diámetro exterior. 4. Código de soldadura en caliente. 5. Dispositivo de estanqueidad. 6. Conexión eléctrica. 7. Longitud bajo cabeza.

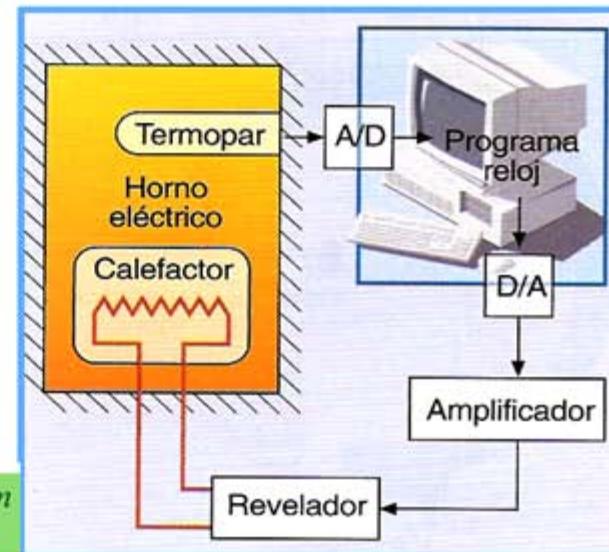


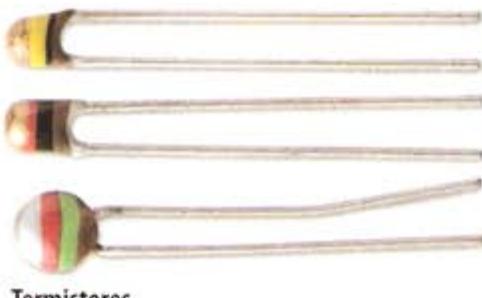
Fig. 11.33. Control de temperatura de un horno.

**1 ■ Termoresistencias o RTD** (detectores de temperatura resistivos). Se basan en la variación de resistencia que experimentan los metales en función de la temperatura. Para obtener este tipo de sensores se enrolla un hilo muy fino de platino o níquel en un aislante. Las RTD de platino se usan para medir temperaturas de hasta 600 °C.

**2 ■ Termistores.** Se basan en la variación de la resistencia de un semiconductor en función de la temperatura. La principal ventaja respecto a las RTD es que responden más rápidamente a los cambios de temperatura. Pueden ser de dos tipos:

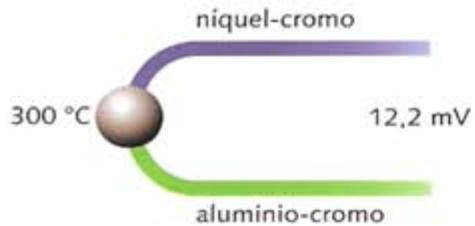
a) **Termistores PTC (coeficiente de temperatura positivo).** Su resistencia aumenta con la temperatura.

b) **Termistores NTC (coeficiente de temperatura negativo).** Su resistencia disminuye al aumentar la temperatura.



Termistores.

**3 ■ Termopares.** Están formados por dos metales diferentes. En el punto de unión de los mismos se genera un voltaje proporcional a la temperatura que deseamos medir.



Termopar que produce 12,2 mV a 300 °C.



Termómetro basado en un termopar.

Se usan cuando es preciso medir un amplio margen de temperaturas (procesos industriales, obtención de acero, investigación médica, etc.). Así, por ejemplo, con un termopar como el de la figura podemos medir temperaturas entre -200 °C y 1 200 °C.

# Transductores de temperatura — basados en la variación de la , RESISTENCIA ELÉCTRICA

# Transductores de temperatura -

## sensibles a la RADIACIÓN INFRARROJA

### ■ Sensores sensibles a la radiación infrarroja

¿Sabes qué tienen en común las cámaras de visión nocturna, los sistemas detectores de incendios y la detección de presencia que permite abrir automáticamente una puerta?

Dado que todos los cuerpos emiten una radiación infrarroja proporcional a su temperatura, a través de sensores infrarrojos se puede medir su temperatura sin estar en contacto directo con estos cuerpos.



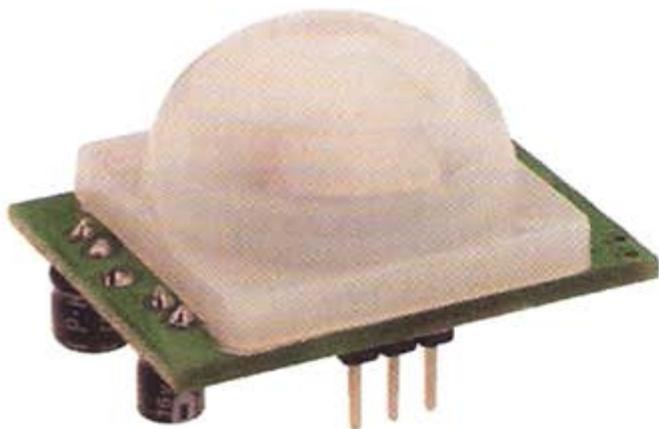
**Termómetro clínico infrarrojo.** En medicina se usan termómetros que miden la temperatura sin contacto directo con el cuerpo.

# Transductores de temperatura -

## sensibles a la RADIACIÓN INFRARROJA

Los sensores de movimiento se basan en la detección de los cambios de radiación infrarroja de los objetos próximos a ellos. ¿Para qué crees que sirve la lente de plástico que llevan encima?

### Lente FRESNEL



# A

## Termorresistencias

Sabemos que la relación entre la resistencia y la temperatura de un cuerpo se puede expresar de la siguiente forma:

$$R_T = R_0 (1 + \alpha T)$$

donde:

$R_0$  = Resistencia en ohmios a 0 °C.

$R_T$  = Resistencia en ohmios a  $T$  °C.

$\alpha$  = Coeficiente de temperatura.

Es interesante observar que esta expresión es semejante a la de las galgas extensométricas.

Si la relación resistencia-temperatura no es lineal, la ecuación es:

donde:  $\alpha, \beta, \dots$  = Coeficientes de temperatura.  $R_T = R_0 (1 + \alpha T + \beta T^2 + \dots)$

Los materiales que normalmente se emplean en la fabricación de estas termorresistencias son:

- Platino hasta 750 °C.
- Níquel y cobre hasta 150 °C.
- Wolframio por encima de 1000 °C.

El sistema está constituido por un elemento de medida de platino, níquel, cobre o wolframio, y está bobinado sobre un núcleo cerámico, protegido con óxido de magnesio, bajo cubierta metálica (Fig. 11.34).

Para trabajos industriales la resistencia suele ser 100 Ω.

La medición de una resistencia utilizada para determinar durante sus variaciones la temperatura, se efectúa mediante un puente de resistencias (puente de Wheatstone, Fig. 11.35). Este procedimiento es válido para todos los sistemas de captación que emplean la variación de la resistencia (por ejemplo, las galgas extensométricas).

# Transductores de temperatura

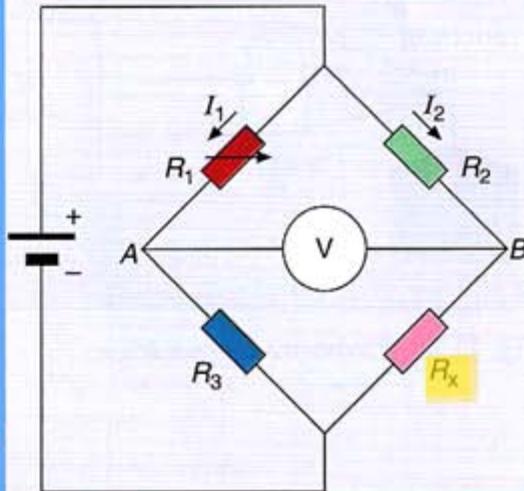


Fig. 11.35. Puente de Wheatstone.

$R_x$  es la resistencia desconocida,  $R_1$  es una resistencia variable en la que se conoce su variación (está convenientemente calibrada) y  $R_2$  y  $R_3$  son resistencias fijas conocidas. Con la disposición de la figura, la resistencia  $R_x$  varía hasta que la lectura del voltímetro es nula, en cuyo caso no pasa corriente de A a B. En tal situación, al ser el potencial de A y de B el mismo, la caída de tensión en  $R_1$  y  $R_2$  será igual. Lo mismo sucede con  $R_x$  y  $R_3$ , con lo que se cumple:

$$\left. \begin{array}{l} I_1 R_1 = I_2 R_2 \\ I_1 R_3 = I_2 R_x \end{array} \right\} R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

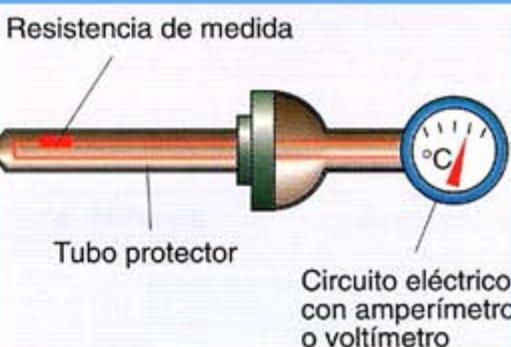


Fig. 11.34. Elemento para la medida de temperatura.

# Transductores de temperatura

## B

### Termistores

Son semiconductores a base de óxidos metálicos en los cuales su coeficiente de temperatura tiene un valor muy elevado y varían de forma lineal con ésta.

Los termistores pueden ser:

- PTC: sondas de resistencia con coeficiente de temperatura positivo, empleadas para controlar la temperatura entre  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- NTC: sondas de resistencia con coeficiente de temperatura negativo.

Las curvas características de los termistores se muestran en la Figura 11.36.

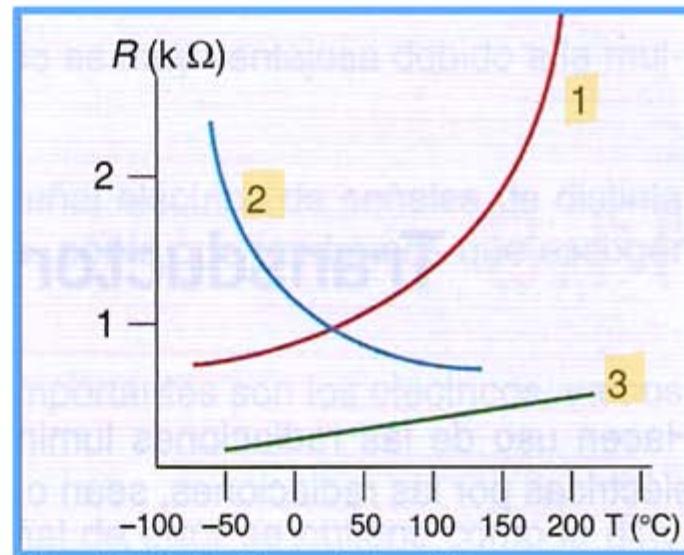


Fig. 11.36. Gráficas de termistores.

1. Variaciones de  $R$  con la temperatura en un termistor PTC.
2. Variación de  $R$  con la temperatura en un termistor NTC
3. Variación de  $R$  con la temperatura en una termorresistencia de platino.

# C

## Termopares

# Transductores de temperatura

Están basados en la unión de dos metales distintos por uno de sus extremos. Cuando esta unión se calienta, se desarrolla una diferencia de potencial en sus extremos libres que es proporcional a la diferencia entre los termopares de los dos extremos (Fig. 11.37).

La fem desarrollada en un circuito termoeléctrico obedece a dos efectos termoeléctricos determinados: el **efecto Peltier**, que provoca la liberación o absorción de calor en la unión de dos metales distintos cuando circula una corriente a través de la unión; y el **efecto Thomson**, que consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogéneo en el que existe un gradiente de temperatura.

Constatán: Cu 55% + Ni 45%

Los termopares más utilizados son:

- **Cobre-Constantán** (tipo T). Para bajas temperaturas entre -200 y 260 °C. Son resistentes a la corrosión y pueden utilizarse en atmósferas oxidantes o reductoras.
- **Hierro-Constantán** (tipo J). Campo de medida entre 300 y 750 °C. Se emplean para atmósferas con escaso oxígeno libre. La oxidación del hilo de hierro aumenta por encima de los 550 °C.
- **Cromel-Alumel** (tipo K). Se utiliza en atmósferas oxidantes y a temperaturas de trabajo entre los 500 y 1 000 °C.

Éstos son los más importantes, aunque también se emplean:

- **Cromel-Constantán** (tipo E). Hasta los 1 200 °C. Válidos para atmósferas oxidantes.
- **Platino-Platino Rodio (R y S)**. Se utiliza para medir por encima de 1 500 °C.

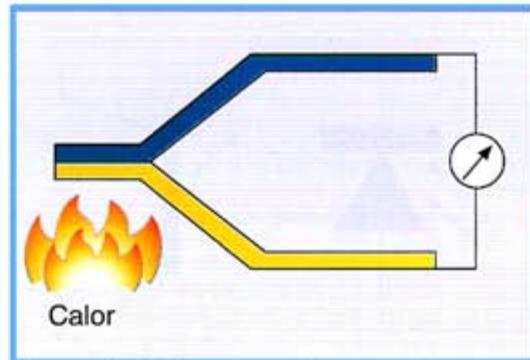


Fig. 11.37. Principio del termopar y realización práctica.

# Transductores de temperatura

## D

### Pirómetros de radiación

Se basan en la ley de Stefan-Boltzmann: «La intensidad de energía radiante emitida por la superficie de un cuerpo es función de la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo».

$$\text{Radiación} = \text{cte} \cdot T^4$$

Pueden ser:

- **Pirómetros ópticos** Se basan en la desaparición visual del filamento de una lámpara al contacto con la imagen del objeto enfocado.
- **Pirómetros de radiación total**. Formados por una lente que convierte la radiación del objeto caliente en una termopila de pequeñas dimensiones (Fig. 11.38).

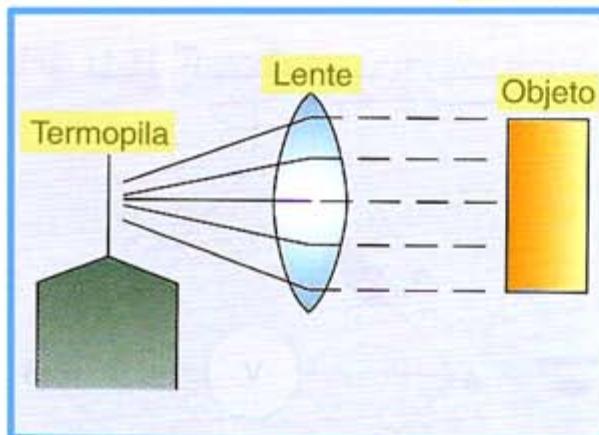


Fig. 11.38. Pirómetro de radiación.

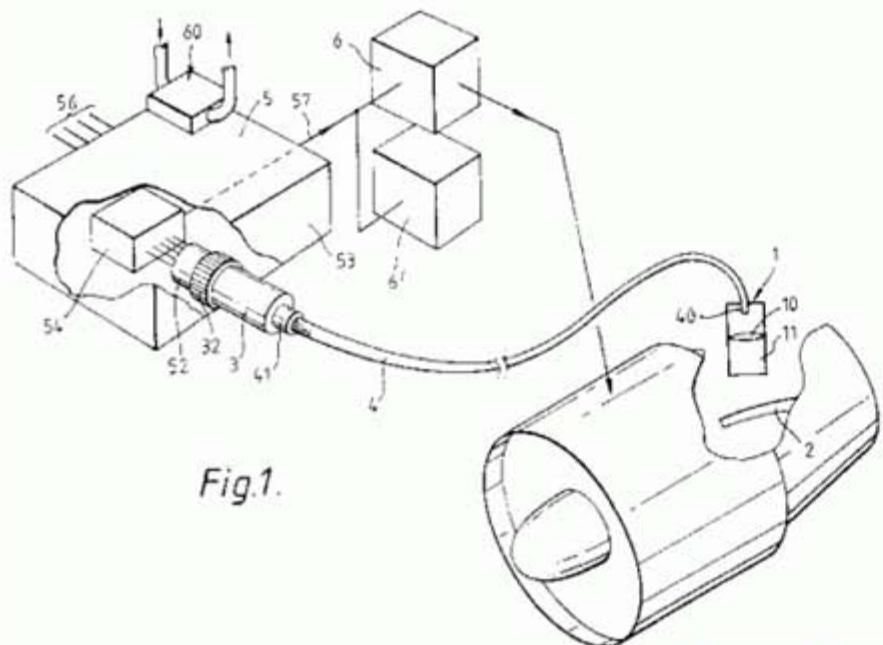
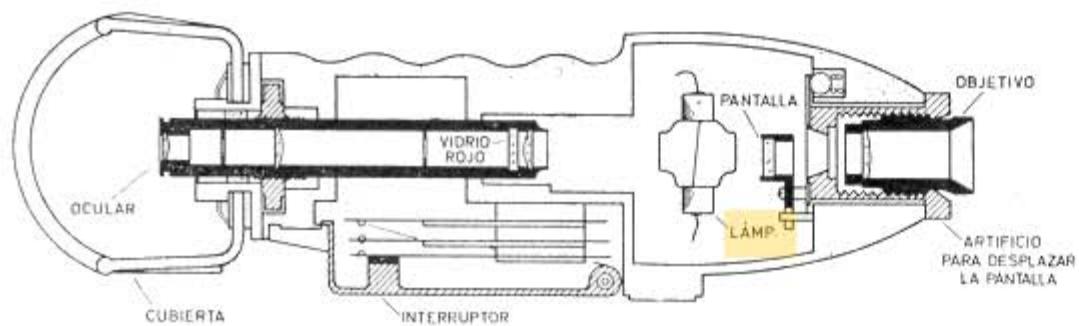
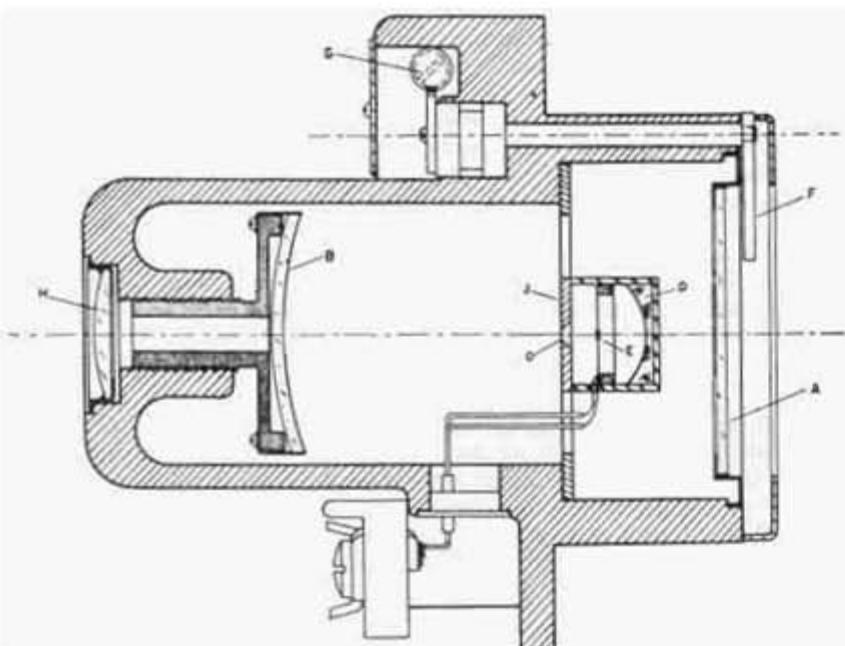


Fig.1.

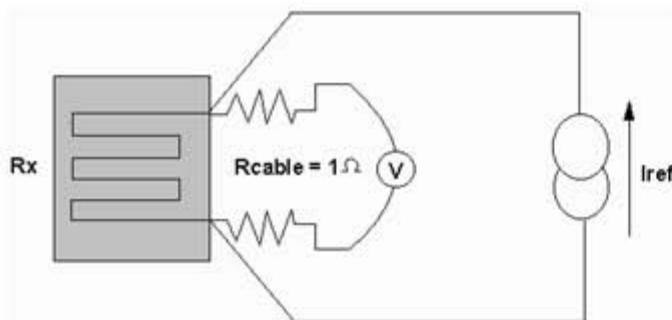


## PIRÓMETROS ÓPTICOS





## PIRÓMETROS DE RADIACIÓN



**Termómetro clínico infrarrojo.** En medicina se usan termómetros que miden la temperatura sin contacto directo con el cuerpo.



# Transductores

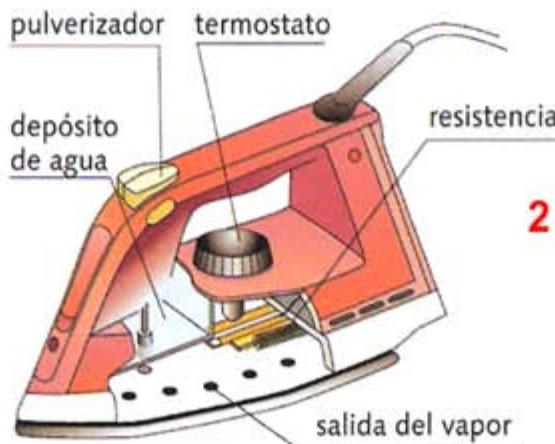
## de temperatura - basados en la DILATACIÓN



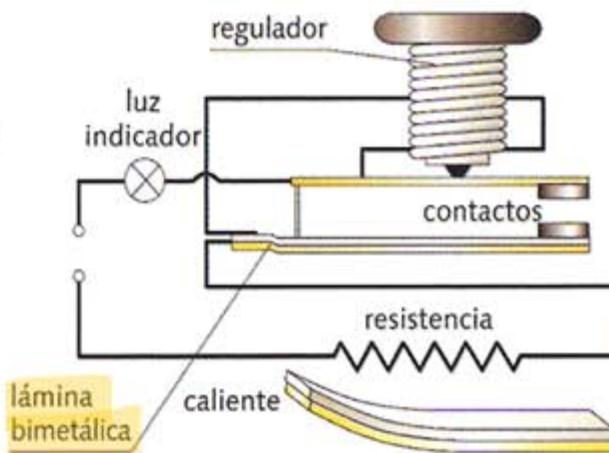
Termómetro de mercurio.

1 Los cuerpos experimentan un aumento de tamaño con la temperatura. Este fenómeno se ha utilizado tradicionalmente para medir la temperatura mediante **termómetros de mercurio**.

2 También se basan en este hecho las **láminas bimétálicas** utilizadas para controlar la temperatura de las planchas y los secadores de pelo. El mecanismo consiste en dos láminas metálicas unidas entre sí. A temperatura ambiente ambas tienen la misma longitud, pero cuando **se calientan** (por ejemplo, por el paso de aire caliente) cada una **se dilata de distinta manera** y el conjunto se dobla: este cambio producido se aprovecha para impedir el paso de la corriente y desconectar el aparato.



También se utiliza en tostadora, estufas...



Esquemas de una plancha y de la lámina bimetálica.

# Transductores de luz

Hacen uso de las radiaciones luminosas. Son afectados en sus propiedades eléctricas por las radiaciones, sean o no de luz visible.

Vamos a comentar solamente dos tipos:

- Resistencias LDR.
- Fotodiódos.

## A

### Resistencias LDR

Las resistencias LDR (*Light Dependent Resistors*), también denominadas fotorresistencias, utilizan la propiedad de algunos materiales de variar su resistencia eléctrica con luz. La ley de variación de la resistencia en función de la energía luminosa ( $E$ ) recibida es:

$$R = K E^{-\alpha}$$

Donde  $K$  y  $\alpha$  dependen del material que constituye la fotorresistencia. A partir de aquí se comprende fácilmente su utilización, que será idéntica a la de cualquier transductor que emplea la resistencia como propiedad eléctrica (galgas y pirómetros). El símbolo usado para representarlas en los circuitos es el de la Figura 11.39.

## B

### Fotodiódos

En este caso, al incidir la luz sobre este elemento (Fig. 11.40), se genera una corriente eléctrica. Cuando no hay luz se comporta como un diodo normal. Los paneles solares están formados por fotodiódos.

Este elemento, junto con el fototransistor (más sensible y que amplifica el efecto de la luz incidente) y el diodo emisor de luz (LED) son la base de los detectores ópticos ya comentados.

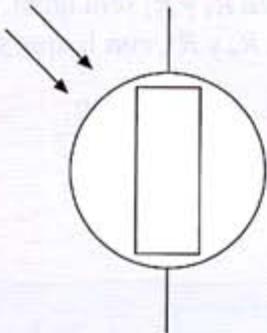


Fig. 11.39. Símbolo de la fotorresistencia.

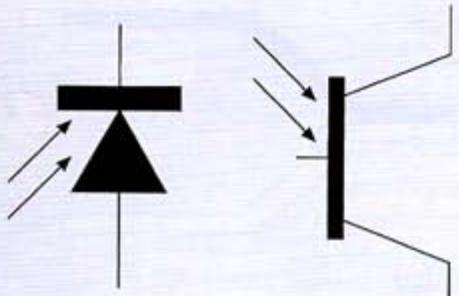


Fig. 11.40. Símbolo del fotodiodo y del fototransistor.

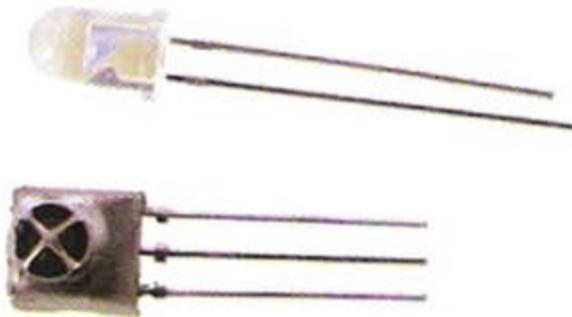
## Transductores de luz

- 1 ■ **LDR.** Resistencias que modifican su valor en función de la intensidad luminosa que incide sobre ellas.

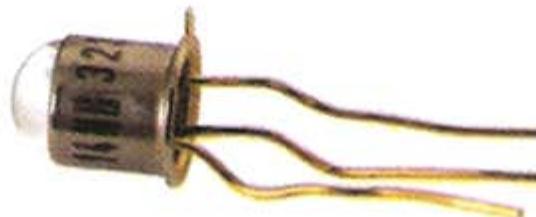


LDR.

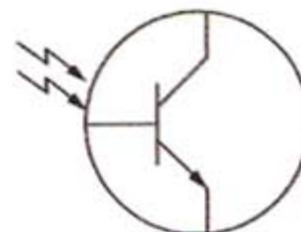
- 2 ■ **Fotodiodos y fototransistores.** Se activan mediante la luz.



Fotodiodos.

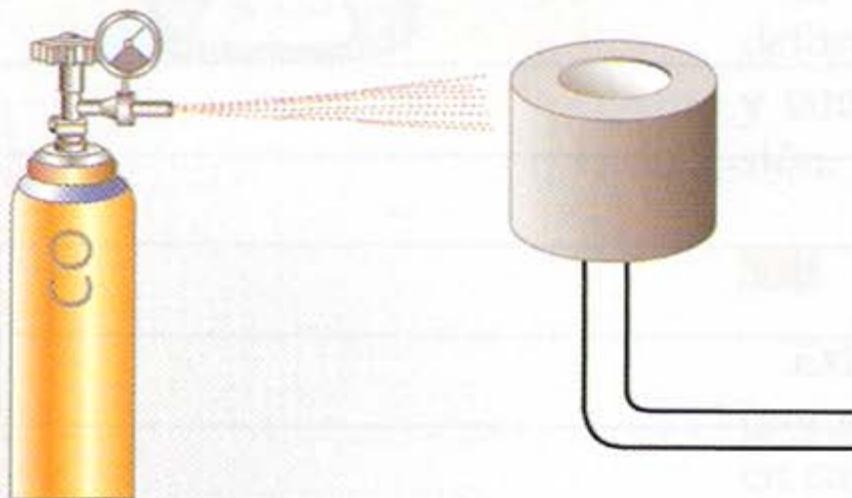


Fototransistor y símbolo.



# Otros Transductores

## -SENSORES de HUMO-



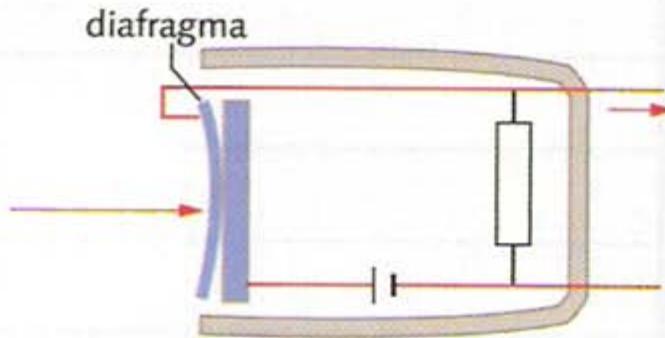
Capaces de detectar la presencia de gases. El sensor de monóxido de carbono de la figura se basa en la modificación de la resistencia eléctrica en presencia de este gas.



**Sensor de humo.** Está formado por un circuito electrónico capaz de detectar concentraciones anómalas de gases, como el monóxido de carbono.

# Otros Transductores

## -SENSORES de SONIDO-

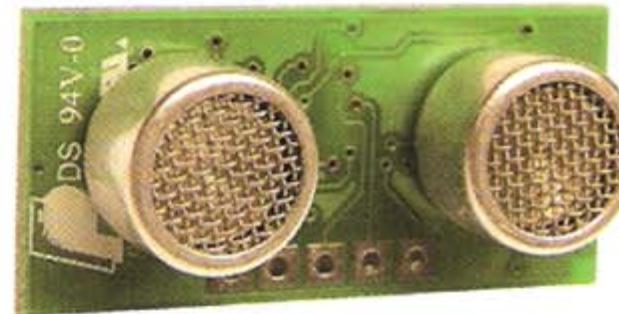


Se basan en la modificación de la capacidad debido al movimiento de un diafragma producido por las ondas de sonido o en el efecto piezoeléctrico —variación de la resistencia eléctrica con la presión—.

- El micrófono *electret* contiene un transistor para ampliar la señal de sonido.

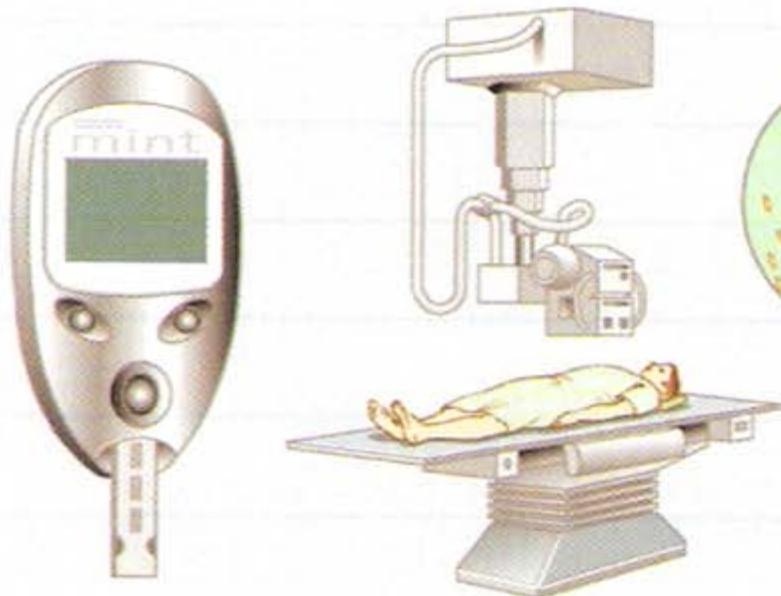


- El sensor de ultrasonido (sonido con una frecuencia superior a la audible por el oído humano) se utiliza para detectar objetos mediante la emisión y recepción de ondas sonoras.



# Otros Transductores

## -SENSORES de parámetros BIOLÓGICOS-



Se usan películas sensibles a los rayos X, ondas luminosas que varían sus parámetros en función de la composición de una sustancia, biosensores (algas, bacterias), etcétera.

Los comparadores tienen la misión de proporcionar la señal que informe de la diferencia entre la señal de salida deseada y la que se obtiene exactamente (Fig. 11.41).

La señal de diferencia, señal activa o señal de error, es la que excita al regulador o controlador, de tal forma que éste actúa sobre el proceso a controlar, llevando la señal de salida al valor adecuado, para que de este modo la señal de error sea cero.

Los comparadores suelen ser eléctricos, debido a la facilidad con la que se pueden comparar dos señales eléctricas.

Las variables de entrada al comparador (señal de referencia y señal realimentada) se adaptan mediante los transductores y captadores de tipo eléctrico.

La sencillez de comparación por este método es muy ventajosa debido a la multitud de circuitos que efectúan esta misión.

En ocasiones el proceso de conversión a señal eléctrica de señales de distinta naturaleza es muy complejo y de alto precio, por lo que tendremos que escoger otro medio de comparación de señales.

No obstante, como los comparadores más importantes son los eléctricos, vamos a analizar a continuación algunos de ellos.

## Detectores de error o comparadores

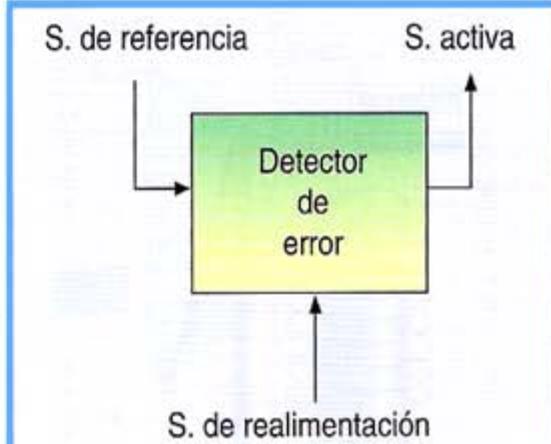


Fig. 11.41. Esquema del detector de error.

## Detectores de error o comparadores

- En los **puentes de potenciómetros**, la señal de error se obtiene como la **diferencia de potencial** entre los dos cursoros, según muestra la **Figura 11.42**, donde  $l$  es la longitud del potenciómetro.

Cuando son **señales continuas**:

$$\text{Si } X_1 > X_2 \Rightarrow e > 0$$

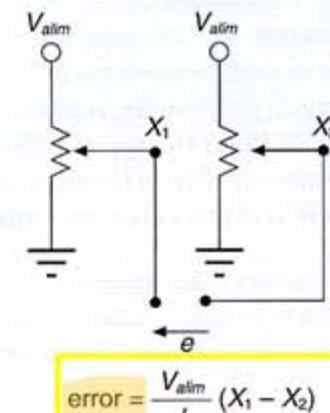
$$\text{Si } X_1 < X_2 \Rightarrow e < 0$$

Si son **señales alternas**, se obtiene una señal de error cuya **fase** depende de la relación entre  $X_1$  y  $X_2$ , según muestra la **Figura 11.43**.

- En los **potenciómetros circulares**, la señal de error es:  $e = k (\varphi_1 - \varphi_2)$ , donde  $k$  es una constante de proporcionalidad que depende de diversos factores. Su esquema es el de la **Figura 11.44**.

- Hay otros tipos de comparadores, como son los **ópticos**, que generan una intensidad de corriente en función de la superficie iluminada.

- En el mercado existen **circuitos integrados** que actúan como comparadores analógicos y digitales; entre los primeros en **tecnología TTL** está el **741** y entre los segundos tenemos el **7485**.



(donde  $l$  es la longitud del potenciómetro)

Fig. 11.42. Puente de potenciómetros.

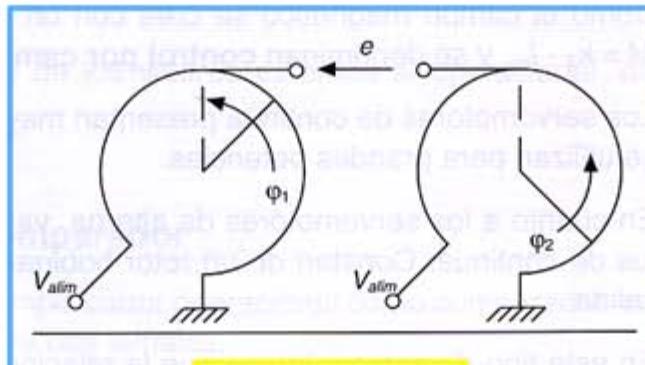


Fig. 11.44. Potenciómetros circulares.

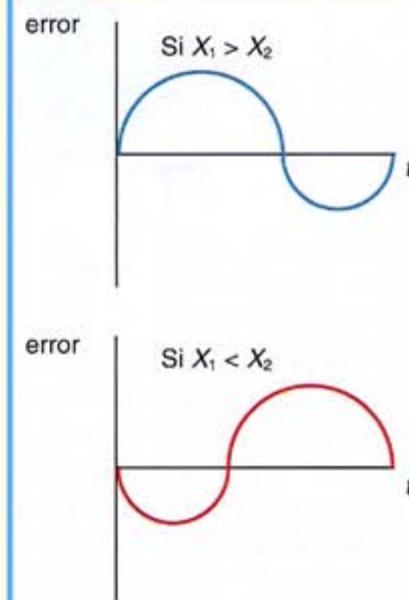
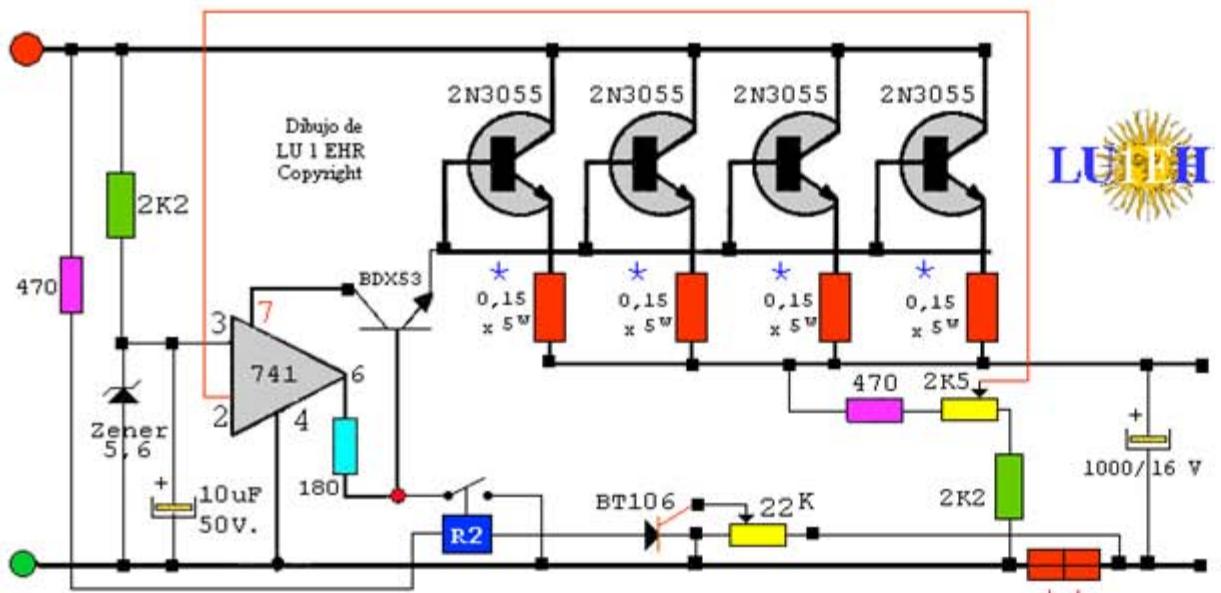


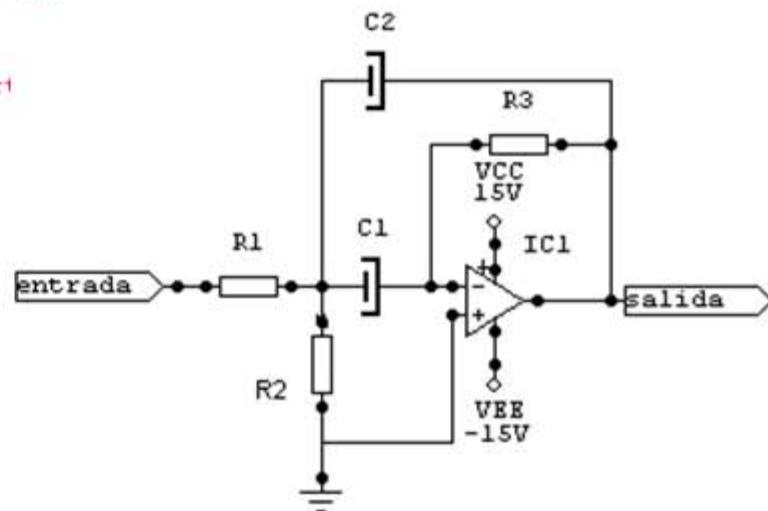
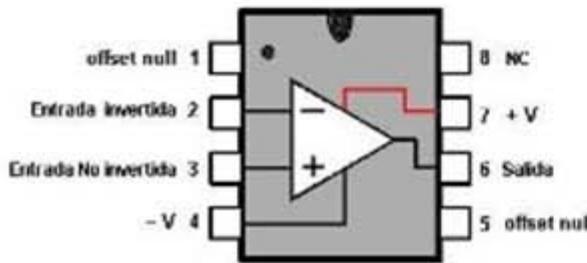
Fig. 11.43. Señal alterna de error.

Entrada + 25 Volts.



Entrada Negativo.

ms (ver dibujo aparte).  
acuerdo al dibujo aparte

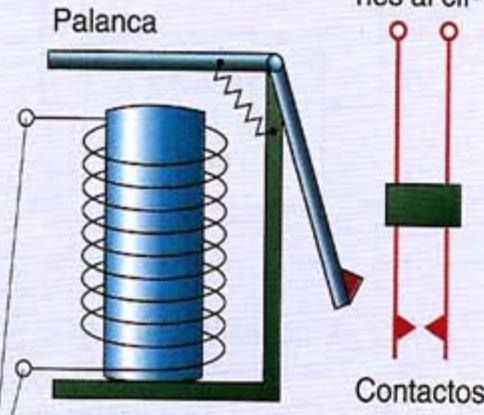


CIRCUITO INTEGRADO 741

## Elementos finales o actuadores

Son los órganos de mando de una válvula, compuerta, etc., entre los que pueden estar las bobinas y los relés, capaces de obedecer a una señal eléctrica o neumática procedente del controlador para llevarla a una posición deseada. La Figura 11.45 presenta el funcionamiento de un relé.

Palanca



Conexiones de alimentación

- El **servomotor de válvula** consta de un diafragma sobre el que actúa la presión del aire, y ejerce una fuerza sobre la que se opone la tensión de un resorte. Si la fuerza sobre el diafragma es menor que la tensión del resorte, el vástagos se desplaza hasta alcanzar la presión de equilibrio.
- En otras ocasiones se emplea el **servomotor de pistón**, cuando las carreras o los desplazamientos son importantes, o si se necesitan tiempos de respuesta reducidos.
- Existe otro tipo de servomotores que son los que funcionan con energía eléctrica. Estos servomotores, a partir de una señal de control, consiguen un par máximo de rotación o de traslación.

Pueden ser de dos tipos:

- **Servomotores de continua**
  - Control por campo.
  - Control por armadura.
- **Servomotores de alterna**

Fig. 11.45. Funcionamiento de un relé. Al pasar corriente por la bobina, se induce un campo magnético que atrae el mecanismo de palanca que, a su vez, cierra los contactos en caso de ser un relé normalmente abierto (también los puede abrir, si el relé es normalmente cerrado).

# Elementos finales o actuadores

La principal característica del motor es que debe responder rápidamente, por lo que el **momento de inercia debe ser pequeño**.

También ha de tener una **gran capacidad para frenar un movimiento contrario en el momento que cambie el sentido de giro**.

- **Servomotores de continua**
  - Control por armadura.
  - Control por campo.

En los servomotores de continua el **par** es igual a:  $M = k I B$

El par depende del **campo B** y de la **intensidad** que circula por el rotor.

- Si hacemos que una de las variables sea fija, por ejemplo  $B = \text{cte.}$ :  $M = k_1 I$ , que indica que el par es proporcional a la intensidad del rotor. Es el denominado **control por armadura**.
- Si mantenemos  $I = \text{cte.}$ , resulta:  $M = k_2 B$

Como el campo magnético se crea con un **electroimán**  $B = k' I_{\text{exc}}$  con lo que:  $M = k_3 \cdot I_{\text{ex}}$ , y se denominan **control por campo**.

Los **servomotores de continua** presentan mayor rendimiento que los de alterna y se utilizan para grandes potencias.

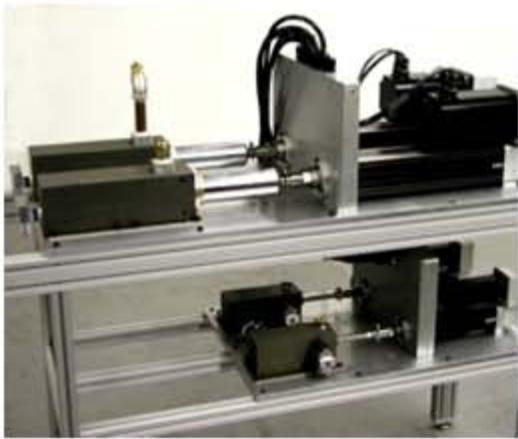
## • Servomotores de alterna

En cuanto a los servomotores de alterna, van a desarrollar **menor potencia** que los de continua. Constan de un **rotor bobinado** que tiene unidas la **entrada y la salida**.

- En este tipo de servo interesa que la relación entre el **diámetro** y la **longitud del rotor** sea **pequeña** para tener un **momento de inercia** también **pequeño**.
- En el **estator** se colocan **dos bobinados desfasados 90°** en los que se introducen **señales diferentes**.



## SERVOMOTORES DE VÁLVULA



## SERVOMOTORES DE PISTÓN



SERVOMOTORES DE CONTINUA



SERVOMOTORES DE ALTERNA

# El amplificador operacional

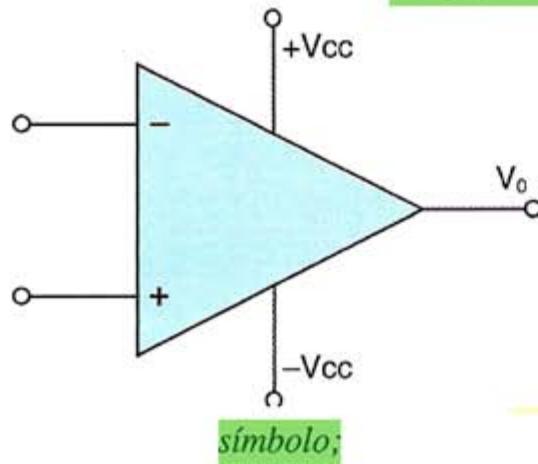
En los sistemas de control analógicos es frecuente disponer de señales de mV o mA. Para utilizarlas, los circuitos utilizan un componente capaz de amplificar la señal a través de una energía de alimentación (además de la que se disipa por el efecto Joule). A continuación, vamos a analizar el amplificador operacional en comportamiento ideal, muy útil para la mayoría de aplicaciones habituales.

## A

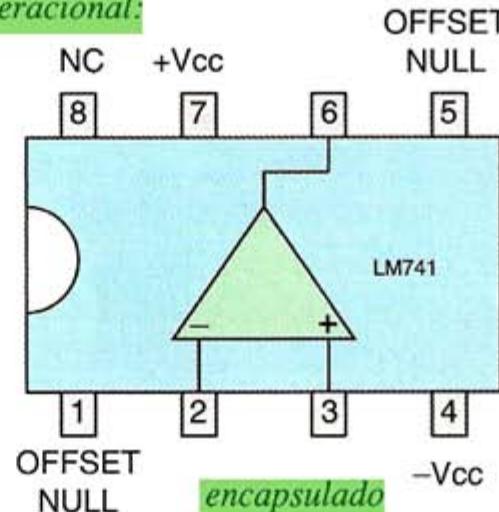
### El operacional como amplificador

## B

### El operacional como comparador



Amplificador operacional:



# El amplificador operacional

## A

### El operacional como amplificador

Este circuito integrado tiene dos entradas: la - (o inversora) y la + (o no inversora) y una salida (además de las dos patillas de alimentación ( $+V_{cc}$  y  $-V_{cc}$ ) y otras dos para el ajuste). En la Figura 11.46 se muestra el esquema y el detalle de conexiones, en total cinco patillas operativas y dos más para ajustar.

Para su análisis, se considera que el amplificador operacional en modo ideal posee una impedancia (resistencia) infinita, lo que implica que no se filtre intensidad por las entradas. Así, el potencial será igual en ambas entradas. Además, la entrada + (no inversora) se conecta a la masa (0 V), con lo que el potencial en ambas entradas es cero.

La Figura 11.47 muestra el amplificador operacional funcionando como amplificador inversor. La señal de salida está amplificada aunque cambiada de signo, lo que se puede solucionar con sólo poner dos etapas. Vamos a calcular la amplificación en tensión:

La intensidad  $I_1$  es  $I_1 = \frac{V_1}{R_1}$ , pues la diferencia de potencial que afecta a  $R_1$  es solamente  $V_1$ , al ser nulo el potencial en 2.

La intensidad  $I_2$  es  $I_2 = \frac{V_0}{R_2}$ , pues la diferencia de potencial que afecta a  $R_2$  es solamente  $V_0$  al ser nulo el potencial en 2. Dado que por la entrada 2 no hay paso de corriente (operacional ideal), la suma de las intensidades que concurren en el nudo debe ser cero,  $I_1 + I_2 = 0$ . Entonces:

$$I_1 = -I_2 = \frac{V_1}{R_1} = -\frac{V_0}{R_2} \Rightarrow \frac{V_0}{V_1} = -\frac{R_2}{R_1},$$

donde  $\frac{R_2}{R_1}$  es el factor de amplificación.

Así pues, la amplificación depende de los valores externos al operacional, es decir, de las resistencias  $R_1$  y  $R_2$ .

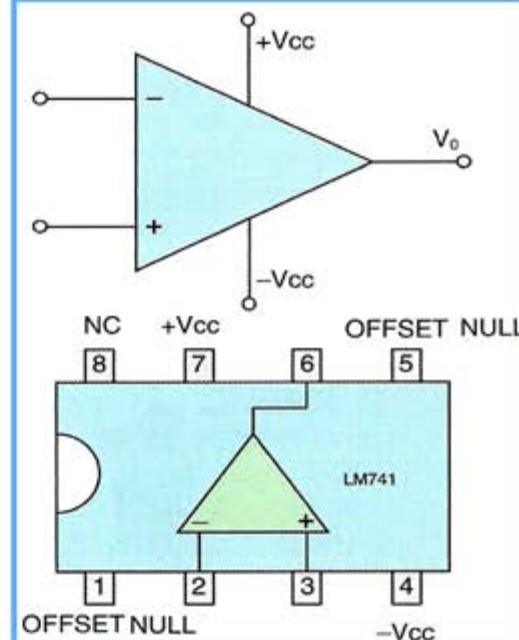


Fig. 11.46. Amplificador operacional: a) símbolo; b) encapsulado en el que se presenta un único operacional.

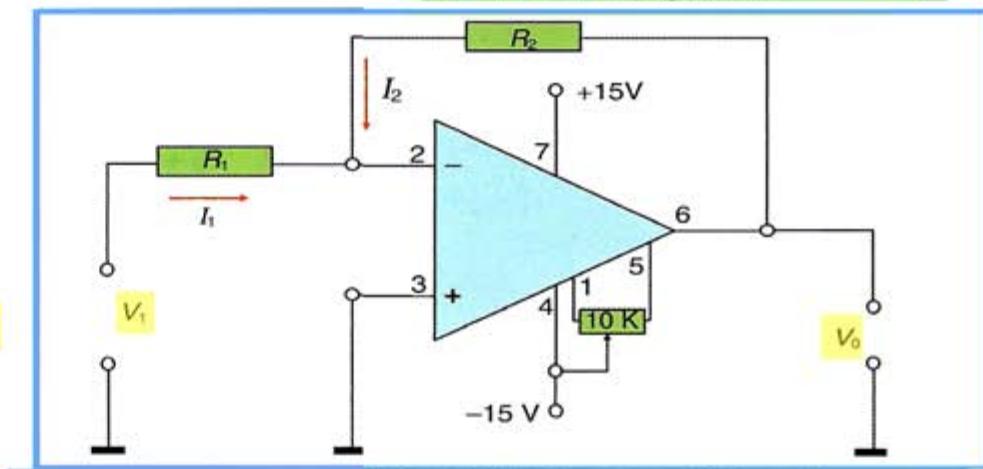


Fig. 11.47. Montaje práctico del amplificador operacional como amplificador inversor (con el potenciómetro de 10 kΩ se ajusta el cero, pero se puede dejar sin poner. Las patillas 1, 5, 4 y 8 no se suelen representar).

## B

## El operacional como comparador

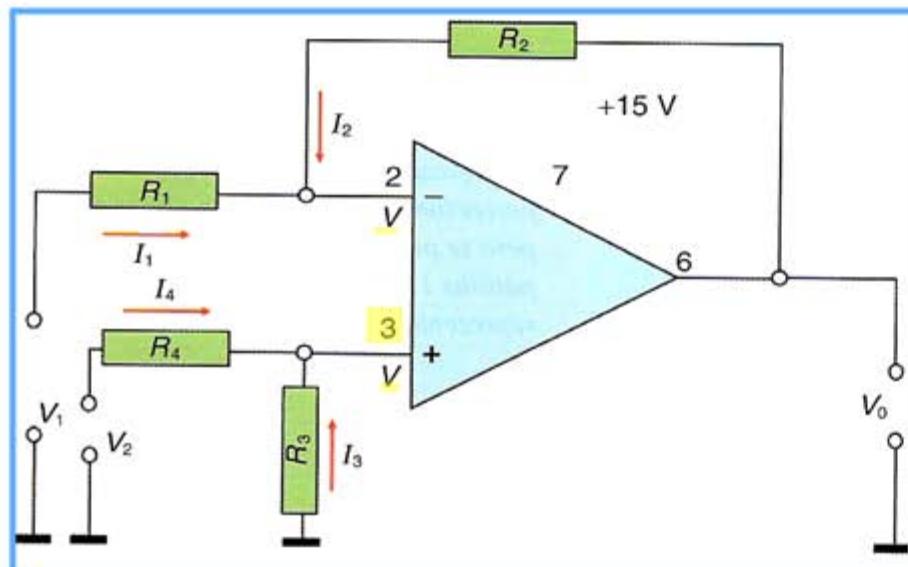
## El amplificador operacional

Vamos a estudiar la aplicación del amplificador operacional como **comparador**, es decir, para obtener la diferencia entre dos señales.

Es posible realizar **dos variantes**, bien con **la misma ganancia o amplificación** para las dos entradas **o bien con diferente**. Se calcula la expresión resultante de la tensión de salida para el **último caso** y luego se particulariza para el **primer**.

En la **Figura 10.48** se observa este montaje. Como la **entrada 3** no está conectada directamente a masa, entonces **no tendrá potencial nulo**. Con ello, **ambas entradas**, por definición del operacional ideal, **tendrán el mismo potencial**, que denotamos por  **$V$** .

$$\left. \begin{array}{l} I_1 = \frac{V_1 - V}{R_1} \\ I_2 = \frac{V_0 - V}{R_2} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{V_1 - V}{R_1} + \frac{V_0 - V}{R_2} = 0 \Rightarrow R_2 V_1 + R_1 V_0 - V(R_2 + R_1) = 0 \Rightarrow V = \frac{R_2 V_1 + R_1 V_0}{R_1 + R_2}$$



Realizando lo mismo en el **nudo inferior**:

$$\left. \begin{array}{l} I_3 = \frac{0 - V}{R_3} \\ I_4 = \frac{V_2 - V}{R_4} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{-V}{R_3} + \frac{V_2 - V}{R_4} = 0 \Downarrow R_3 V_2 - V(R_4 + R_3) = 0 \Downarrow V = \frac{R_3 V_2}{R_3 + R_4}$$

Fig. 10.48. El amplificador operacional como comparador con diferente amplificación para cada entrada.

**B**

## El operacional como comparador

## El amplificador operacional

Ahora se pueden igualar ambas fracciones:

$$\frac{R_2 V_1 + R_1 V_0}{R_1 + R_2} = \frac{R_3 V_2}{R_3 + R_4} \Rightarrow R_2 V_1 + R_1 V_0 = R_3 \frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} V_2 \Rightarrow V_0 = \frac{R_3}{R_1} \frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} V_2 - \frac{R_2}{R_1} V_1$$

- Como se observa, la entrada  $V_2$  es como si tuviera una amplificación  $\frac{R_3}{R_1} \frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4}$ , mientras que la amplificación de la entrada  $V_1$  es  $\frac{R_2}{R_1}$ .

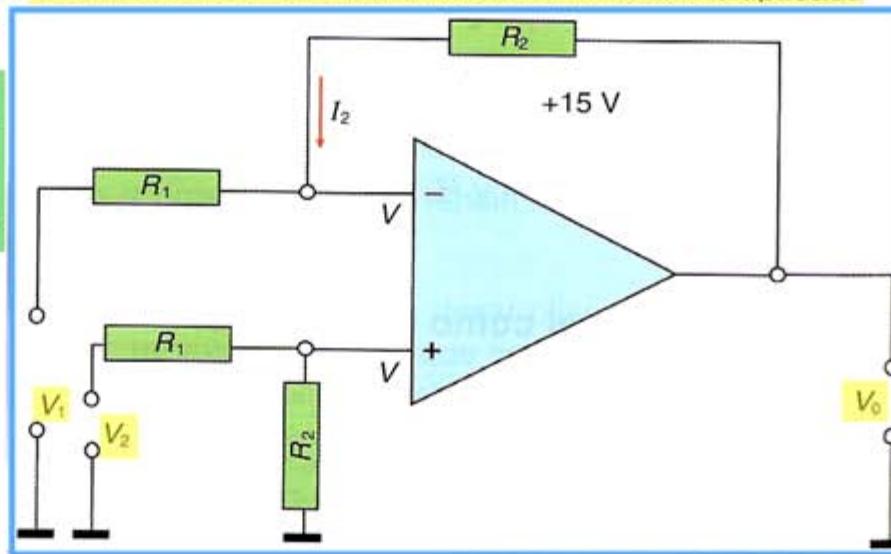
- Si hacemos  $R_1 = R_4$  y  $R_2 = R_3$ , entonces la expresión que da la señal de error o resultado de la comparación es:

$$V_0 = \frac{R_2}{R_1} \frac{R_1 + R_2}{R_2 + R_1} V_2 - \frac{R_2}{R_1} V_1 = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$$

Con lo que las dos actúan con la misma amplificación de valor  $\frac{R_2}{R_1}$

La Figura 10.49 muestra el montaje preciso para que la amplificación en cada entrada sea la misma. La salida será la diferencia entre las entradas multiplicada por dicha amplificación.

Fig. 10.49.  
El amplificador operacional como comparador con la misma amplificación para cada entrada.

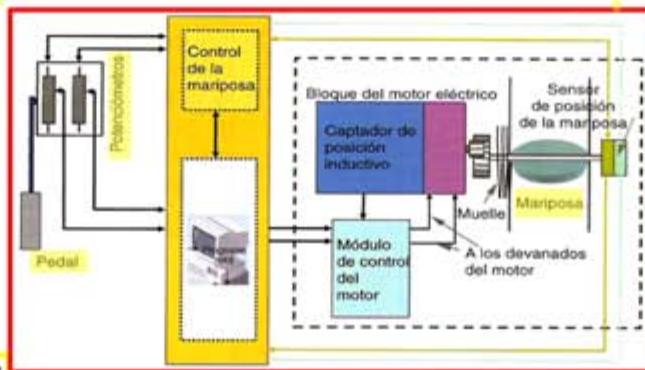
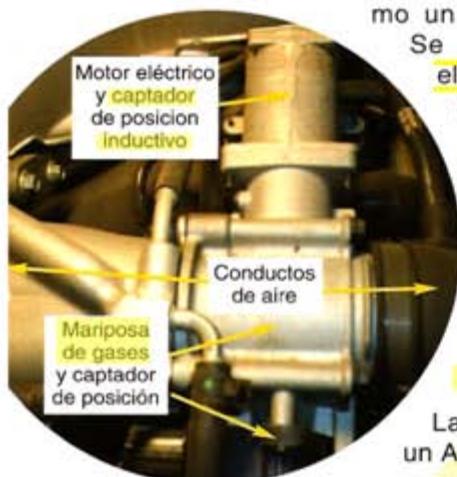


En más de una película hemos visto coches que arrancan a toda velocidad, haciendo que las llantas derrapen ruidosamente. Esto, que en el cine es tan espectacular, en realidad no es conveniente ni para las llantas ni para la economía de la potencia del motor. Para poder gestionar la potencia de tracción de manera que las ruedas no se deslicen cuando se pisa el acelerador, algunos automóviles con mucha potencia de motor disponen de un sistema de control de aceleración llamado ASR o Accelerator Skid Control.

El invento funciona de forma parecida al ABS, pero en el ciclo de la aceleración. Al pisar el acelerador interesa que las ruedas no se deslicen, para obtener la mayor tracción posible en las ruedas motrices. Así, cuando alguna rueda se desliza, la regulación de gases baja automáticamente para recuperar la tracción. Para ello, el dispositivo de aceleración no puede ser una simple unión mecánica como un cable de acero.

Se precisa un ingenio eléctrico que, por un lado, se desplace proporcionalmente al desplazamiento del pedal del acelerador y, por otro, en caso necesario, responda de manera autónoma y cierre el paso de aire al colector de admisión.

La fotografía muestra un ASR, donde se aprecia



## El acelerador es un reostato

perfectamente el grupo motor. Pero su funcionamiento se observa mejor en el esquema del centro de la página.

El conductor actúa sobre un pedal que incorpora unos potenciómetros de grafito. Esta señal llega al módulo de control de la mariposa e intercambia la información con el ordenador de a bordo, que es el encargado de enviar la señal de mando al módulo del control del motor que acciona la mariposa.

Como se observa en el esquema, todo el sistema está duplicado e incluso tripulado (se coloca más de un potenciómetro y más de un sensor de posición), para, de esta forma, detectar posibles averías.

En el caso de una avería grave el sistema se detiene y el muelle es entonces el encargado de dejar cerrada la mariposa de admisión, con lo que el automóvil no puede moverse.

El procesador principal —que, además, realiza la tarea de control del climatizador, entre otros servicios—, al recibir información del sistema ABS detecta el cambio de velocidad de unas ruedas respecto de otras y puede ordenar al módulo de control de la mariposa de admisión que reduzca su abertura para que entre menos aire al motor y, al disminuir la potencia, las ruedas de tracción no patinen.

Así como el ABS no se puede desconectar a voluntad del conductor, el ASR suele disponer de un botón.

- 1 Un sistema de medida de la temperatura para un horno de cocinar precisa representar la temperatura en tres displays, en el rango de 50° a 250° a intervalos de 5 en 5 grados. ¿Cuál debe ser el número mínimo de bits a emplear en un conversor analógico-digital? ¿Cuál sería en un intervalo nuevo de medida? ¿Qué precisión podemos obtener si el conversor es de 16 bits?
- 2 A un depósito cilíndrico semejante al de la Figura 11.50, se le coloca un medidor de nivel lineal como el que hemos visto en las Figuras 11.4 y 11.5. Realiza las correspondientes marcas de graduación en el voltímetro con el fin de visualizar el volumen de líquido en escala de 1/10 del volumen total. Toma como zona de visualización un arco de 5 cm de radio y 100° de amplitud. Las medidas del depósito son: diámetro interior, 3 m; altura útil, 6 m.



Fig. 11.50. Depósito cilíndrico.

- 3 Vuelve a hacer la misma medición del ejercicio anterior sobre un depósito de iguales características, pero que está tumbado.

7.10



Fig. 11.51. Depósito cilíndrico tumbado.

- 4 Para medir los pequeños desplazamientos se pueden emplear dos reglas resistivas que tienen las características siguientes:
  - Regla A, medida máxima: 50 mm alimentada a 10 V.
  - Regla B, medida máxima: 60 mm alimentada a 5 V.Vamos a medir solamente un desplazamiento máximo de 45 mm. Si ambas tuvieran el mismo precio, ¿qué regla elegirías, atendiendo nada más que a la sensibilidad?
- 5 En el caso anterior, la regla A tiene una histéresis de 0,05 % y la regla B de 0,02 %. ¿Cuál de ellas presenta menor diferencia absoluta?
- 6 Para detectar el paso de piezas de madera en una cinta transportadora emplearás detectores de proximidad inductivos o capacitivos.
- 7 Para medir deformaciones en un ensayo de tracción de una chapa se pega a ella una galga extensométrica de resistencia nominal 5 000 Ω y un factor de galga de 2,5. La chapa del acero tiene unas medidas de  $25 \times 1 \text{ mm}^2$  y un módulo de elasticidad de 220 000 N/mm<sup>2</sup>, siendo la fuerza de tracción de 500 Kp. ¿Cuál será la nueva resistencia de la galga?
- 8 Si la galga del ejercicio anterior recibe una tensión de 2 V, indica las lecturas de un amperímetro en reposo y con carga.
- 9 La misma galga anterior pasa a tener una resistencia 5 010 Ω. ¿Cuál ha sido la deformación unitaria experimentada por el material? ¿Qué fuerza de tracción se le ha aplicado si la sección era de 25 mm<sup>2</sup>?
- 10 Utilizamos una termorresistencia para medir la temperatura de un horno de cocina. El puente de Wheatstone que mide la temperatura a través de la resistencia variable (véase la Fig. 11.35) consta de dos resistencias  $R_2 = R_3 = 100 \Omega$ , acompañadas de una tolerancia. Queremos determinar el coeficiente de temperatura, para lo que lo introducimos en un horno a 200 °C, tras lo cual la resistencia de control del puente  $R_1$  marca 95 Ω. Si la resistencia nominal de la termorresistencia  $R_x$  es de 100 Ω, ¿cuál es el coeficiente de temperatura y su tolerancia?

- 11 La resistencia anterior se coloca en un horno y se alimenta con una tensión de 10 V, midiendo la temperatura a través de un amperímetro. Indica la lectura del amperímetro para una temperatura de 150 °C. Si la lectura es de 0,08 A, ¿cuál es la temperatura? ¿Qué indicará el amperímetro cuando la temperatura sea 180 °C?

- 12 Para medir ángulos sin excesiva precisión se utiliza un potenciómetro (reostato) semejante al de la Figura 11.52. ¿Cuál será la indicación del voltímetro en la posición mostrada?

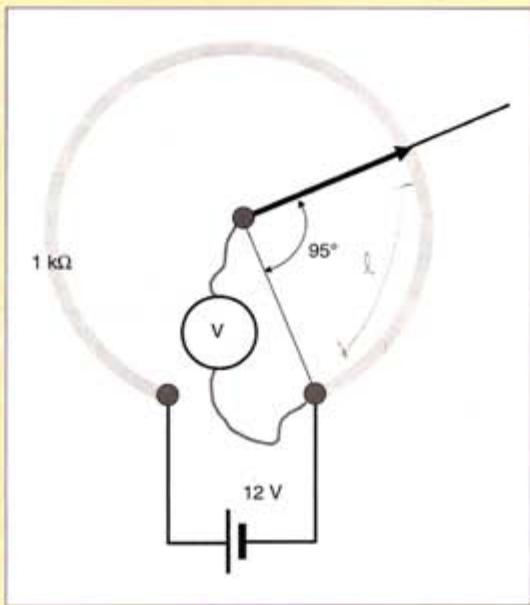


Fig. 11.52. Reostato.

- 13 Un termopar que, a una determinada temperatura, facilita una tensión de 15 mV, ha sido colocado en un circuito amplificador como el de la Figura 11.53. ¿Cuál será la lectura del voltímetro?

*Lb VO*

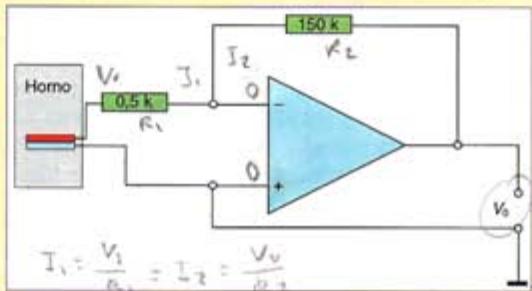


Fig. 11.53. Circuito amplificador.

*Iz=0*

- 14 Utilizando las propiedades del operacional ideal y la ley de Ohm, calcula la amplificación del montaje de la Figura 11.54. ¿Qué ventaja e inconveniente encuentras respecto al montaje del ejercicio anterior?

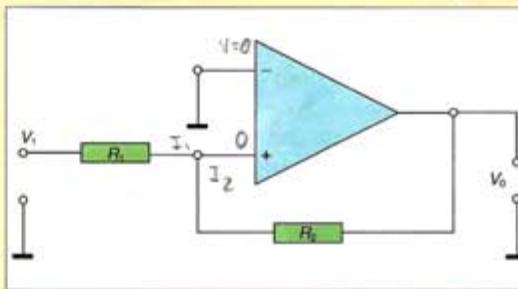


Fig. 11.54. Circuito amplificador.

## **SELECTIVIDAD SISTEMAS DE CONTROL**

### **Selectividad 2009**

Selectividad 2 de 2009. Opción B

- 4.- a) Explique el principio de funcionamiento de los sensores de proximidad inductivos e indique una posible aplicación. (1 punto)
- b) Respecto de un sistema de control, ¿qué se entiende por respuesta en régimen permanente? (1 punto)

Selectividad 3 de 2009. Opción A

- 4.- c) Diferencias entre una termorresistencia y un termistor. (0,5 puntos)

Selectividad 3 de 2009. Opción B

- 4.- a) Respecto de un sistema en lazo cerrado, a qué se denomina señal de error y como actúa sobre el sistema? (1 punto)
- c) Indique, mediante un gráfico Temperatura-Resistencia, la diferencia entre un termistor PTC y otro NTC. (0,5 puntos)

Selectividad 4 de 2009. Opción B

- 4.- b) Describa la función que realizan los siguientes elementos referidos a un sistema de control: transductor, comparador y actuador. (1 punto)

Selectividad 5 de 2009. Opción A

- 4.- b) En relación con un sistema de control en lazo cerrado, explique brevemente en qué consiste la realimentación. (1 punto)

Selectividad 5 de 2009. Opción B

- 4.- b) Respecto de un sistema de control de lazo cerrado, ¿qué se entiende por respuesta en régimen transitorio? (1,25 puntos)

Selectividad 6 de 2009. Opción A

- 4.- b) Indique el principio de funcionamiento y para qué se utiliza una galga extensiométrica. (1 punto)

Selectividad 6 de 2009. Opción B

- 4.- b) Indique el principio de funcionamiento, y para qué se utiliza, un detector piezoelectrónico. (1,25 puntos)

### **Selectividad 2008**

Selectividad 1 de 2008. Opción A

- 4.- Responda a las siguientes cuestiones:

- b) Explique en qué consiste la realimentación en un sistema de control y qué ventajas presentan los sistemas realimentados. (0,8 puntos)

Selectividad 1 de 2008. Opción B

- 4.- Responda a las siguientes cuestiones:

- b) ¿Qué se entiende por estabilidad en un sistema de control? (0,8 puntos)

Selectividad 2 de 2008. Opción A

- 4.- Responda a las siguientes cuestiones:

- c) ¿Qué elementos utilizaría para medir la presión de un circuito hidráulico a través de una señal eléctrica? (0,5 puntos)

Selectividad 3 de 2008. Opción A

4.- Responda a las siguientes cuestiones.

c) Dibuje el diagrama de bloques de un sistema de control de lazo cerrado, indique sobre él las variables más importantes y explique brevemente su funcionamiento. (0,5 puntos)

Selectividad 4 de 2008. Opción A

4.- Responda a las siguientes cuestiones.

b) ¿Qué elementos diferencian a los sistemas de control de lazo cerrado de los de lazo abierto? (0,8 puntos)

Selectividad 4 de 2008. Opción B

4.- Responda a las siguientes cuestiones.

c) Termistores y termopares: Función y principio de funcionamiento de cada uno. (1 punto)

Selectividad 5 de 2008. Opción A

4.- Responda a las siguientes cuestiones.

b) Las funciones de transferencia de un sistema de control de lazo cerrado son las siguientes: planta (G), realimentación (H) y controlador (C). Dibuje el diagrama de bloques de dicho sistema y obtenga la función de transferencia global entre la salida y la entrada. (1 punto)

Selectividad 5 de 2008. Opción B

4.- Responda a las siguientes cuestiones.

b) Controlador Proporcional-Integral (PI): dibuje un diagrama de bloques de un sistema de control y coloque un PI en su lugar correspondiente. ¿Cuál es su misión? (0,8 puntos)

Selectividad 6 de 2008. Opción A

4.- Responda a las siguientes cuestiones:

c) ¿Por qué son más precisos los sistemas de control de lazo cerrado que los de lazo abierto? (0,8 puntos)

## Selectividad 2010

### Selectividad 2010. Examen 1 Junio. Op. B. Ejercicio 4 .

b) En un sistema automático de control, defina los siguientes elementos: planta o proceso, entrada o consigna, perturbación y actuador. (0,75 puntos)

### Selectividad 2010. Examen Junio reserva A. Op. A. Ejercicio 4.

c) En relación con los transductores, ¿qué se entiende por campo o rango de medida? (0,8 puntos)

### Selectividad 2010. Examen Junio reserva A. Op. B. Ejercicio 4.

a) Explique el principio de funcionamiento de un termistor. (0,8 puntos)

b) ¿En qué se basa el funcionamiento de un sensor de proximidad inductivo? Indique una de sus aplicaciones. (0,7 puntos)

### Selectividad 2010. Examen Junio reserva B. Op. B. Ejercicio 4.

b) Dibuje el diagrama de bloques de un sistema de control de lazo cerrado e indique en qué bloque se incluiría un sensor de temperatura. Justifique la respuesta. (1,25 puntos)

### Selectividad 2010. Examen Septiembre reserva A. Op. A. Ejercicio 4.

b) Defina los conceptos de sensor, transductor, comparador y actuador, referidos a un sistema de control. (0,9 puntos)

### Selectividad 2010. Examen Septiembre reserva A. Op. B. Ejercicio 4.

c) Para un controlador proporcional e integral, explique brevemente el principio de funcionamiento y la diferencia entre ambas acciones. (1 punto)

### Selectividad 2011

- c) Dibuje el diagrama de bloques de un sistema de control en lazo cerrado, indicando el nombre de los bloques y las variables de entrada y salida de cada uno. **(0,5 puntos)**
- c) Qué se entiende por función de transferencia. **(0,5 puntos)**
- c) Describa dos aplicaciones de los ultrasonidos. **(0,5 puntos)**
- c) En un circuito de control, ¿qué misión tiene el comparador? **(0,5 puntos)**
- c) En un circuito de control, ¿qué representa la función de transferencia? **(0,5 puntos)**
- c) En un sistema de control en lazo cerrado a qué se denomina señal de error y cómo actúa sobre el sistema. **(0,5 puntos)**
- c) Explique el principio de funcionamiento de un termopar y su aplicación en los circuitos de control. **(0,5 puntos)**
- c) Explicar la realimentación en los sistemas de control y sus ventajas. **(0,5 puntos)**
- c) Diferencias entre los sistemas de control en lazo abierto y en lazo cerrado. Ponga un ejemplo de cada uno de ellos. **(0,5 puntos)**
- c) Diferencia entre lógica cableada y programada. **(0,5 puntos)**

## **SELECTIVIDAD 2012**

### **TEMA 10 y 11: Sistemas de control**

#### **Selectividad 1 de 2012. Opción A**

3.- c) En qué consiste el efecto Seebeck y para qué se utiliza. **(0,5 puntos)**

#### **Selectividad 1 de 2012. Opción A**

3.- c) Definir los conceptos de sensor y transductor referidos a un sistema de control. **(0,5 ptos)**

#### **Selectividad 2 de 2012. Opción A**

3.- c) Diferencias entre sistemas de control en lazo abierto y lazo cerrado. Poner un ejemplo real de aplicación de cada uno de ellos. **(0,5 puntos)**

#### **Selectividad 2 de 2012. Opción B**

3.- c) Explicar el principio de funcionamiento de un termopar y sus aplicaciones. **(0,5 puntos)**

#### **Selectividad 3 de 2012. Opción A**

3.- c) En relación con los sistemas de control, ¿qué se entiende por señal de error? ¿Cómo es utilizada por el sistema? **(0,5 puntos)**

#### **Selectividad 3 de 2012. Opción B**

3.- c) En un sistema de control, ¿cuál es la función del comparador o detector de error? ¿En qué tipo de sistemas se utiliza? **(0,5 puntos)**

#### **Selectividad 4 de 2012. Opción A**

3.- c) En un sistema en bucle cerrado, explicar brevemente en qué consiste la realimentación. **(0,5 puntos)**

#### **Selectividad 4 de 2012. Opción B**

3.- c) Indicar en qué se basa el efecto piezoelectrónico y algunas aplicaciones del mismo. **(0,5 ptos)**

#### **Selectividad 5 de 2012. Opción A**

3.- c) Explicar el principio de funcionamiento de un detector de proximidad capacitivo. ¿Para qué se utiliza? **(0,5 puntos)**

#### **Selectividad 5 de 2012. Opción B**

3.- c) Describir el principio de funcionamiento de un transductor PTC y de un NTC. **(0,5 puntos)**

#### **Selectividad 6 de 2012. Opción A**

3.- c) Dibujar el diagrama de bloques de un sistema de control en lazo cerrado e indicar el bloque que representaría un cilindro neumático. **(0,5 puntos)**

#### **Selectividad 6 de 2012. Opción B**

3.- c) En un sistema de control, qué se entiende por perturbación. Cite algún ejemplo. **(0,5 ptos)**

## **SELECTIVIDAD 2013**

### **TEMA 10 y 11: Sistemas de control**

#### **Ejercicio 3A**

- c) Indicar cuándo un sistema de control es estable (**0,5 puntos**).

#### **Ejercicio 3B**

- c) Diferencias entre circuito lógico combinacional y circuito lógico secuencial (**0,5 puntos**).

#### **Ejercicio 3A**

- c) Definir el concepto de perturbación y su influencia en un sistema de control de lazo abierto y en uno de lazo cerrado (**0,5 puntos**).

#### **Ejercicio 3B**

- c) Termistores: Principio de funcionamiento y tipos (**0,5 puntos**).

#### **Ejercicio 3A**

- c) ¿Qué elementos existen en un sistema de control de lazo cerrado que no existen en uno de lazo abierto? Justifique la necesidad de los mismos (**0,5 puntos**).

#### **Ejercicio 3B**

- ¿Qué función realiza el regulador en un sistema de control en lazo cerrado? Dibujar un diagrama de bloques de dicho sistema e indicar el lugar que ocupa el regulador. (**0,5 pto**).

#### **Ejercicio 3A**

- c) Describir el principio de funcionamiento de los termistores e indicar los principales tipos que existen (**0,5 puntos**).

#### **Ejercicio 3B**

- c) Enunciar las leyes de Morgan para tres variables e implementarlas con puertas lógicas (**0,5 p**).

#### **Ejercicio 3A**

- c) En un sistema de control, ¿qué es la función de transferencia? (**0,5 puntos**).

#### **Ejercicio 3B**

- c) Transductores de proximidad. Tipos y principios de funcionamiento (**0,5 puntos**).

#### **Ejercicio 3A**

- c) Si las variables a, b, c y d provienen de cuatro captadores, ¿qué tipo de sensores serían, analógicos o todo/nada? Razone la respuesta (**0,5 puntos**).

#### **Ejercicio 3B**

- c) Descripción y principio de funcionamiento de un termopar. (**0,5 puntos**).

## SELECTIVIDAD 2014

### *TEMA 10 y 11: Sistemas de control*

#### **Ejercicio 1A**

- c) ¿Qué diferencias existen entre un sistema digital combinacional y otro secuencial? **(0,5 puntos).**

#### **Ejercicio 1B**

- c) Definir el concepto de realimentación en un sistema de control de lazo cerrado **(0,5 puntos).**

#### **Ejercicio 2A**

- c) Indicar el principio de funcionamiento de las galgas extensiométricas y posibles aplicaciones **(0,5 puntos).**

#### **Ejercicio 2B**

- c) Diferencias entre sistemas de control en lazo abierto y lazo cerrado. Citar un ejemplo real de aplicación de cada uno de ellos **(0,5 puntos).**

#### **Ejercicio 3A**

- c) ¿Qué ventajas tiene en la práctica la simplificación de funciones lógicas? **(0,5 puntos).**

#### **Ejercicio 3B**

- c) Explicar el funcionamiento de un transductor de temperatura tipo NTC **(0,5 puntos).**

**INSTITUTO DE TECNOLOGIA 2014-2015**