



Sensores

Susana Borromeo
Ángel Luis Álvarez
Dpto. de Tecnología Electrónica



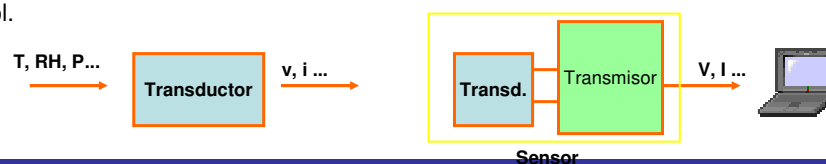
Concepto de Transductor y Sensor. Especificaciones

- **Def. Transductor:**

Dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de magnitud física de entrada, en otra diferente de salida. En nuestro caso, la magnitud de salida será eléctrica: corriente o tensión.

- **Ej. :** Un micrófono incorpora un transductor electroacústico (por ejemplo piezo-eléctrico) que convierte la energía acústica (vibraciones sonoras: oscilaciones en la presión del aire) en energía eléctrica (variaciones de voltaje).

- **Nota.** El transductor es la cabeza sensible del **sensor**. El sensor electrónico incluirá, además, lo que se llama un TRANSMISOR, que es un circuito acondicionador de señal y, en muchos casos, electrónica de procesamiento y control.





Tipos de sensores

1.- Según la magnitud eléctrica que varía en función de la magnitud física

a. Pasivos

- Resistivos: Potenciómetros, NTC, PTC, LDR, Magnetoresistivos
- Inductivos: Inductancia Variable, LVDT
- Capacitivos
- Ópticos (semiconductores): fotodiodos, fototransistores, CCDs

b. Activos

- Termopares
- Efecto Hall
- Piezoeléctricos

2.- Según la conversión magnitud física- magnitud eléctrica

- Directo
- Elemento de acondicionamiento intermedio



Tipos de sensores

Magnitud	Sensor	Salida eléctrica
Campo magnético	Efecto Hall	Tensión
	Magnetoresistencia	Resistencia
Temperatura	Termopar	Tensión
	RTD	Resistencia
	Termistor	Resistencia
	CI	Tensión
	Infrarrojos	Corriente
Humedad	Capacitivo	Capacidad
	Infrarrojos	Corriente
Fuerza, Peso Par, Presión	Galgas	Resistencia
	Célula de carga	Resistencia
	Piezoeléctrico	Tensión o carga
	Mecánico	Resistencia, Tensión, Cap.
Luz	Fotodiodo	Corriente



Tipos de sensores

Magnitud	Sensor	Salida eléctrica
Movimiento, Vibración	LVDT	Tensión ac
	Piezoeléctrico	Tensión o carga
	Micrófono	Tensión
	Ultrasonidos	Tensión, resistencia, corriente
	Acelerómetro	Tensión
Flujo	Magnético	Tensión ac
	Másico	Resistencia
	Ultrasonidos	Frecuencia
	Hilo caliente	Resistencia
	Mecánico (turbina)	Tensión
Nivel, Volumen	Ultrasonidos	Tiempo
	Mecánico	Resistencia, tensión
	Capacitivo	Capacidad
	Interruptor	On/Off
	Térmico	Tensión



Especificaciones de un sensor

- Linealidad
- Precisión (error en la medida)
- Sensibilidad (variación de la medida respecto a cambios de entrada)
- Repetitividad de la medida.
- Poder de resolución
- Intercambiabilidad (necesidad de recalibración o no)
- Estabilidad a largo plazo. Resistencia a los contaminantes físicos o químicos.
- Tiempo de respuesta. Capacidad de recuperación.
- Tamaño
- Encapsulado.
- Electrónica integrada. Salidas procesables.
- Coste.

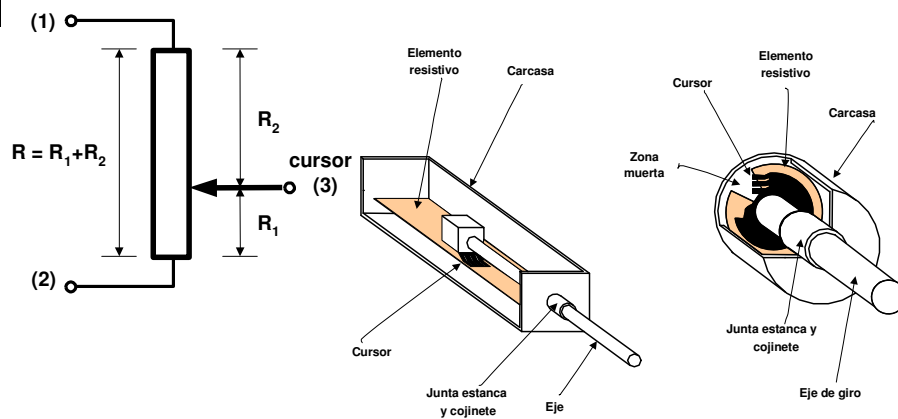


Transductores Resistivos

- Potenciómetros: sensor de desplazamiento (lineal, angular)
- Termistores: NTC, PTC
- LDR (sensor de luminosidad)
- galgas extensiométricas (sensor de deformación)
- Magnetoresistencias (campo magnético)
- RTD (sensor lineal de temperatura)

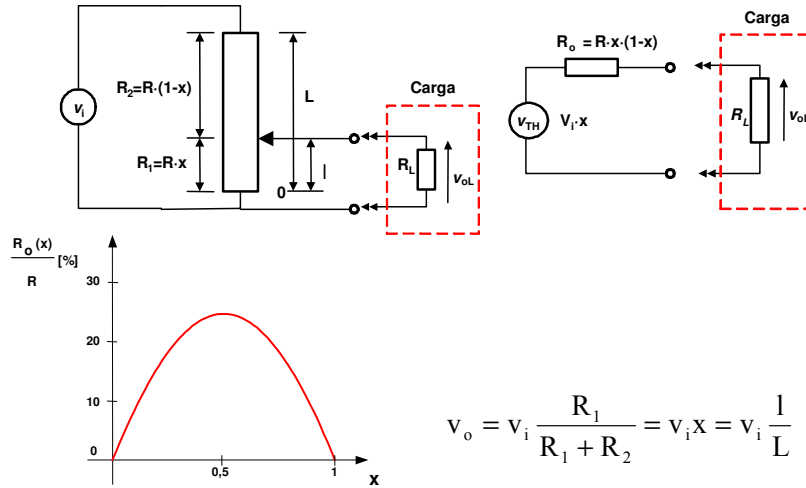


Potenciómetros

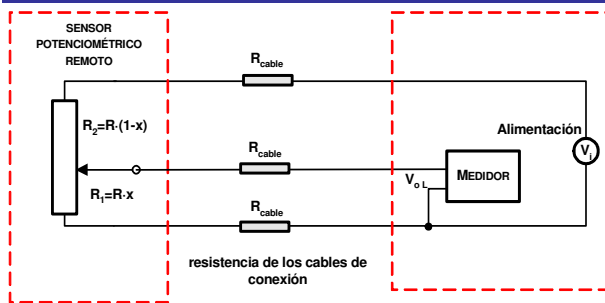




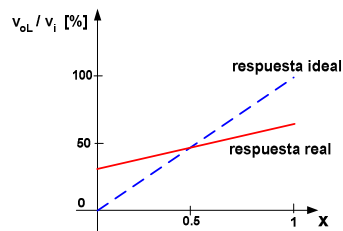
Acondicionamiento de Potenciómetros (sin carga)



Técnica de medida a 3 hilos



$$v_{oL} = v_i \frac{Rx + R_{cable}}{R + 2R_{cable}} = v_i \frac{x + h}{1 + 2h}$$

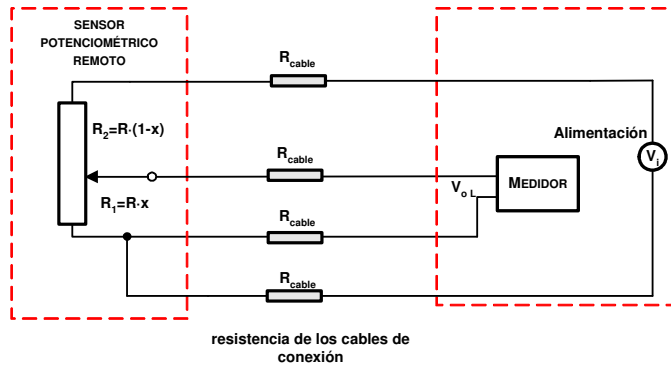


$$v_{oL}(0) = v_i \frac{h}{1 + 2h}$$

$$S = v_i \frac{1}{1 + 2h}$$



Técnica de medida a 4 hilos



$$V_{oL} = V_i \frac{Rx}{R + 2R_{cable}} = V_i \frac{x}{1 + 2h} \quad \text{siendo } h = R_{cable}/R.$$



Ejemplo

Calcular el error de offset y de sensibilidad de un sistema de medida a 3 hilos si la longitud del cable es de 200 m y se utiliza cable de 20Ω/Km. Proponer un sistema para corregir ambos errores. Considere un potenciómetro de 100Ω de resistencia nominal y una tensión de alimentación de 5V



Tipos de sensores: Control de Temperatura

RTD (*Resistance Temperature Detector*):

Sensor de temperatura de resistencia METÁLICA. Se basan en que la resistencia eléctrica de metales puros aumenta con la T. En algunos de forma casi lineal. Típico ejemplo: **Pt100**

Termistor. NTC (Negative Temperature Coefficient), o PTC (Positive Temperature Coefficient).

NTCs: Son resistencias de material semiconductor (óxidos metálicos) cuyo valor DISMINUYE cuando aumenta la temperatura.

PTCs: Son termistores que presentan la propiedad de experimentar un AUMENTO brusco de la resistencia cuando la T supera un valor crítico, característico del material.

Termopar (*themocouple*)

Sensor de T constituido por la unión de dos metales diferentes, que produce una tensión (\approx mV) proporcional a la diferencia de temperaturas entre los puntos de la unión de ambos metales.



RTDs

- Son muy lineales en un amplio rango de temperaturas (-240°C a 650°C)

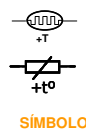
$$R_t = R_0(1 + \alpha \cdot T)$$

R_0 da nombre a la RTD,

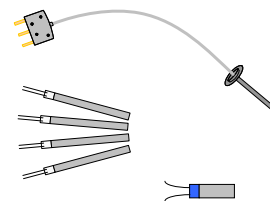
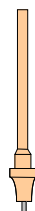
p.ej. Pt100 (RTD de platino con $R_0=100\Omega$)

En la Pt100, $\alpha = 3.85 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

- Estables y muy resistentes a contaminantes.
- Caras : varias decenas de €
- Cte. de tiempo larga, dependiendo del tamaño: varios segundos.
- Diversos tamaños: de cápsula tubular, de lámina

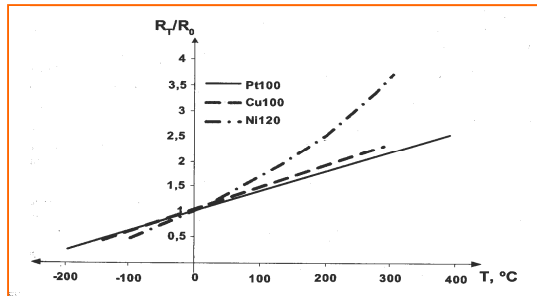


SÍMBOLO

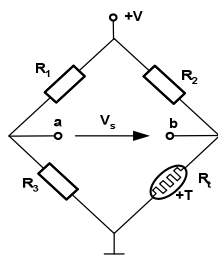


ASPECTO

Metal	Margen útil de temperatura (°C)	Valores de R ₀ (Ω)
Platino	-260 ÷ 900	25, 100, 400, 500, 1000 y 2000
Wolframio	-100 ÷ 1200	10, 50, 100, 1000 y 2000
Níquel	-200 ÷ 430	120, 1000
Cobre	-200 ÷ 260	10, 100, 1000
Balco	-100 ÷ 230	100, 1000 y 2000



Resistencia normalizada de varias RTDs en función de T



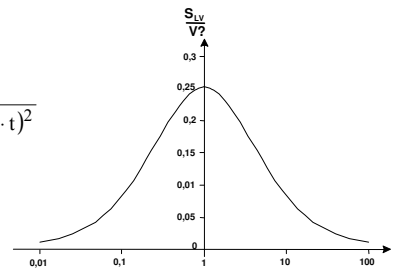
$$V_s = V_b - V_a = V \cdot \frac{R_0(1 + \alpha t)}{R_0(1 + \alpha t) + R_2} - V \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_3}$$

$$\frac{R_0}{R_0 + R_2} = \frac{R_3}{R_1 + R_3}$$

$$R_1 = R_2 = R = r \cdot R_0$$

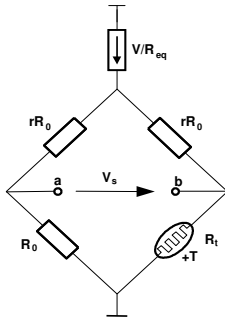
$$V_s = V \cdot \frac{r \cdot \alpha t}{(r + 1) \cdot (r + 1 + \alpha t)}$$

$$S_V = \frac{dV_s}{dt} = V \cdot \alpha \cdot \frac{r}{(r + 1 + \alpha t)^2}$$





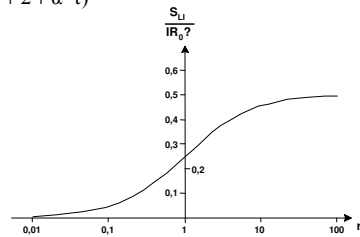
Acondicionador de señal



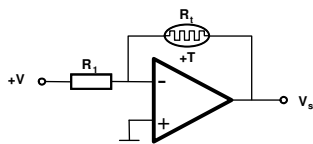
$$R_{eq} = \frac{R_0 \cdot (r+1) \cdot (r+1 + \alpha \cdot t)}{2r + 2 + \alpha \cdot t}$$

$$V_s = I \cdot R_0 \cdot \frac{r \cdot \alpha \cdot t}{2 \cdot (r+1) + \alpha \cdot t}$$

$$S_I = \frac{dV_s}{dt} = 2IR_0\alpha \cdot \frac{r \cdot (r+1)}{(2r + 2 + \alpha \cdot t)^2}$$

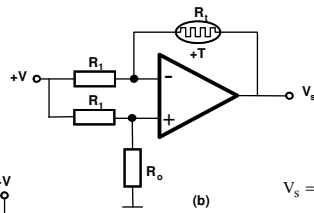


Acondicionador de señal



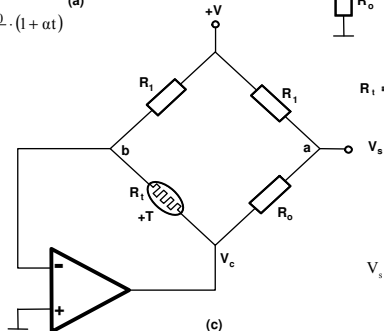
$$V_s = -\frac{V \cdot R_0}{R_1} \cdot (1 + \alpha t)$$

(a)



$$V_s = -\frac{V \cdot R_0}{R_1 + R_0} \cdot \alpha t$$

(b)



$$R_1 = R_0 \cdot (1 + \alpha t)$$

$$V_s = -\frac{V \cdot R_0}{R_1 + R_0} \cdot \alpha t$$

$$V_c = -\frac{V \cdot R_0}{R_1} \cdot (1 + \alpha t)$$

(c)



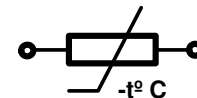
RTD: ejemplo

Se dispone de una RTD de platino de 100Ω que tiene un coeficiente de disipación térmica de 6 mW/K en aire y 100 mW/K en agua. Si se desea que el error por calentamiento sea inferior a $0,1^\circ\text{C}$.

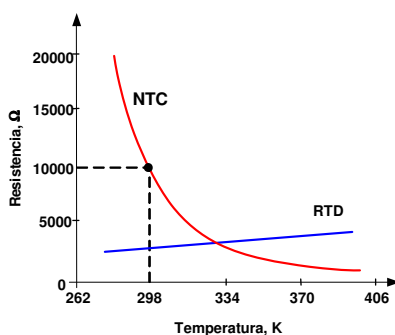
¿Cuánta corriente puede circular por la resistencia según que esté al aire o inmersa en agua?



NTCs



- Mezcla de óxidos metálicos (Ni-Mn-O, Ti-Fe-O, Ni-Cu-Mn-O)
- Muy alta sensibilidad 100 ohmios/grado (la PT100: $0.385 \text{ ohmios por grado}$)
- Muy baratos y pequeños (\Rightarrow menor cte. de tiempo). Pvp: $\approx 1 \text{ €}$
- Problemas de estabilidad: hay que “envejecerlos”, si no, pueden durar pocos años (típico 3-5 años)



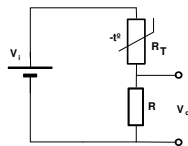
Respuesta en T comparada de una Pt100 y una NTC

$$R_T = R_0 e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \quad (T, \text{ en K})$$

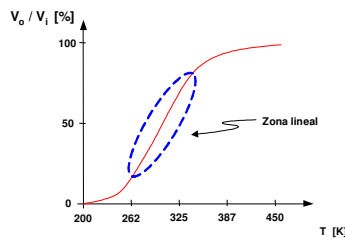
$$\alpha = \frac{1}{R_T} \frac{dR_T}{dT} = -\frac{B}{T^2}$$

NTCs

- No lineal $R(T) = R(T_0) \exp\{-B(1/T-1/T_0)\}$. Requiere linealizar en torno al punto de trabajo.
- Rango pequeño de T. Termostatos de hogar: 5°-45° → Útil para T ambiente
- Menos precisión (a veces no interesa más)



$$v_o(T) = v_i \frac{R}{R + R_T}$$



Linealizar: punto de inflexión en el punto medio del rango de medida (T_c):

$$\frac{d^2V}{dT^2} = 0 \Rightarrow R = \frac{B - 2T_c}{B + 2T_c} R_{TC}$$

Fuente de alimentación limitada por la potencia máxima que puede disipar la NTC:

$$P_{\max} = \frac{(V_{i\max}/2)^2}{R} \Rightarrow v_{i\max} = \sqrt{4P_{\max}R}$$

$$P_{\max} = \delta \cdot \Delta T$$

NTCs: Ejemplo

Diseñe un sistema de medida de temperatura entre 50 y 100°C con un error inferior a 2°C, utilizando una NTC con los siguientes datos:

$$B = 4600K,$$

$$R_0 = 100K @ 25^\circ C$$

$$\delta = 100 \text{ mW}/^\circ C$$

La salida debe llevarse a un convertor A/D con rango 0-5V



NTCs: Ejemplo

La figura representa un control de temperatura en el margen 10-50°C.

La señal de referencia T_{REF} varía entre -5V y 5V al igual que la T_{med} .

El sistema sensor está realizado con una NTC.

Se pide:

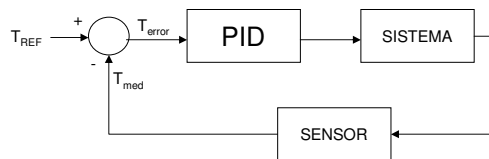
- Diseño del amplificador de error
- Diseño del bloque sensor
- Diseño del regulador PID con $K=2$, $T_n=0,1$ ms y $T_v= 0,005$ ms.

Datos de la NTC:

$$P_{max}=1mV$$

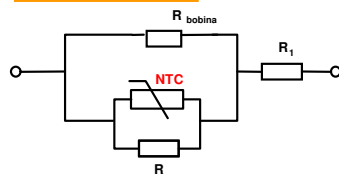
$$R_{NTC}(10^{\circ}C)=100K\Omega$$

$$R_{NTC}(50^{\circ}C)=17,7K\Omega$$

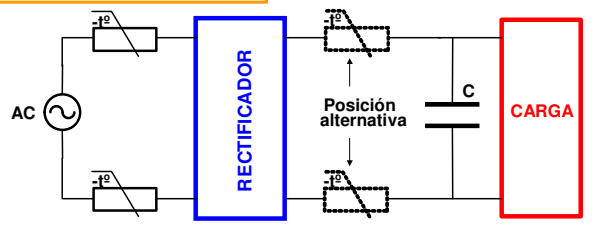


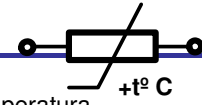
NTCs: aplicaciones

Compensación

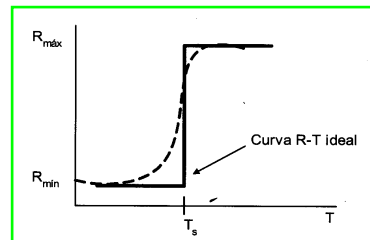
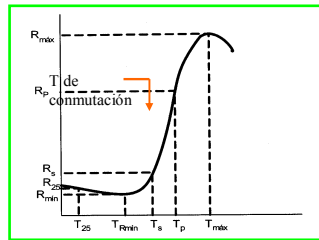


Protección sobre corrientes

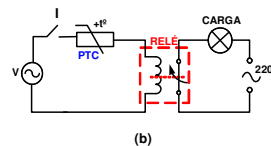
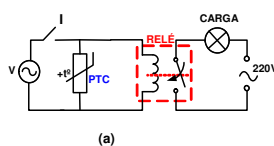
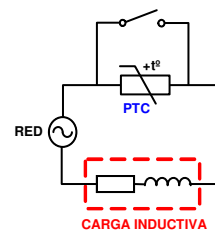
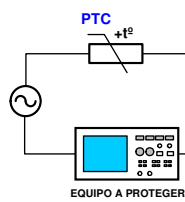
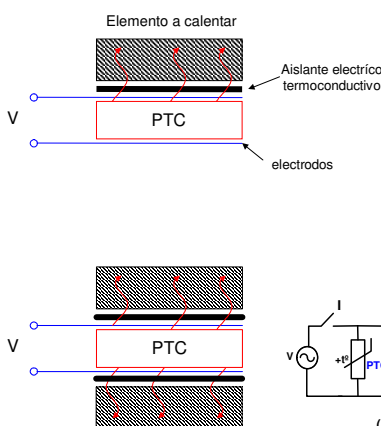




- Experimentan un cambio brusco en su valor resistivo cuando la temperatura supera un valor crítico que depende del material (la sensibilidad puede ser entre 15%-50% / °C)
- La mayoría de T_s varían entre 50º-160º C
- Más como sensor de temperatura se usa como protector



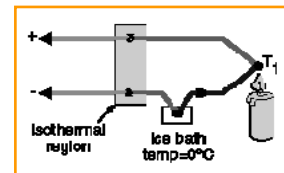
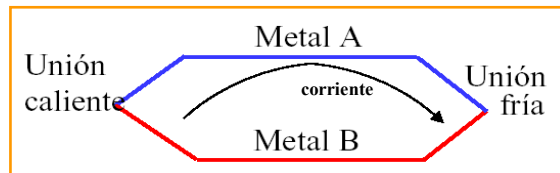
Curva resistencia vs. T de una PTC para conmutación





Termopares

- **Sensores activos.** Usan el efecto Seebeck, Peltier y Thomsom: circula una corriente cuando dos hilos de metales distintos se unen y se calienta uno de los extremos.
- En abierto, se puede medir el voltaje (\approx mV), que es proporcional a la diferencia de temperaturas.
- Presentan el problema de la calibración. Necesita conocerse la “unión fría”. Señal de salida muy baja y necesitan acondicionamiento de la señal.
- Sensibilidad baja: microvoltios por grado
- Aguantan muy bajas y muy altas temperaturas (p.e. calderas y hornos)
- Bastante lineales.
- Precio: pocas decenas de €



2008-2009

Instrumentación Electrónica

27



Termopares: Tipos

- **Termopar J: Hierro y Constanan (Cu-Ni).**
Afectado por corrosión
Rango: 0°C a +760°C. Precisión: 0.5%. Sensibilidad: 51.5 μ V/°C
- **Termopar K: Cromo y Alumel (Al-Ni).**
Buena resistencia a la oxidación, excepto por encima de 816° (Cr)
Rango: 0°C a +1.300°C y 600°C a 1.000°C en atm. oxidantes
Precisión: 1%. Sensibilidad: 40.5 μ V/°C
- **Termopar T: Cu y constantán.**
Adecuado para atmósferas oxidantes, inertes o reductoras.
Rango: -200°C a +350°C. Sensibilidad: 41 μ V/°C
- **Termopar R: Pt y Pt-13% Rodio.**
- **Termopar S: Pt y Pt-10% Rodio.**
Rango de medida más amplio (0°C a +1.600°C), pero más caros.
Precisión: 0.5%. Sensibilidad: 6 μ V/°C
- **Termopar W: Wolframio-5% Renio y Wolframio-26% Renio.**
Rango: 0°C a +2.800°C en atm. inertes o vacío. Precisión: 1%

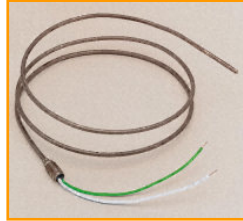
2008-2009

Instrumentación Electrónica

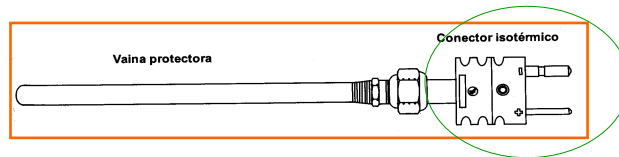
28



Termopares



Ref: <http://www.watlow.com/reference/refdata/TOP>
<http://www.picotech.com/applications/thermocouple.html>



2008-2009

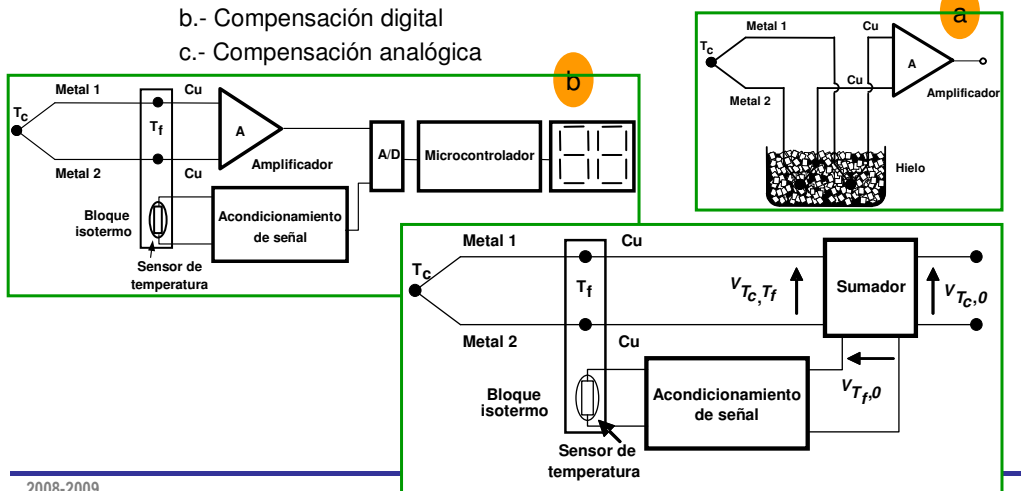
Instrumentación Electrónica

29



Termopares: circuitos de acondicionamiento

- 1.- Amplificador de tensión
- 2.- Necesidad de conocer la temperatura de la otra unión
 - a.- Compensación mediante uniones de referencia
 - b.- Compensación digital
 - c.- Compensación analógica



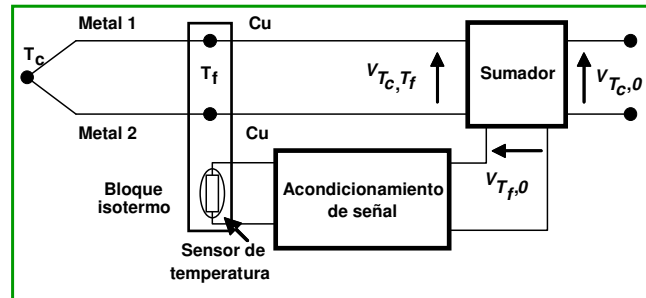
2008-2009



Termopares: ejemplo

Diseñe un circuito de acondicionamiento para un termopar de tiempo K para un campo de medida entre 0°C y 100°C de forma que su salida esté comprendida en el margen 0-1V. Se compensará la unión fría analógica mediante una Pt100 (suponga que la unión fría pueda estar comprendida entre 10°C y 30°C)

- 1.- Linealizar la curva
- 2.-Pt100 puente



Sensores de temperatura

	Acondicionamiento de señal requerido	Precisión	Sensibilidad	Comparación
Termopar	<ul style="list-style-type: none"> • Amplificación • Filtrado • Unión fría. Compensación 	Buena	Razonable	<ul style="list-style-type: none"> • Activo: genera señal • Baratos • Robustos • Muy amplio rango de temperatura. • Relativamente lineales
RTD	<ul style="list-style-type: none"> • Amplificación • Filtrado • Excitación en tensión o corriente 	La mejor	Mejor	<ul style="list-style-type: none"> • Pasivos • Muy precisas • Muy estables • Muy lineales • Caras
Termistor	<ul style="list-style-type: none"> • Amplificación • Filtrado • Excitación en tensión o corriente 	Mejor	La mejor	<ul style="list-style-type: none"> • Pasivos • Alta resistencia • Pequeña masa térmica • Casi sin coste

• **Nota.** Existen medidores de temperatura por radiación: **pirómetros**

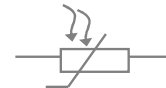


Sensores de temperatura

Semiconductor	Termistor	RTD	Termopar
<ul style="list-style-type: none"> Lineales: 1°C 10mV/K o 1µA/K Exactitud: 1°C Repetibilidad: 0-1°C 	<ul style="list-style-type: none"> Salida alta Rápidos Baratos Alta sensibilidad 	<ul style="list-style-type: none"> Estabilidad Exactitud Más lineales que termopar 	<ul style="list-style-type: none"> -184 a 2300°C Robustos Variedad Repetibilidad Generador
<ul style="list-style-type: none"> -55°C a 150°C Requiere fuente de excitación 	<ul style="list-style-type: none"> 0°C a +200°C No lineales Autocalentamiento Requiere excitación 	<ul style="list-style-type: none"> -200°C a 850°C Requiere excitación Pequeño ΔR Baja R absoluta Autocalentamiento 	<ul style="list-style-type: none"> Autocalentamiento No lineales Tensión salida baja Compensación unión fría Estabilidad



LDR: sensor de iluminación



Hay una enorme variedad de detectores de luz (fotodiodos, fototransistores, fotomultiplicadores, CCDs, etc.), dependiendo de su finalidad: comunicaciones, monitores, etc.

En domótica, una aplicación elemental es la detección de presencia-ausencia de luz ambiente, o de iluminación por encima de un umbral. También, alarmas de paso.

• **Def. LDR (Light Dependent Resistor):**

• Película delgada de material fotoconductor (CdS, etc) sobre sustrato cerámico protegida por un recubrimiento plástico delgado.

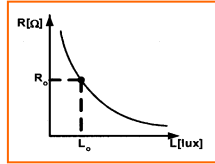
• Aplicaciones: Control automático de luminosidad, control de tiempo de exposición en cámaras, de ganancia automática, de iluminación pública, sensor de posición y detección de ruptura de haz (seguridad, etc)

• Más caras (> 1 €) que muchos fotodiodos, pero de acondicionamiento más sencillo. Respuesta algo más lenta y variable (ms-s), pero de sobra para domótica.



VT900 series

<http://www.perkinelmer.com/opto/>

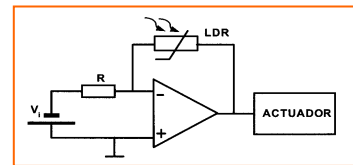
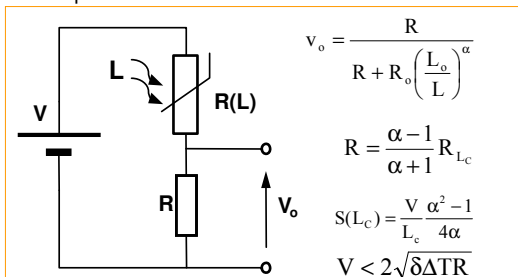


• Dependencia típica de la resistencia de una LDR con la luz incidente:

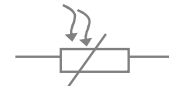
$$R_{LDR} = R_0 \left(\frac{L_0}{L} \right)^\alpha$$

$\alpha \approx (0.7 - 1.5)$, $R_0 \approx 2K-200K @ 10 \text{ lux}$

• **Nota:** La diferencia entre la R_{LDR} con niveles altos de luz y en oscuridad puede ser enorme: 4 órdenes de magnitud. La sensibilidad para bajos niveles de luz es muy acusada, y dependiente de T.



Acondicionador de una LDR para activación del control de persianas



EJERCICIO 4. (2 puntos)

Se va a diseñar un sistema de control de encendido y apagado automático de un sistema de iluminación, de forma que cuando la luz descienda por debajo de 20 lux se encienda.

El sistema está gobernado por un actuador que deberá recibir una señal superior a 5V.

Diseñe el sistema utilizando una LDR.

DATOS de la LDR:

$R_0 = 10000 @ 10 \text{ lux}$

$\alpha = 0,7$



Transductores de Reactancia Variable

- Sensores Inductivos
- Transformador diferencial lineal: LVDT
- Capacitivos

<http://www.dte.uvigo.es/recursos.php#sensores>

Señal de excitación DEBE ser una señal alterna!!!

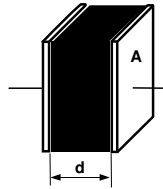


Sensores Capacitivos

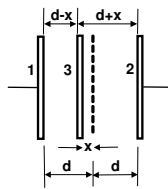
- Se basan en la variación de la capacidad de dos o más conductores entre los que se encuentra un dieléctrico, en respuesta a la variación de una magnitud física.
- Permiten detectar pequeños desplazamientos (hasta 10^{-10} mm)
- Fácilmente integrables en un chip de silicio
- No se ven afectados ni por la temperatura ni por el alimniamiento mecánico
- Muy estables en entornos hostiles
- Muy bajo consumo
- Cuota de mercado reducida
- Aplicaciones:
 - Detectores de presencia
 - Medidas de desplazamiento, presión, nivel y aceleración (integrados en Silicio)



Sensores Capacitivos: geometrías básicas

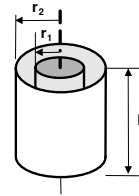


$$C = \frac{\epsilon A}{d}$$



$$C_1 = \frac{\epsilon A}{d-x}$$

$$C_2 = \frac{\epsilon A}{d+x}$$



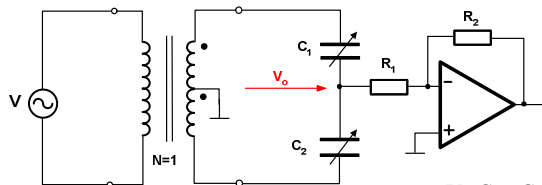
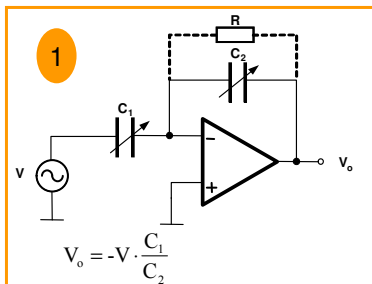
$$C = \frac{2\pi\epsilon h}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$



Sensores Capacitivos: circuitos de acondicionamiento

Calculada la C entre los electrodos del sensor ¿cómo mido esa C?

1. En una tensión
2. En una frecuencia
3. Modulación en ancho de banda



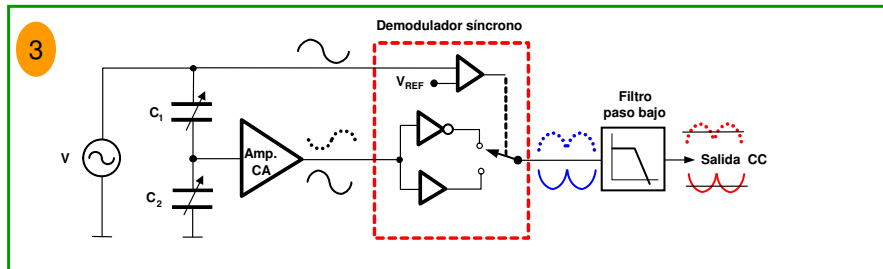
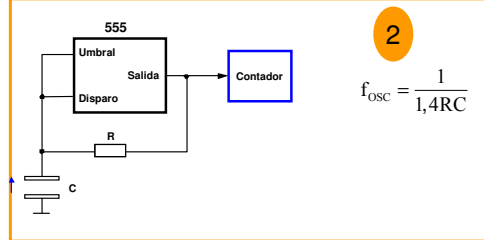
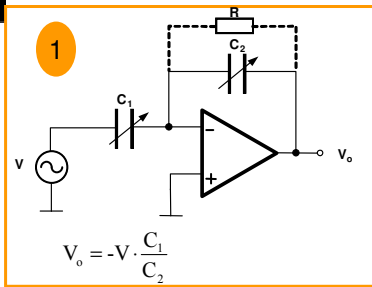
$$V_0 = \frac{V}{2} \cdot \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2}$$

- Salida lineal con la variación de A ó d
- Problemas de estabilidad

$$C = \frac{\epsilon A}{d}$$

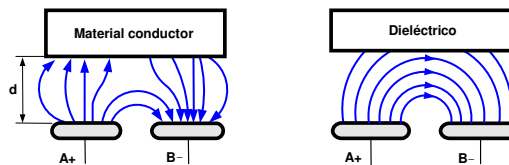


Sensores Capacitivos: circuitos de acondicionamiento

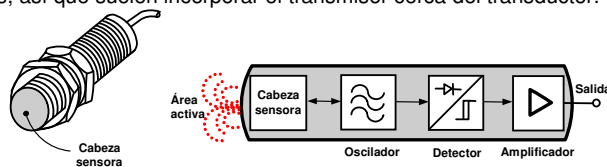


Sensores capacitivos: detector de proximidad

- Los **sensores de proximidad capacitivos** se basan en los cambios en el campo eléctrico entre placas que genera la cercanía de cualquier objeto.



- La capacidad se mide en AC, por lo que requieren un acondicionamiento complejo.
- No admiten fácilmente la detección a larga distancia, por las capacidades parásitas de los cables largos, así que suelen incorporar el transmisor cerca del transductor.



- Son de corto alcance: varios mm. Sirven como interruptores de contacto o detectores de nivel de líquidos



Sensores de proximidad

- Pueden estar basados en sensores capacitivos o en ultrasonidos

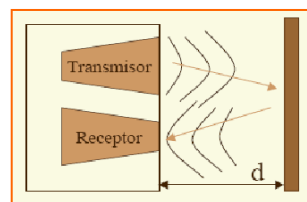
- Los **sensores basados en ultrasonidos** constan de un emisor de ondas sonoras de alta frecuencia (entre 20 y 40 kHz) que se propaga por el aire hasta que choca con el objeto o pared, se refleja y alcanza el receptor situado en el mismo punto que el emisor.

- El tiempo entre la emisión de la onda y la recepción del eco es inversamente proporcional a la distancia al obstáculo. existe una distancia mínima d (proporcional al tiempo de relajación del transductor) a partir de la cual el sensor mide con precisión.

- El tiempo depende de la T , por lo que hay que compensar las medidas.

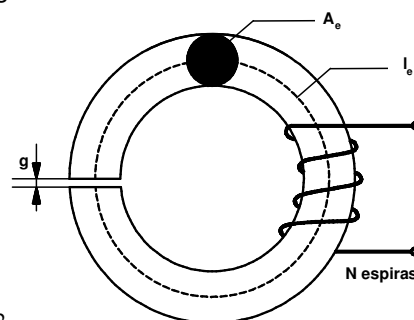
- Pueden ser sensibles al estado de la superficie del obstáculo (zonas porosas, espumas).

- Son muy utilizados en robótica, así como método no invasivo de medida de caudal



Sensores Inductivos

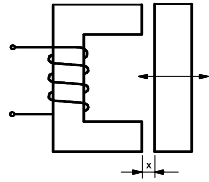
- Se basan en el efecto que las distintas variables físicas ocasionan sobre los parámetros que afectan a los valores de auto-inductancia o de acoplamiento magnético de las bobinas.



$$L = \frac{A_e N^2}{\frac{g}{\mu_0} + \frac{l_e}{\mu}} \longrightarrow L \approx \frac{\mu_0 A_e N^2}{g}$$



Sensores Inductivos



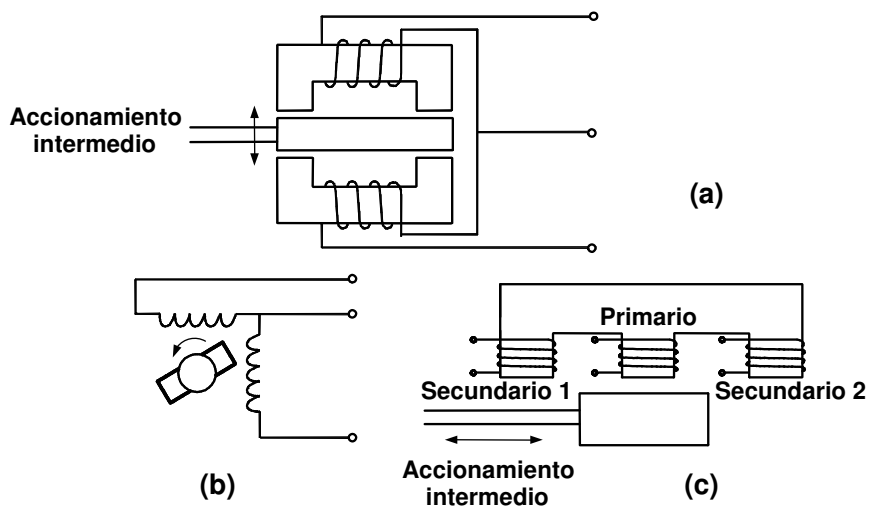
$$L = \frac{K}{x}$$

Sistema para la medida de desplazamiento basado en el cambio de la longitud del entrehierro:

- K depende del área efectiva y del nº de espiras
- No es lineal
- No válido para valores de entrehierro grandes

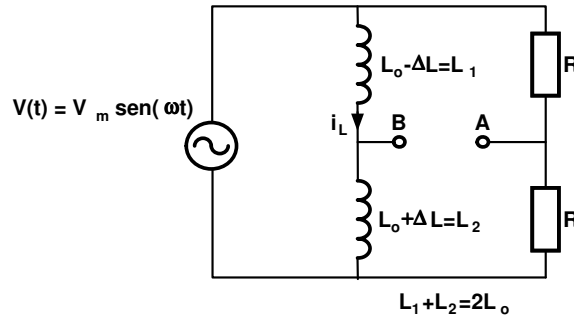


Sensores Inductivos





Sensores Inductivos: circuitos de medida



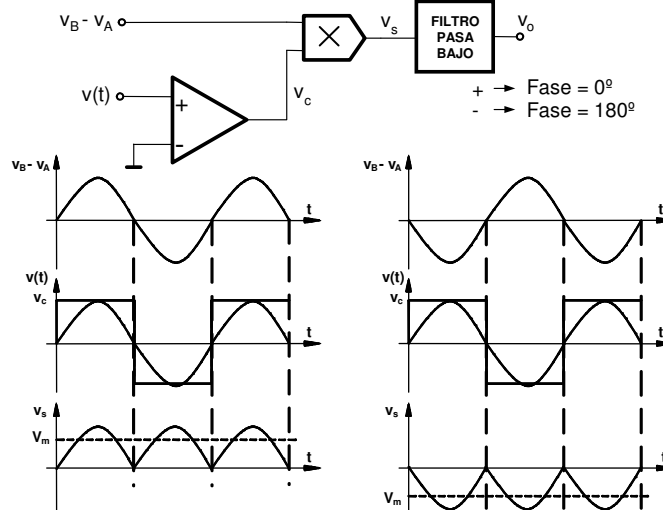
$$V_B - V_A = \frac{\Delta L}{2L_0} V_m \text{sen}(\omega \cdot t)$$

La magnitud del cambio se conoce por medio del valor de la señal de tensión entre los puntos A y B.

No detecta el signo, sólo el valor absoluto de L



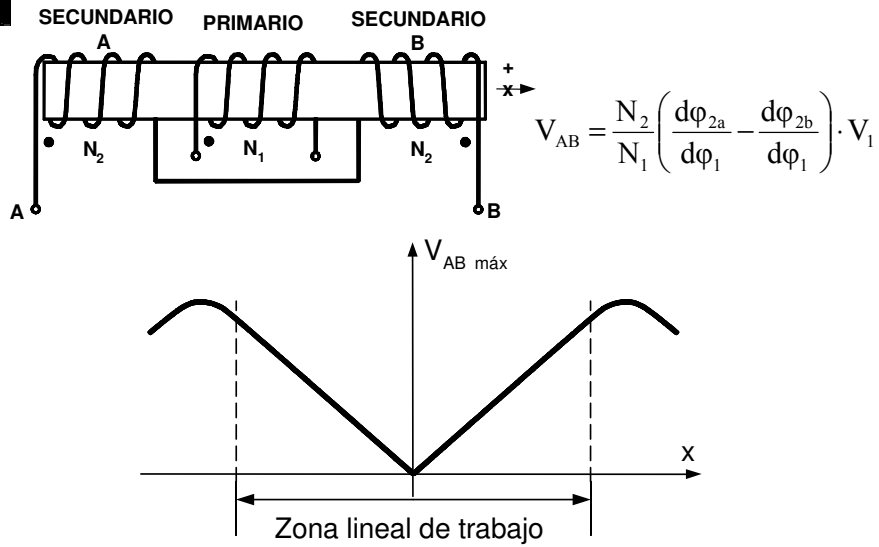
Sensores Inductivos: circuitos de medida



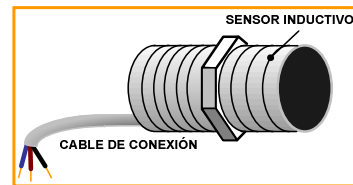
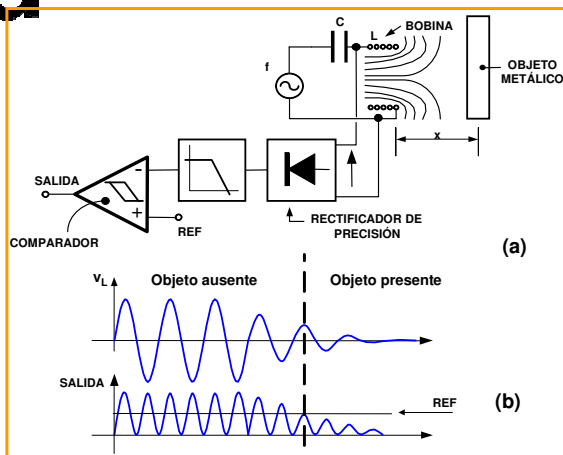
Detección de signo del desplazamiento basado en la detección de fase



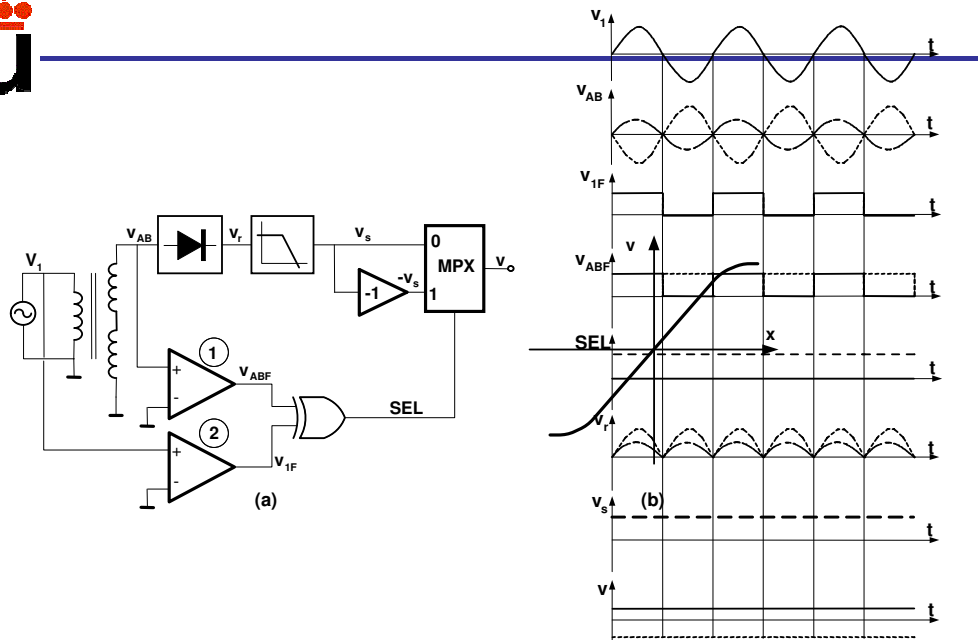
El transformador Diferencial Lineal: LVTD



Sensores inductivos de proximidad



Sensor ECKO (Eddy Current Killed Oscillator)



Otros tipos de sensores

- Electromagnéticos
- Piezoeléctricos
- Piroeléctricos
- Optoelectrónicos
 - ✓ Fotodiodos y fototransistores
 - ✓ CCDs
 - ✓ Fotomultiplicadores
- Efecto Hall

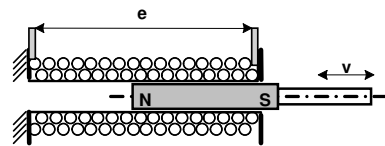


Sensores electromagnéticos

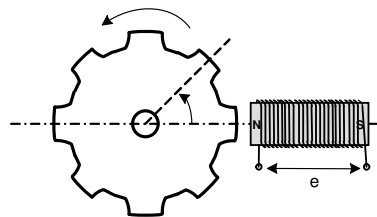
- Basados en la Ley de Faraday-Henry

$$e = -\frac{d\Phi}{dt}$$

- La f.e.m inducida en un conductor o bobina en un campo magnético constante depende de la velocidad con la que se produce el desplazamiento
- Aplicaciones: medida de la velocidad lineal y velocidad angular o posición angular (*resolvers*)



Sensor electromagnético de velocidad lineal

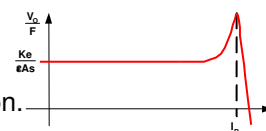


Tacogenerador de Reluctancia variable



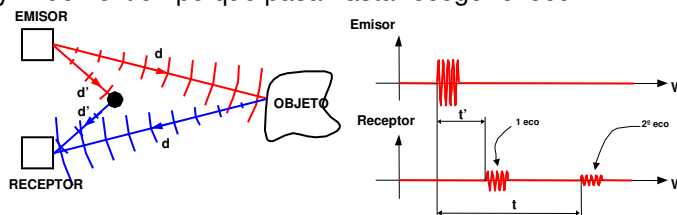
Sensores piezoeléctricos

- Basados en la propiedad de ciertos materiales de producir cargas cuando se ven sometidos a deformación.
- Dependencia con la frecuencia de trabajo
- Aplicaciones: medida de fuerza, presión y aceleración.



SENSORES DE UNTRASONIDOS

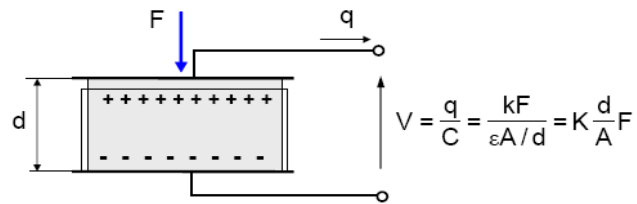
- Dispositivos reversibles que se usan en medidas basadas en la técnica pulso-eco tales como sonar, medida de distancia, ecografías...
- Trabajan en el pico de resonancia y sus circuitos de medida emiten un pulso y miden el tiempo que pasa hasta recoger el eco



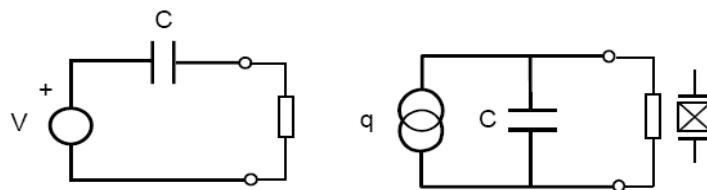


Sensores piezoeléctricos

♦ Efecto piezoeléctrico: $q = k F$ (efecto reversible)



Sensores piezoeléctricos

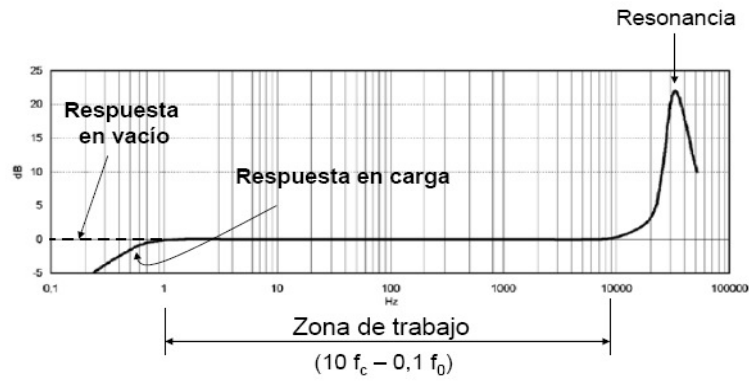


V = tensión a circuito abierto

C = capacidad del cristal



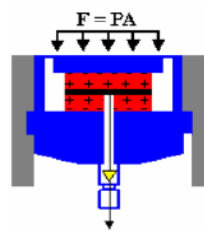
Sensores piezoeléctricos: respuesta en frecuencia



➤ SÓLO MEDIDAS DINÁMICAS (de fuerza, presión, aceleración)

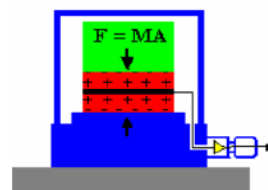


Sensores piezoeléctricos: aplicaciones



PRESION

- Hidráulica
- Neumática
- Automoción



ACELERACIÓN ($q=kF=kma$)

- Motores
- Turbinas
- Máquinas herramientas
- Puentes

© PCB Piezotronics



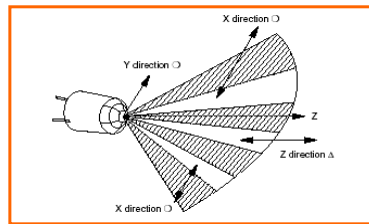
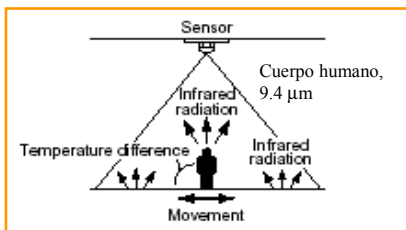
Sensores pieoroelctricos

• Detectores de radiaci3n t3rmica (cualquier cuerpo a una temperatura superior a 0 Kelvin emiten radiaci3n electromagn3tica debido a la vibraci3n de las part3culas)



• Aplicaci3n: detecci3n de radiaci3n en el infrarrojo

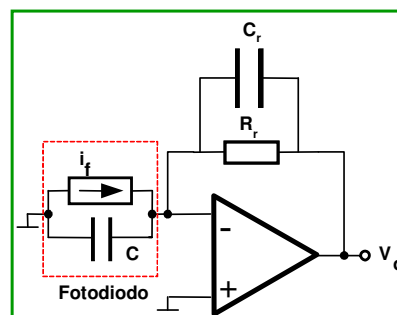
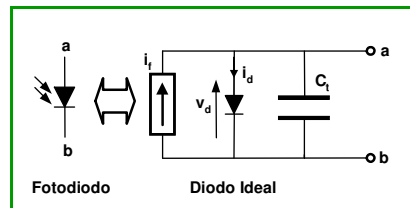
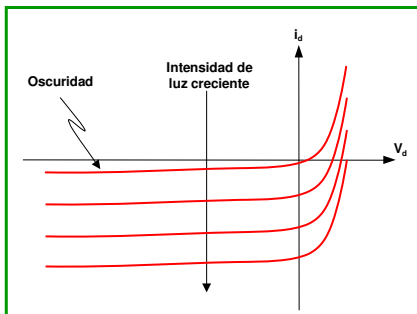
- ✓ Detectores de presencia y movimiento
- ✓ Visi3n nocturna: im3genes t3rmicas
- ✓ Pirometr3a 3ptica: medida de temperatura a distancia
- ✓ Radiometr3a



<http://www.golab.com/pirparts>

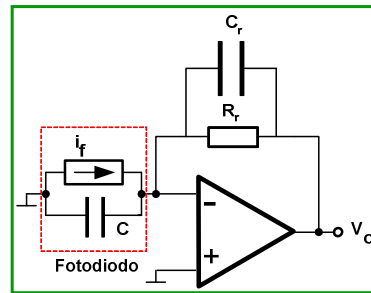
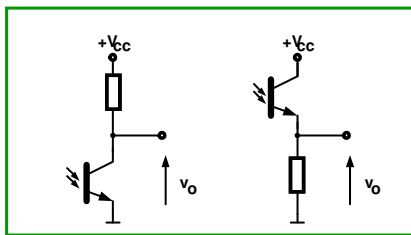
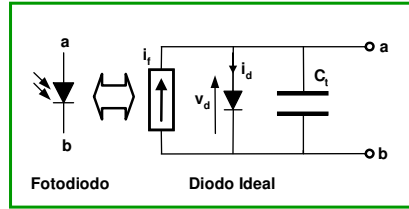
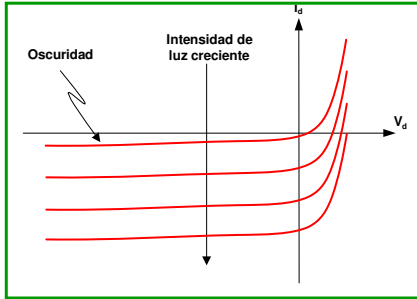


Sensores optoelectr3nicos: fotodiodos





Sensores optoelectrónicos



2008-2009

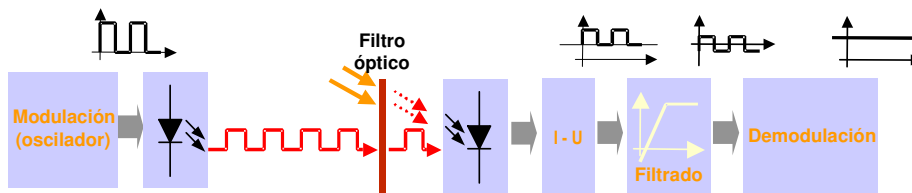
Instrumentación Electrónica

61



Sensores optoelectrónicos

Aplicaciones de fotodiodos y fototransistores. Diagrama de bloques



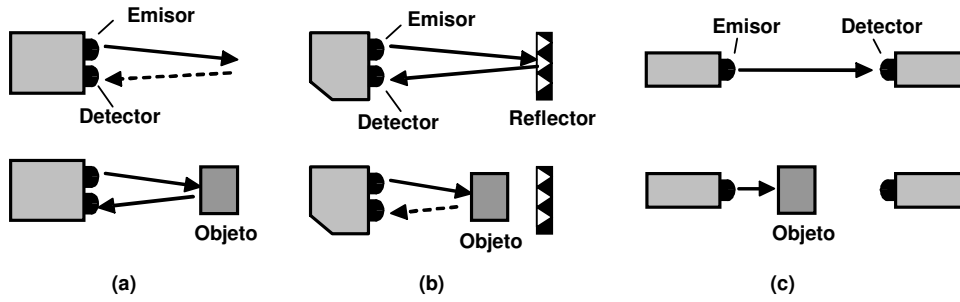
2008-2009

Instrumentación Electrónica

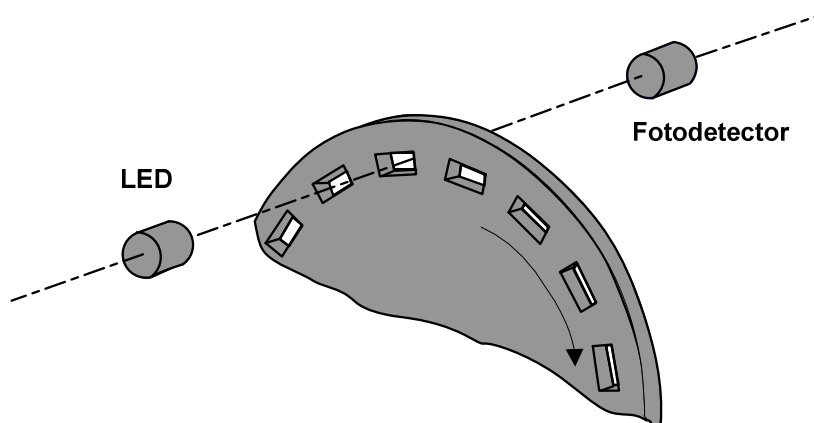
62



Detectores de proximidad

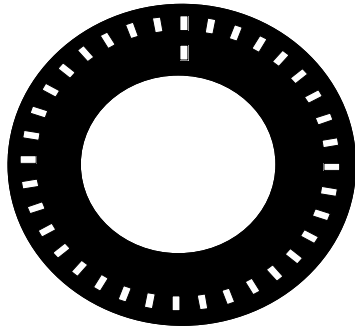


Codificadores ópticos

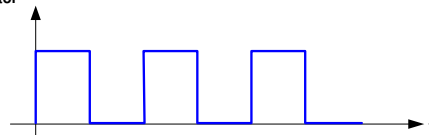




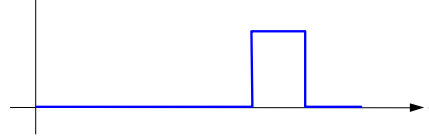
Codificadores ópticos incrementales



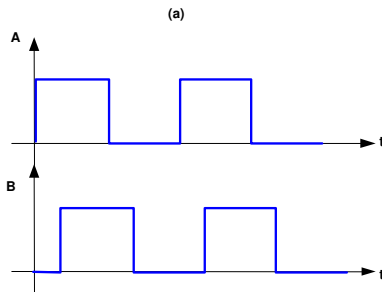
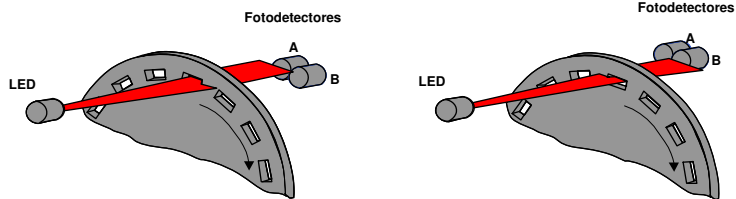
Señal fotointerruptor principal



Señal índice

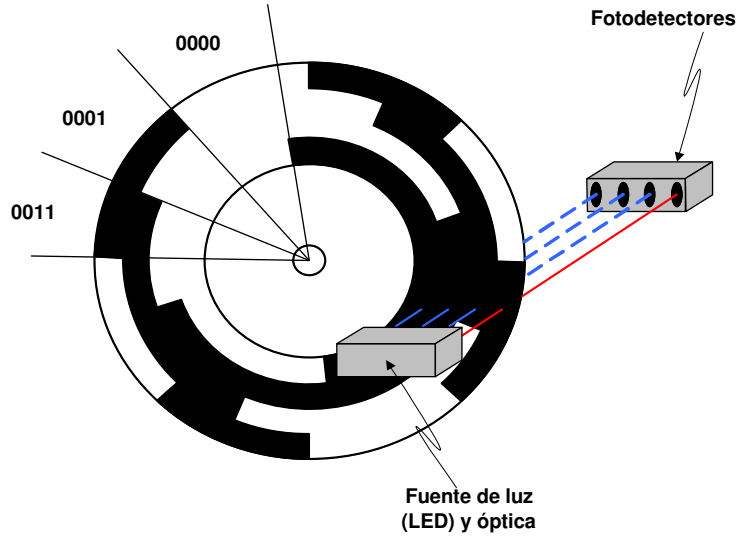


Detección del sentido de giro





Codificadores absolutos



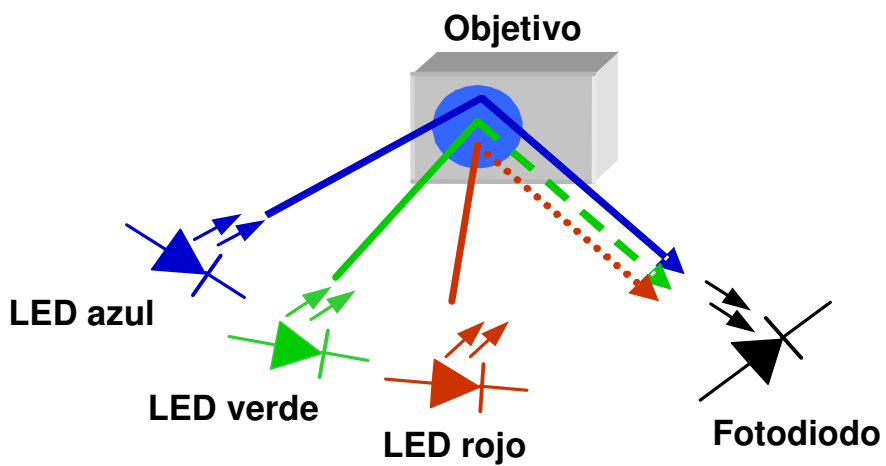
2008-2009

Instrumentación Electrónica

67



Detectores de color



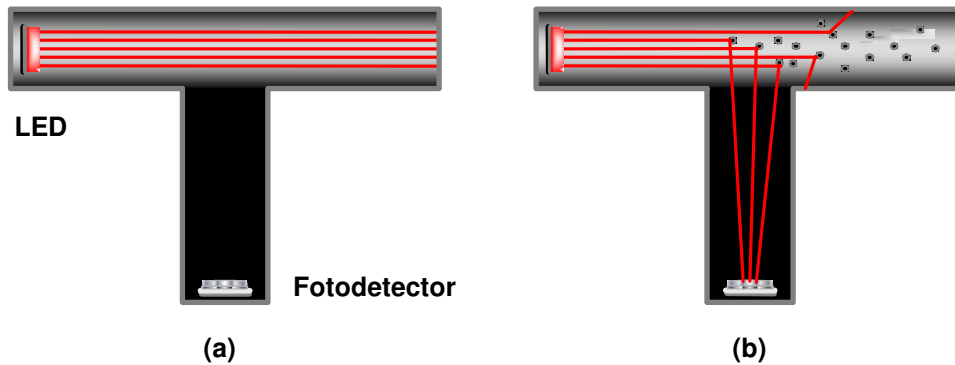
2008-2009

Instrumentación Electrónica

68

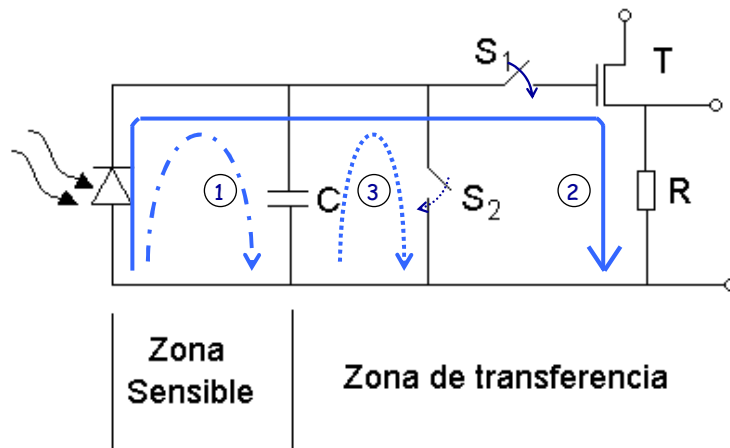
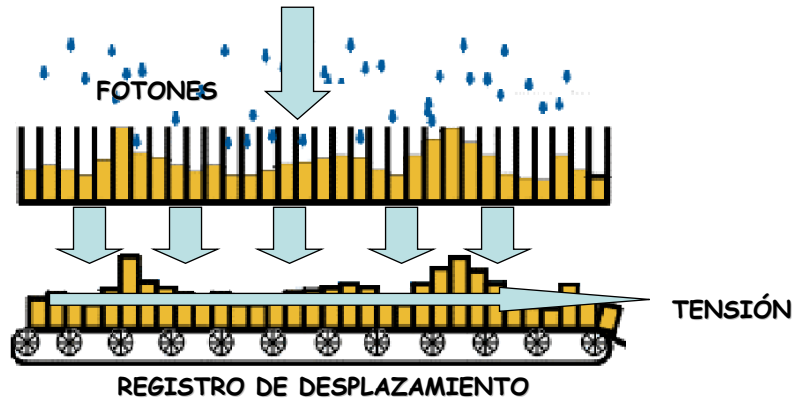


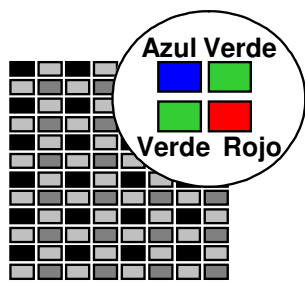
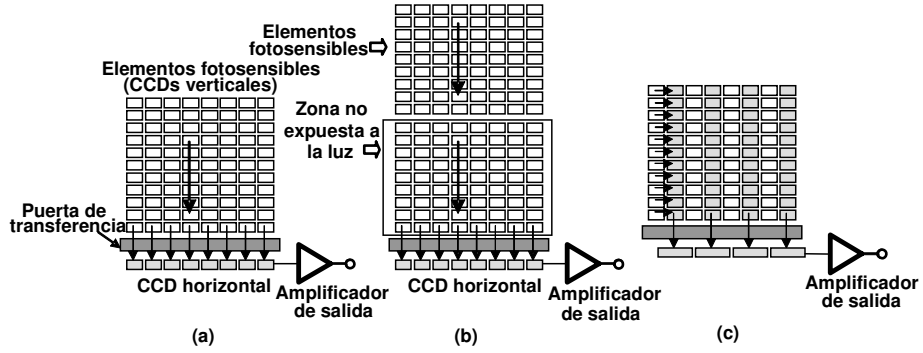
Detectores de humos



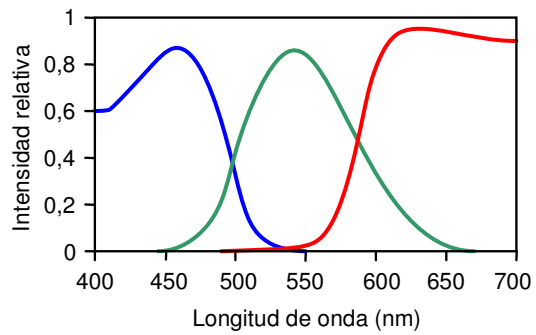
CCDs (*Charge-Coupled Device*)

- Los sensores CCD son dispositivos electrónicos que poseen una estructura en forma de mosaico con células sensibles a la luz (**pixels**).
- Cada pixel es capaz de almacenar fotones y generar una carga eléctrica (electrones) proporcional a la cantidad de luz que recibe.
- El sensor CCD es expuesto a la luz durante un tiempo denominado **tiempo de integración**, tras el cual los fotones que han sido almacenados son transferidos de forma ordenada a una etapa de salida, que es un amplificador que convierte la carga acumulada en cada pixel en una tensión eléctrica.
- En los sensores CCD lineales, la transferencia o volcado de la información desde el elemento de salida se produce con la ayuda de un registro de desplazamiento intermedio. Cuando el número de pixel es elevado, se utiliza más de un registro de desplazamiento, con el fin de que la salida serie de la información se produzca en un periodo de tiempo más breve.

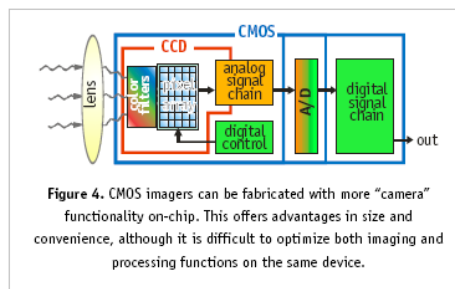
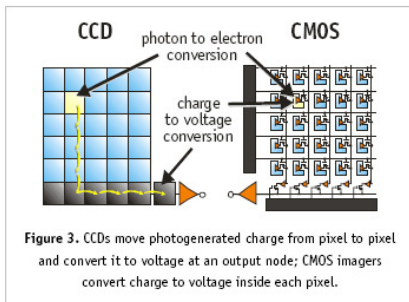
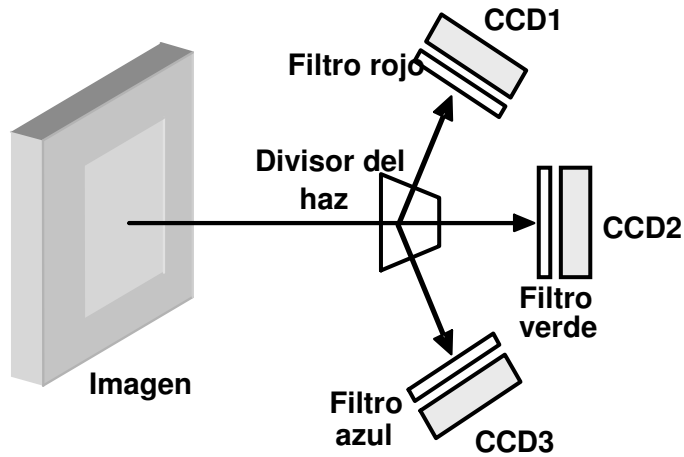




(a)



(b)

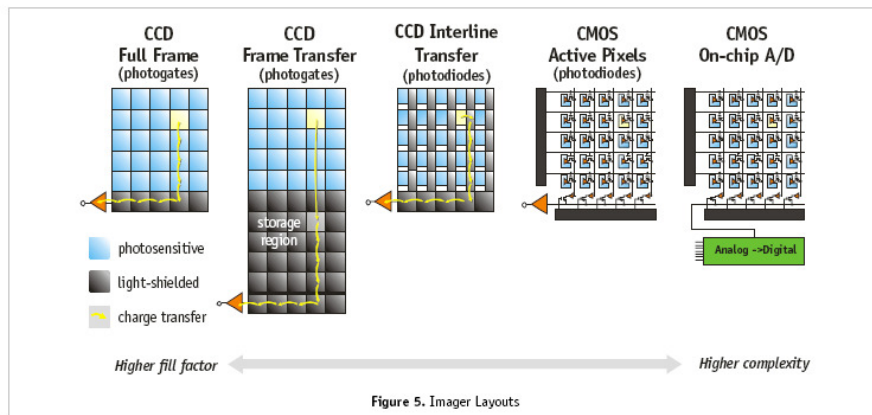


http://www.dalsa.com/shared/content/pdfs/CCD_vs_CMOS_Litwiller_2005.pdf

http://www.dalsa.com/dc/documents/Image_Sensor_Architecture_Whitepaper_Digital_Cinema_00218-00_03-70.pdf



CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)



[http://www.dalsa.com/shared/content/pdfs/CCD vs CMOS Litwiller 2005.pdf](http://www.dalsa.com/shared/content/pdfs/CCD_vs_CMOS_Litwiller_2005.pdf)

[http://www.dalsa.com/dc/documents/Image Sensor Architecture Whitepaper Digital Cinema 00218-00_03-70.pdf](http://www.dalsa.com/dc/documents/Image_Sensor_Architecture_Whitepaper_Digital_Cinema_00218-00_03-70.pdf)



Sensores de efecto Hall

- Basados en la Ley de Faraday-Henry

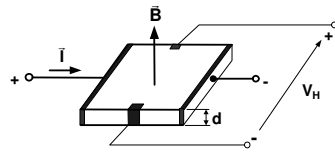
$$e = -\frac{d\Phi}{dt}$$

- La f.e.m inducida en un conductor o bobina en un campo magnético constante depende de la velocidad con la que se produce el desplazamiento
- Aplicaciones: medida de la velocidad lineal y velocidad angular o posición angular (*resolvers*)



Sensores de efecto Hall

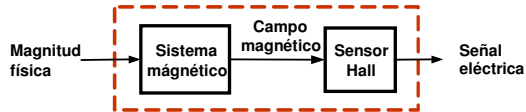
- Aparición de un campo eléctrico en un conductor cuando es atravesado por una corriente estando dentro de un campo magnético.



$$V_H = R_H \cdot I \cdot B / d$$

$$R_H = +\frac{1}{pe} \quad R_H = -\frac{1}{ne}$$

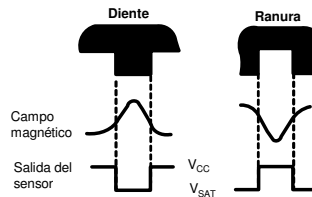
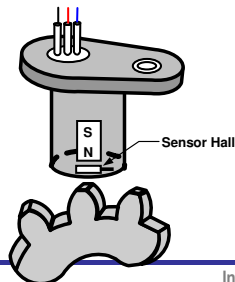
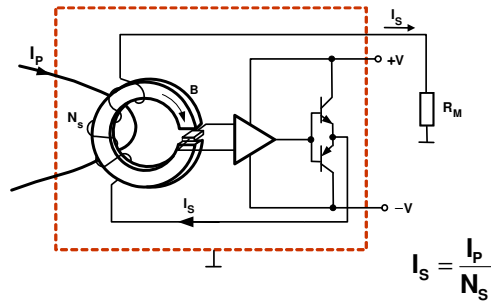
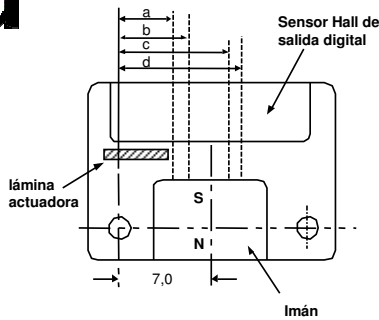
- Necesidad de convertir la magnitud física que hay que medir en un campo magnético proporcional



- Tipos de salida:
 - ✓ Lineal: variación lineal con el campo magnético
 - ✓ Digital: la salida conmuta entre dos niveles de tensión



Dispositivos de medida basado en el efecto Hall





Actuadores: aplicaciones

1. Encendido-apagado a tensiones de la red.

Relés electromecánicos y de estado sólido

2. Regulación.

Dimmers

3. Movimiento:

Solenoides

Motores DC, AC y paso a paso

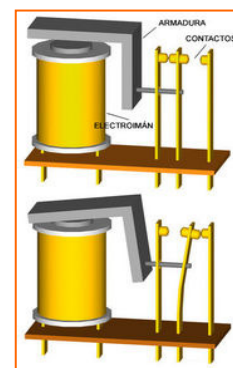


Tipos de actuadores: relés y SSR

• Def. Relé (*relevador, del inglés "relay"*)

El **relé** es un dispositivo electromecánico. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes, por lo general, de potencia.

La gran ventaja de los relés es la completa separación eléctrica entre la corriente de accionamiento (la que circula por la bobina del electroimán) y los circuitos controlados por los contactos. Su finalidad es manejar altos voltajes o elevadas potencias con pequeñas tensiones de control.



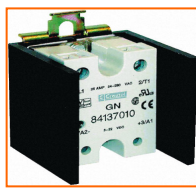


Tipos de actuadores: relés y SSR

• Def. Relé de estado sólido (SSR, Solid State Relay)

• Se llama **relé de estado sólido** a un circuito híbrido normalmente compuesto por un optoacoplador que aísla la entrada, un circuito de disparo, que detecta el paso por cero de la corriente de línea, y un triac o dispositivo similar que actúa de interruptor de potencia. Su nombre se debe a la similitud que presenta con un relé electromecánico.

• La conmutación de los relés de estado sólido es silenciosa, no causa arco y no se ve afectada por vibraciones ni corrosiones. El aislamiento con optoacoplador no produce interferencia de RF .

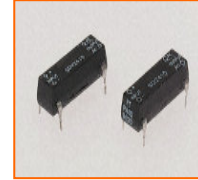


SSR de 25A con disipador, carril DIN

• Se caracterizan por su corriente máxima, el voltaje de ruptura, el nº de pines, y la tensión de salida. Entradas típicas de 3.5-32V en DC, salidas en un rango 24-280Vrms, 48-660Vrms. Su precio se incrementa con la corriente máxima.

• De baja potencia 1-3 A, pueden ser de SMD (coste 2-5€) o para PCB. Coste >5€). Pueden venir con 4 o 6 pines. En este último caso, uno es NC. Dos son de entrada (al optoacoplador) y tres de salida para varias conexiones dependiendo de la corriente.

• A partir de 10-13 A suelen venir con disipador térmico. Habitualmente vienen adaptados a carril DIN.. Coste 20-60€



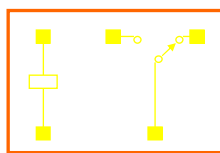
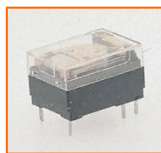
SSR de 1.5 A para PCB



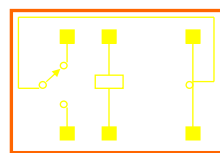
Tipos de actuadores: relés y SSR

• Los **relés electromecánicos**, basados en electroimán, son más baratos, especialmente los de potencia (>10 A) y suelen ir provistos de más pines (con interruptores más complejos: SPDT-SPCO, DPDT-DPCO)

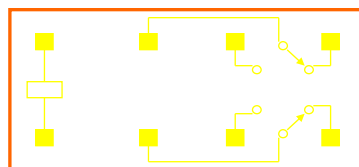
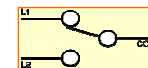
• Hay que cuidar las especificaciones para la bobina (corriente máxima, que no suele superar decenas de mA)



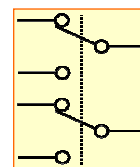
SPDT



SPCO



DPCO





Reguladores de potencia lumínica

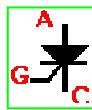
• Def. Dimmer (del inglés dim, atenuar)

- Son reguladores de potencia específicos para variar la intensidad de la iluminación. Esto se logra variando no tanto la amplitud como el voltaje RMS de la carga, o lo que es igual, su potencia media.
- Muchos dimmers típicos del hogar se controlan manualmente, pero podemos encontrarlos adaptados a protocolos X10, o a comunicaciones digitales más complejos, como el DMX (- digital multiplex- cuya última actualización es de 2004).

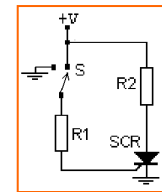


Módulo dimmer de Viva (mod. XTP130807) adaptado a X10

• Def. Tiristor (Silicon Controlled Rectifier - SCR)



- Es un RECTIFICADOR de silicio controlado por puerta.
- El SCR se comporta como un circuito abierto hasta que activa su puerta con una pequeña corriente. Después de ser activado el SCR, se queda conduciendo y se mantiene así, aunque la tensión en puerta se anule. El tiristor seguirá conduciendo hasta que por él pase una cantidad de corriente menor a la llamada "corriente de mantenimiento o de retención".



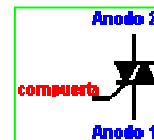
Circuito de conmutación con tiristor



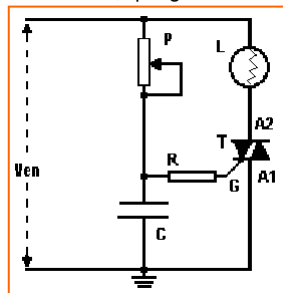
Reguladores de potencia

• Def. Tiristor (Silicon Controlled Rectifier - SCR)

- El triac es en esencia la conexión de dos tiristores en paralelo pero conectados en sentido opuesto y compartiendo la misma compuerta. El triac sólo se utiliza en corriente alterna y al igual que el tiristor, se dispara por la compuerta.



- La conmutación constante del TRIAC puede generar interferencias. Para evitarlas se incorporan inductores. La conmutación brusca de potencia afecta a los inductores, que generan un zumbido típico de estos aparatos.

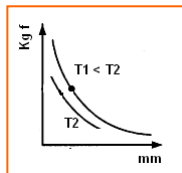




Tipos de actuadores: solenoides

• Def. Solenoide

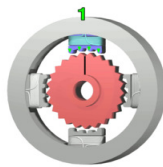
- Son esencialmente electroimanes utilizados para convertir energía eléctrica en un movimiento lineal.
- A partir de ahí se utilizan en válvulas, estárteros automáticos, etc.
- Se caracterizan por curvas típicas de empuje vs. distancia



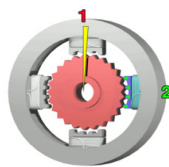
Tipos de actuadores: motores

• Def. Motor paso a paso (stepper motor)

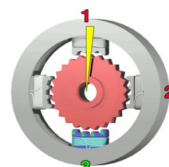
- Es un motor eléctrico síncrono, con la característica de moverse un paso por cada pulso que se le aplique. El paso puede ser 90° o algo tan pequeño como 1.8° (1/200 de vuelta)
- Poseen la capacidad de quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres.



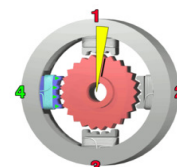
El electroimán 1, cargado, atrae los dientes de la rueda



A continuación, el electroimán 2 hace lo mismo lo que produce un giro de 1/100 de vuelta



El proceso continúa apagándose 2 y encendiéndose 3

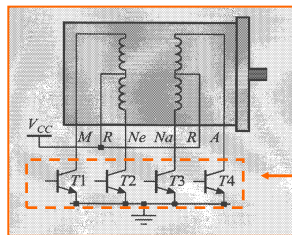


Cuando el electroimán 4 hace lo propio, la rueda ha avanzado un diente



Solenoides y motores

- El paso de corriente por las bobinas de los electroimanes es controlado mediante un transistor.
- Suelen sacar al exterior varios cables, típicamente un cable de control por cada transistor, más alimentación y masa.
- En general, necesitan ciertos trucos para ser controlados, debido a que requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento .



Motor de dos bobinas bipolar
(cada paso, 7.5°)

Suele ser un circuito integrado a parte.

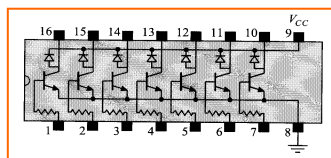
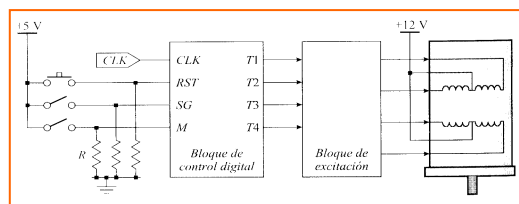
PASO	TERMINALES			
	T1	T2	T3	T4
1	+V	-V	+V	-V
2	+V	-V	-V	+V
3	-V	+V	-V	+V
4	-V	+V	+V	-V
1	+V	-V	+V	-V

Secuencia de excitación
del motor



Solenoides y motores

- El circuito de control requerirá un bloque digital que implemente la máquina de estados, más un bloque de excitación.



Integrado de
acondicionamiento ULN2003