

Tipos de sensores para un sistema automatizado

INTRODUCCIÓN

- Para el control de las diferentes variables físicas mediante la realimentación, ***los sensores serán los encargados de que el sistema disponga de la información necesaria.***
- Los términos ***“Sensor”*** y ***“Transductor”*** se suelen aceptar como sinónimos, aunque, si hubiera que hacer alguna distinción, ***el termino transductor es más amplio,*** incluyendo una parte sensible o “captador” y algún tipo de circuito de acondicionamiento de la señal detectada.

INTRODUCCIÓN

➤ Centrándonos en el estudio de los transductores cuya salida es una señal eléctrica, podemos dar la siguiente definición:

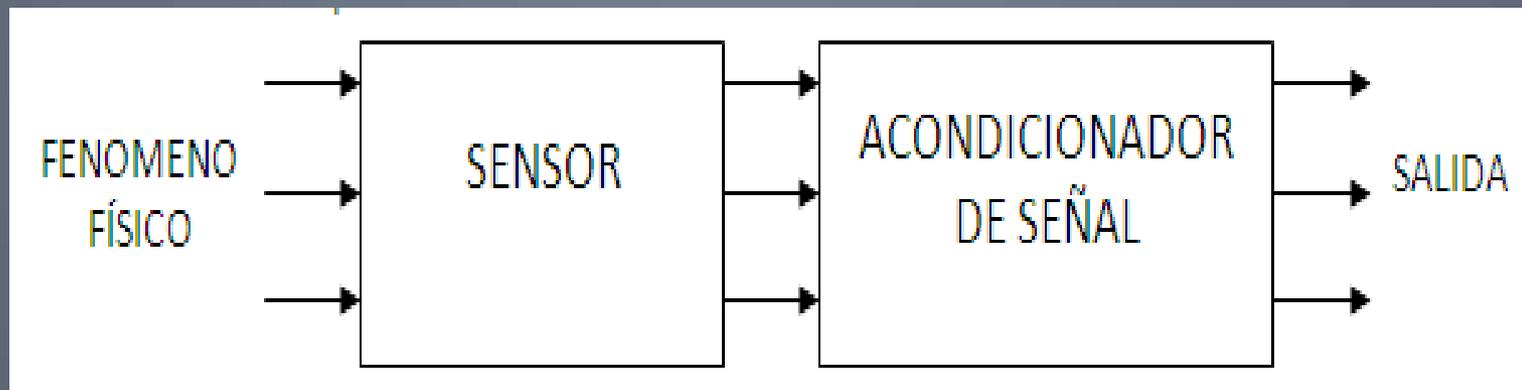
“Es un dispositivo capaz de *convertir el valor de una magnitud física* (por ejemplo, fuerza, presión, temperatura, velocidad, etc.) *en señal eléctrica* codificada en forma analógica o digital”

INTRODUCCIÓN

➤ Con frecuencia, la señal procedente del sensor tiene unas características que la hacen *poco adecuada para ser procesada*:

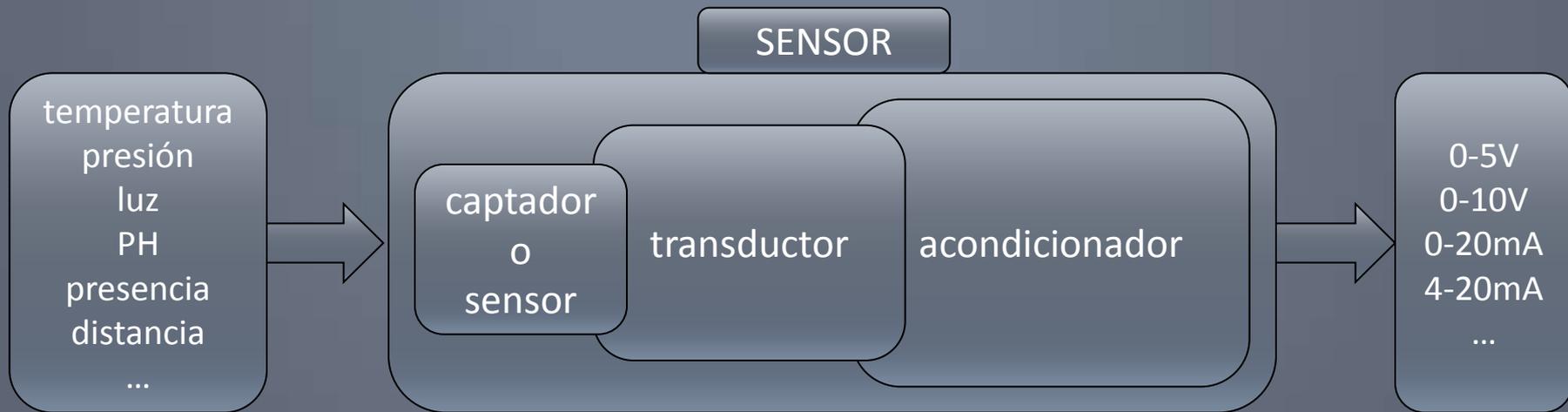
- señal de pequeño nivel.
- espectro grande.
- falta de linealidad.
- etc.

➤ Los sensores requieren, de forma habitual, *una adaptación de la señal* para que sean conectables a un determinado sistema de control. Esta función la realizan *los acondicionadores de señal* que pueden ser totalmente *independientes* del sensor o estar *total o parcialmente incluidos*.



INTRODUCCIÓN

➤ En la numerosa bibliografía referente a sensores, transductores y detectores es frecuente encontrar ambigüedades y diferentes formas de referirse a estos elementos por lo que, en principio, lo fundamental es tener las ideas claras de las distintas etapas por las que se pasa para convertir una variable física en una variable eléctrica normalizada y lista para ser utilizada por el instrumental de control.



CLASIFICACIÓN

Se pueden dar *varias clasificaciones de los transductores* de tipo eléctrico o magnético, atendiendo a diversos puntos de vista:

➤ Según el *tipo de señal de salida*, atendiendo a la *forma de codificar* la magnitud medida:

- **Analógicos:** Devuelven una *señal analógica en tensión (0-10 v) o en corriente (4-20 mA)*.

- **Digitales:** Devuelven una *señal codificada en forma de pulsos*.

- **Todo-Nada:** Devuelven *una señal binaria (0-1)*. Tienen dos estados. *(Se consideran dentro de los digitales)*

CLASIFICACIÓN

➤ Según si el captador *requiere o no **alimentación** externa:*

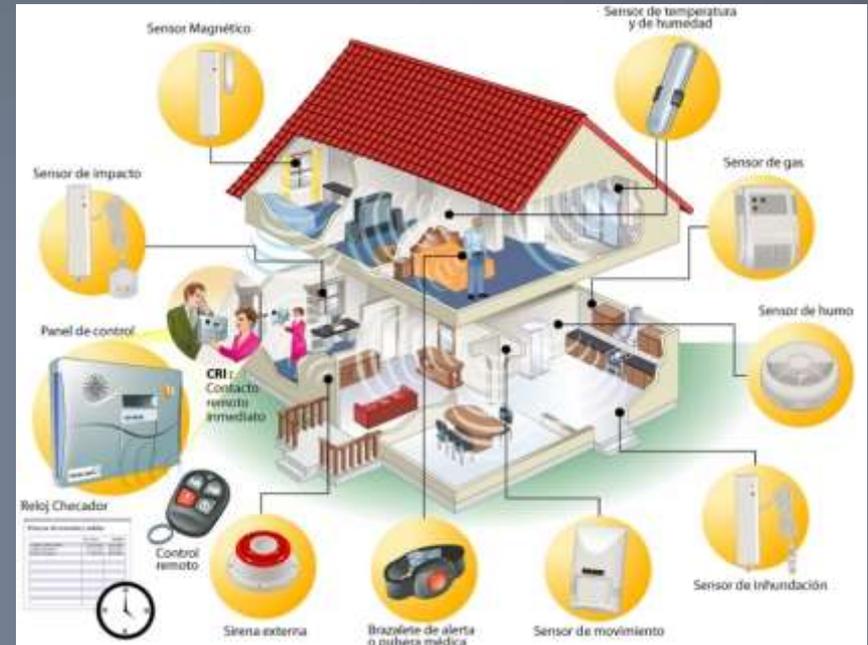
▪ **Pasivos:** Estos se basan en la *modificación de la impedancia eléctrica o magnética de un material bajo determinadas condiciones físicas o químicas*. Cuando a estos sensores se les alimenta adecuadamente provocan cambios de tensión o corriente en un circuito, los cuales son recogidos por el circuito de salida.

▪ **Activos:** Son en realidad *generadores eléctricos de pequeña señal*. *No necesitan alimentación* para funcionar, *aunque sí para amplificar la débil señal*.

CLASIFICACIÓN

➤ Según *la magnitud física* a detectar:

- *Temperatura.*
- *Presión.*
- *Flujo.*
- *Presencia o proximidad.*
- *Desplazamiento.*
- *Velocidad.*
- *Aceleración.*
- *Nivel.*
- *Humedad.*
- *Fuerza.*



➤ Según *el parámetro variable*:

- *Resistivos.*
- *Inductivos.*
- *Capacitivos.*
- *Magnéticos.*
- *Ópticos.*

CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Un **transductor ideal** sería aquel en que la relación entre la señal de salida y la magnitud física de entrada fuese **puramente proporcional y de respuesta instantánea e idéntica** para todos los elementos de un mismo tipo.
- Sin embargo, **la respuesta real** de los transductores:
 - **nunca es del todo lineal.**
 - tiene un **campo limitado de validez.**
 - suele estar afectada por **perturbaciones** del entorno exterior.
 - tiene un cierto **retardo a la respuesta.**

CARACTERÍSTICAS GENERALES

➤ Las **características** generales de los transductores pueden agruparse en **dos bloques**:

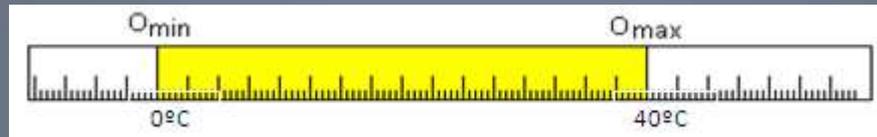
▪ **Características estáticas:** describen la actuación del sensor en *régimen permanente o con cambios muy lentos* de la variable a medir.

▪ **Características dinámicas:** describen la actuación del sensor *en régimen transitorio*.

➤ A continuación se dan las *características estáticas y dinámicas más relevantes que suele aparecer en la mayoría de las especificaciones técnicas* de los transductores. Hay que tener en cuenta que estas características se ven influidas por las condiciones ambientales.

CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS

➤ **Campo de medida:** es el *rango de valores de la magnitud de entrada detectable* por un sensor con una tolerancia de error aceptable.

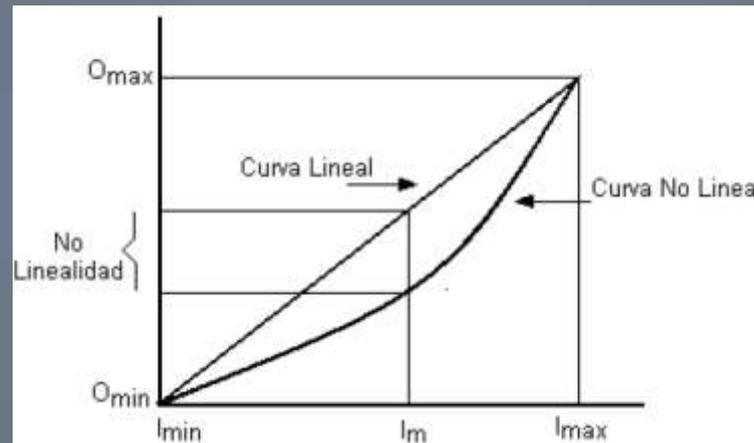


➤ **Resolución:** *mínima diferencia entre dos valores próximos que el sensor es capaz de distinguir.*

➤ **Repetibilidad:** es la *máxima desviación entre valores de salida obtenidos al medir varias veces un mismo valor de entrada.* Se suele expresar en porcentaje referido al fondo de escala y da una indicación del error aleatorio del sensor.

CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS

➤ **Precisión:** es la *máxima desviación entre la salida real y la ideal*. Se suele indicar en valor absoluto de la magnitud de entrada o en porcentaje sobre el fondo de escala de la salida.



➤ **Linealidad:** la falta de linealidad se mide por *la máxima desviación entre la respuesta real y la característica puramente lineal*, referida al fondo de escala.

CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS

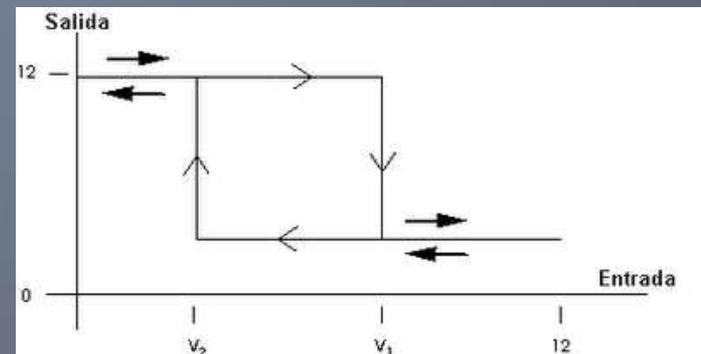
➤ **Sensibilidad:** indica la *mayor o menor variación de la salida por unidad de la magnitud de entrada*.

$$\text{Sensibilidad} = \frac{\Delta \text{magnitud de salida}}{\Delta \text{magnitud de entrada}}$$

Hay que tener en cuenta que la sensibilidad será variable en transductores no lineales.

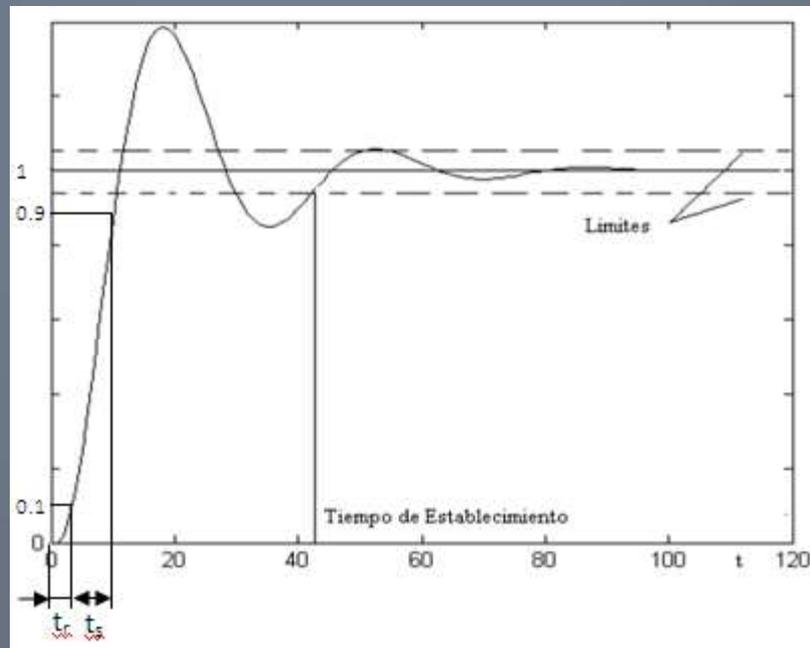
➤ **Ruido:** es cualquier *perturbación aleatoria* del propio transductor o del sistema de medida que produce una desviación de la salida con respecto al valor teórico.

➤ **Histéresis:** se dice que un transductor presenta histéresis cuando, a igualdad de la magnitud de entrada, la salida depende de si dicha entrada se alcanzó con aumentos en sentido creciente o en sentido decreciente.



CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS

➤ **Velocidad de respuesta:** mide la *capacidad de un transductor para que la señal de salida siga sin retraso las variaciones de la señal de entrada*. Normalmente se analiza cual es la salida ante una entrada escalón y de ahí se obtienen los siguientes parámetros.

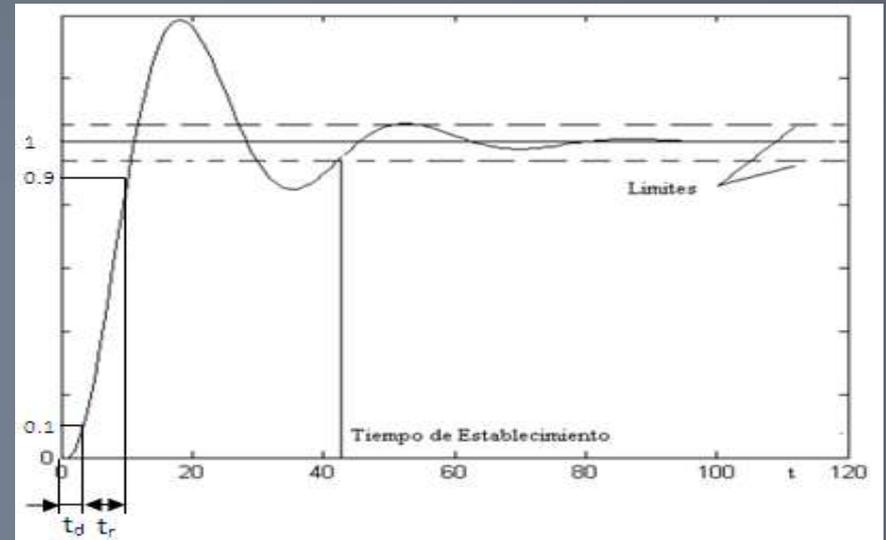


CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS

▪ **Tiempo de retardo:** es el tiempo transcurrido desde la aplicación del escalón de entrada hasta que la salida alcanza el 10% de su valor permanente.

▪ **Tiempo de subida:** es el tiempo transcurrido desde que la salida alcanza el 10% de su valor permanente hasta que llega por primera vez a la 90% de dicho valor.

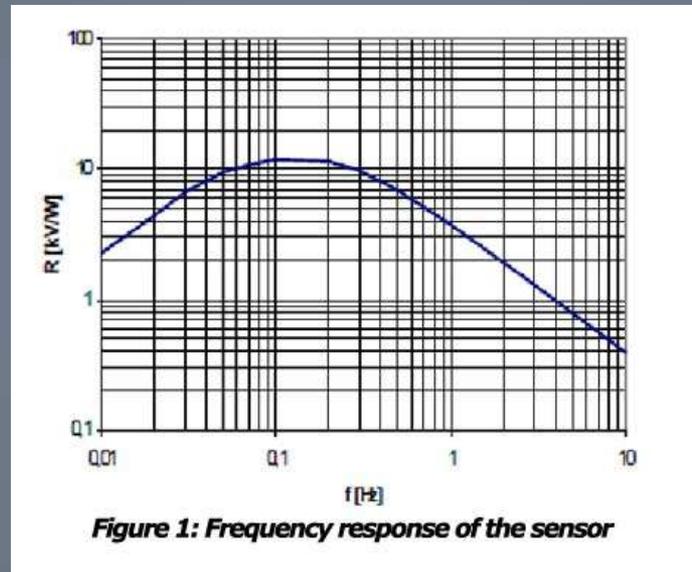
▪ **Tiempo de establecimiento al 99%:** es el tiempo transcurrido desde la aplicación de un escalón de entrada hasta que la respuesta alcanza el régimen permanente, con una tolerancia del $\pm 1\%$.



▪ **Constante de tiempo:** para un transductor con respuesta de primer orden (una sola constante de tiempo dominante) se puede determinar la constante de tiempo a base de medir el tiempo empleado para que la salida alcance el 63% de su valor de régimen permanente, cuando a la entrada se le aplica un cambio en escalón.

CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS

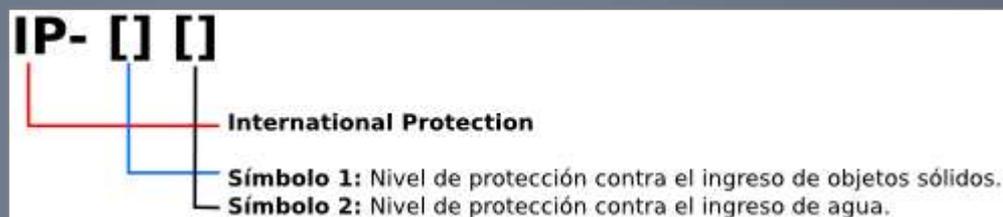
➤ **Respuesta frecuencial:** es la *relación entre la sensibilidad y la frecuencia* cuando la entrada es una excitación senoidal. Se suele indicar gráficamente mediante un grafico de Bode.



➤ **Estabilidad y derivas:** indican la *desviación de salida del sensor al variar ciertos parámetros exteriores* distintos del que se pretende medir, tales como condiciones ambientales, alimentación, u otras perturbaciones.

GRADO DE PROTECCION IP

El **Grado de protección IP** hace referencia al estándar norteamericano **ANSI/IEC 60529-2004** (*Degrees of Protection*) y se emplea en equipamiento eléctrico y/o electrónico para clasificar los diferentes grados de protección de las carcasas o contenedores de este equipamiento.



Primer dígito

Nivel	Tamaño del objeto entrante	Efectivo contra
0	—	Sin protección
1	>50 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 50 mm de diámetro) no debe llegar a entrar por completo.
2	>12.5 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 12,5 mm de diámetro) no debe llegar a entrar por completo.
3	>2.5 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 2,5 mm de diámetro) no debe entrar en lo más mínimo.
4	>1 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 1 mm de diámetro) no debe entrar en lo más mínimo.
5	Protección contra polvo	La entrada de polvo no puede evitarse, pero el mismo no debe entrar en una cantidad tal que interfiera con el correcto funcionamiento del equipamiento.
6	Protección fuerte contra polvo	El polvo no debe entrar bajo ninguna circunstancia

GRADO DE PROTECCION IP

Segundo dígito

Nivel	Protección frente a	Método de prueba	Resultados esperados
0	Sin protección.	Ninguno	El agua entrará en el equipamiento.
1	Goteo de agua	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua cuando se la deja caer, desde 200 mm de altura respecto del equipo, durante 10 minutos (a razón de 3-5 mm ³ por minuto)
2	Goteo de agua	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua cuando de la deja caer, durante 10 minutos (a razón de 3-5 mm ³ por minuto). Dicha prueba se realizará cuatro veces a razón de una por cada giro de 15° tanto en sentido vertical como horizontal, partiendo cada vez de la posición normal de trabajo.
3	Agua nebulizada. (spray)	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua nebulizada en un ángulo de hasta 60° a derecha e izquierda de la vertical a un promedio de 10 litros por minuto y a una presión de 80-100kN/m ² durante un tiempo que no sea menor a 5 minutos.
4	Chorros de agua	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua arrojada desde cualquier ángulo a un promedio de 10 litros por minuto y a una presión de 80-100kN/m ² durante un tiempo que no sea menor a 5 minutos.
5	Chorros de agua.	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua arrojada a chorro (desde cualquier ángulo) por medio de una boquilla de 6,3 mm de diámetro, a un promedio de 12,5 litros por minuto y a una presión de 30kN/m ² durante un tiempo que no sea menor a 3 minutos y a una distancia no menor de 3 metros.
6	Chorros muy potentes de agua.	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua arrojada a chorros (desde cualquier ángulo) por medio de una boquilla de 12,5 mm de diámetro, a un promedio de 100 litros por minuto y a una presión de 100kN/m ² durante no menos de 3 minutos y a una distancia que no sea menor de 3 metros.
7	Inmersión completa en agua.	El objeto debe soportar (sin filtración alguna) la inmersión completa a 1 metro durante 30 minutos.	No debe entrar agua.
8	Inmersión completa y continua en agua.	El equipamiento eléctrico / electrónico debe soportar (sin filtración alguna) la inmersión completa y continua a la profundidad y durante el tiempo que especifique el fabricante del producto con el acuerdo del cliente, pero siempre que resulten condiciones más severas que las especificadas para el valor 7.	No debe entrar agua

CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS

➤ Una vez conocidas las características generales, *pasaremos a estudiar las características específicas de los sensores más utilizados en la automatización industrial.*

➤ El objetivo de este estudio es *aprender de forma práctica y aplicada las características más importantes* de cada sensor. Debido a la gran cantidad de sensores existentes *nos centraremos en los más utilizados* en los automatismos industriales.



➤ **Una de las principales informaciones** que es necesario extraer de un proceso determinado **es la presencia o ausencia de un objeto,**

- al paso por un punto determinado.
- la cercanía a una región de importancia.
- el contaje de número de piezas que pasan.
- el verificar la completitud de un lote de elementos.
- etc.

➤ Se trata de **sensores de posición todo o nada** que entregan una señal binaria que informa de si hay un objeto o no frente al detector.

➤ La salida suele ser a base de **interruptor estático (transistor, tiristor o triac)**, pudiendo actuar como **interruptores de CC o de CA**. Algunos pueden dar una salida analógica proporcional a la distancia, es decir, miden la distancia al objeto que se quiere detectar.

➤ Los interruptores pueden ser ***Normalmente Abiertos (NA) o Normalmente Cerrados (NC)*** lo que nos dice ***cuál es el estado normal del interruptor*** en ausencia del objeto a detectar.

➤ Hay que tener en cuenta que los interruptores tienen una ***caída de tensión residual en el estado cerrado y una corriente de fugas en el estado abierto***. Esto puede dar ***problemas cuando se conectan a un autómeta***, sobre todo, una alta corriente de fugas puede dar problemas de interpretación de nivel alto de entrada.

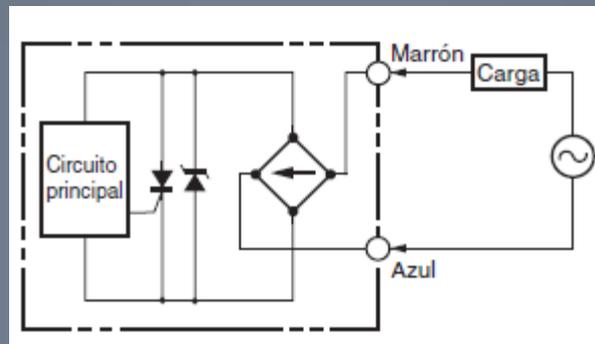
Se pueden realizar *diferentes clasificaciones* en función de las distintas características.

➤ *Según el tipo de captador* se distinguen en:

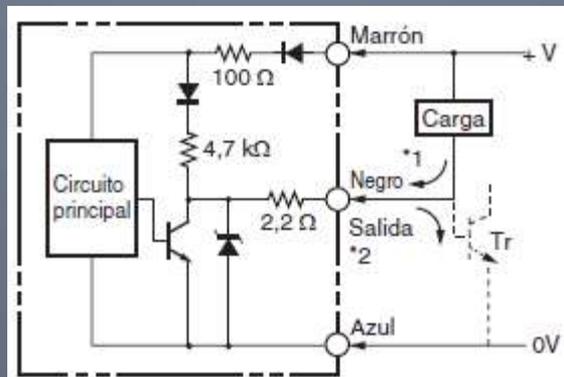
- *Detectores inductivos.*
- *Detectores capacitivos.*
- *Detectores ópticos.*
- *Detectores ultrasónicos.*

➤ **Según el tipo de salida:**

▪ **Detectores de CA.** Son detectores cuya salida es un interruptor estático de CA a base de tiristores o triacs.



▪ **Detectores de CC.** Son detectores cuya salida suele ser un transistor PNP o NPN.



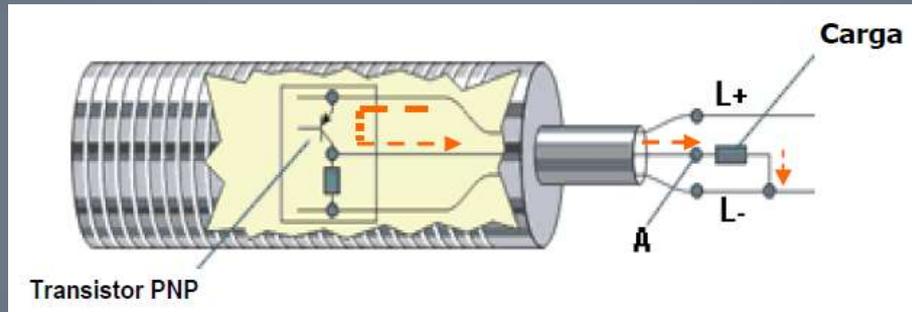
➤ **Detectores Namur.** Detectores de tipo inductivo, *previstos para funcionamiento en atmósferas explosivas*, según recomendaciones NAMUR (DIN 19.234). Son detectores de dos hilos que absorben una intensidad alta o baja dependiendo de la presencia o no del objeto detectado.

➤ **Detectores con salida analógica.** Los detectores con salida analógica *dan una corriente proporcional a la distancia* entre el cabezal detector y el objeto a detectar. La conexión suele ser a dos hilos y *permite detectar un rango de distancias limitado*. Únicamente los de tipo óptico y ultrasónico pueden detectar distancias considerables con una resolución aceptable.

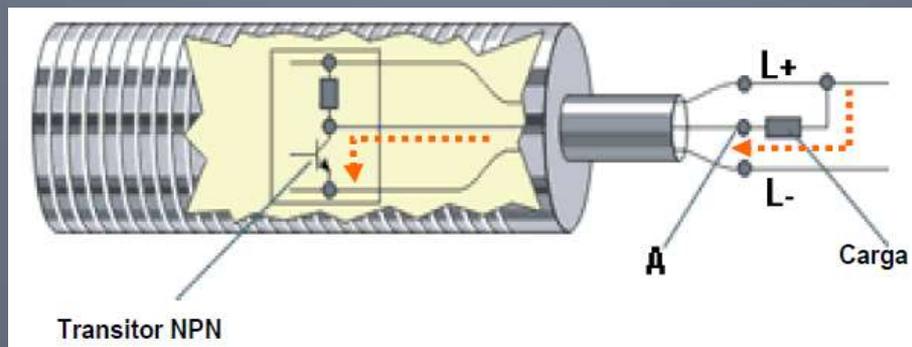
➤ **Según el tipo de conexión:**

▪ **Conexión a tres hilos.** Ésta es **la más frecuente para los detectores de CC con salida por transistor.** Se tiene **un hilo común para alimentación y carga** y los otros dos son **diferenciados uno para la alimentación y otro para la carga.**

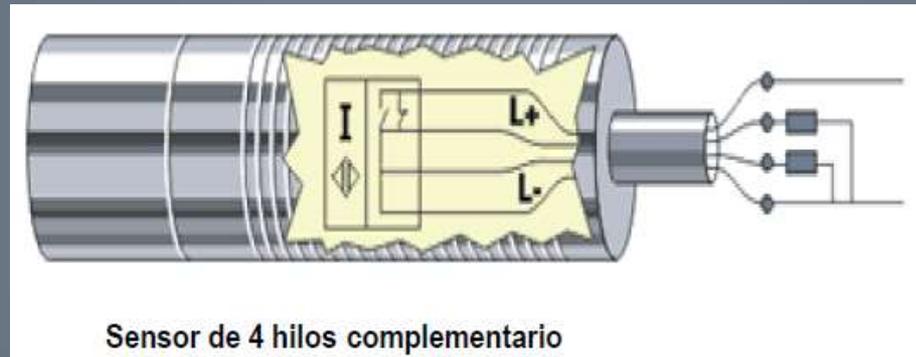
El hilo común debe conectarse al terminal negativo de la alimentación para transistores PNP (operación como suministro de corriente - sourcing)



y al terminal positivo para los de tipo NPN (operación como drenado de corriente - sinking).



▪ **Conexión a cuatro o cinco hilos. Se suelen emplear para detectores de CC.** Emplean dos hilos para la alimentación, y otros dos (o tres, en montaje conmutado) corresponden al contacto de salida para control de la carga.



Sensor de 4 hilos complementario

En este caso tenemos un sensor con dos salidas complementarias, es decir que si una está abierta, la otra estará cerrada y viceversa.

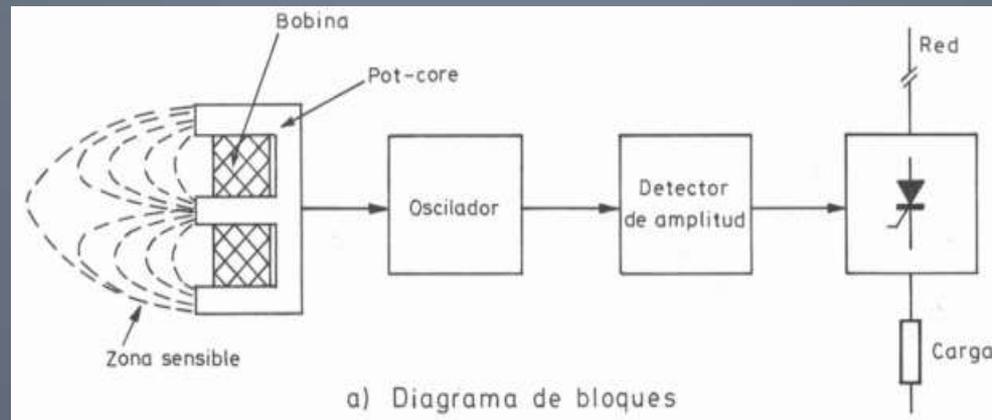
▪ **Conexión a dos hilos. El sensor se conecta en serie con la carga,** como si se tratara de un interruptor electromecánico. Esta conexión es **habitual para los detectores de CA.**

SENSORES DE PROXIMIDAD INDUCTIVOS

➤ Sirven para **detectar la proximidad de piezas metálicas** en un rango de distancias del orden de milímetros. Aunque hay en el mercado algunos dispositivos de 2 hilos de corriente directa (DC), los modelos de sensores inductivos **típicamente son de 3 o 4 hilos los cuales requieren una fuente de poder separada.**

➤ **Esquema interno:**

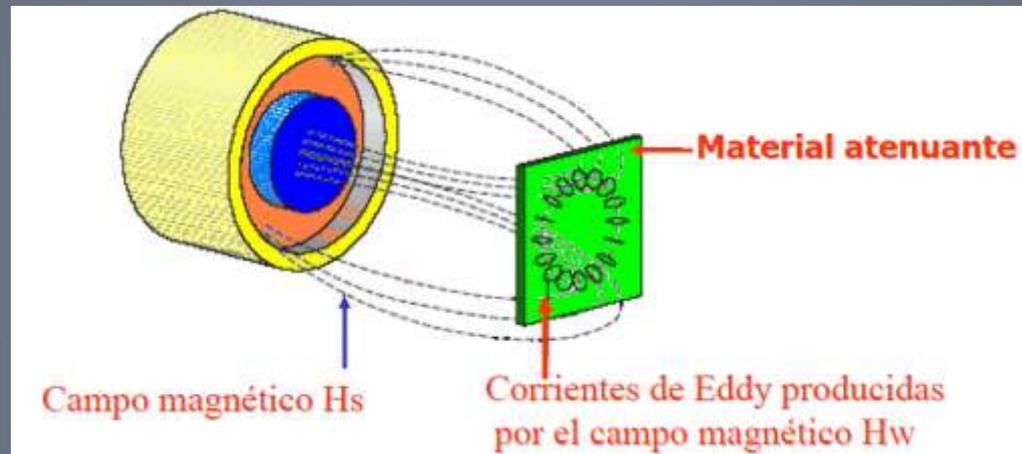
A nivel de bloques están formados por un circuito **oscilador L-C con alta frecuencia de resonancia, una bobina** construida sobre un **núcleo de ferrita** abierto en forma de “pot-core” (el flujo se cierra en la parte frontal a través de la zona sensible), **un detector de amplitud y un interruptor.**



SENSORES DE PROXIMIDAD INDUCTIVOS

Principio de funcionamiento:

➤ Cuando un objetivo metálico entra al campo, *circulan corrientes de Eddy dentro del objetivo.*



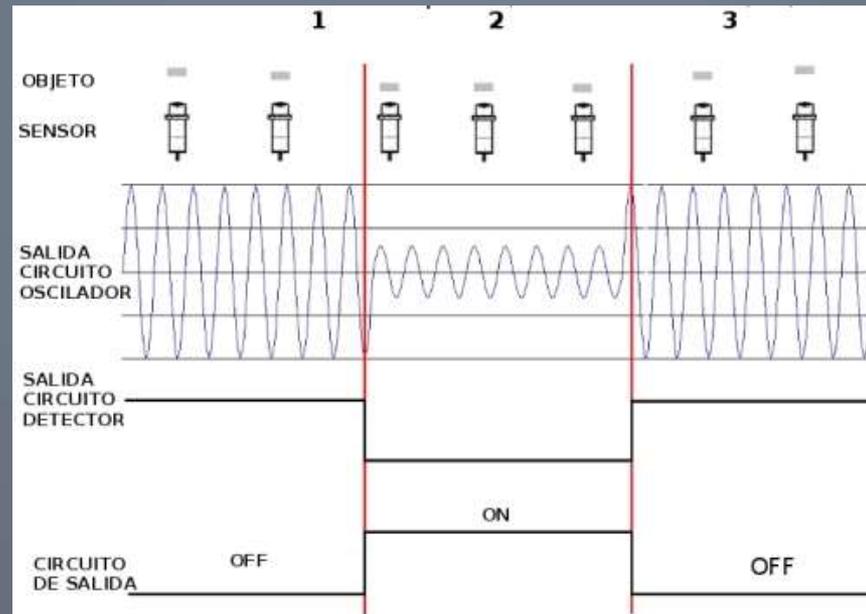
➤ Esto altera la reluctancia del circuito magnético, *atenúa el circuito oscilante y hace variar la amplitud de oscilación.*

➤ *La detección de dicha amplitud permite obtener una señal de salida toda-nada.*

SENSORES DE PROXIMIDAD INDUCTIVOS

Principio de funcionamiento:

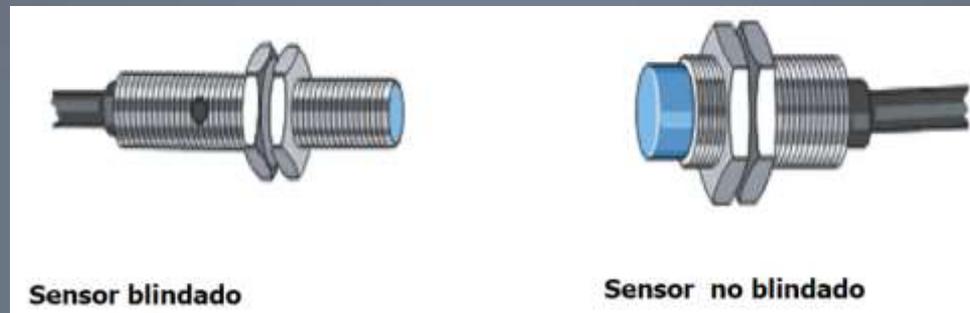
➤ El punto en el que un detector de proximidad reconoce un objetivo entrante es el **punto de operación** y el punto en el que un objetivo saliendo hace que el dispositivo conmute a su estado normal es el **punto de desarme**. El área entre esos dos puntos es la zona de histéresis.



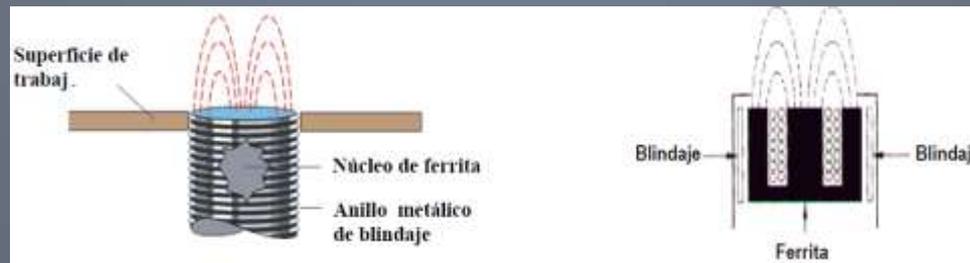
SENSORES DE PROXIMIDAD INDUCTIVOS

Sensores blindados y no blindados:

➤ Las bobinas enrolladas al núcleo de Ferrita pueden ser blindadas o no blindadas.



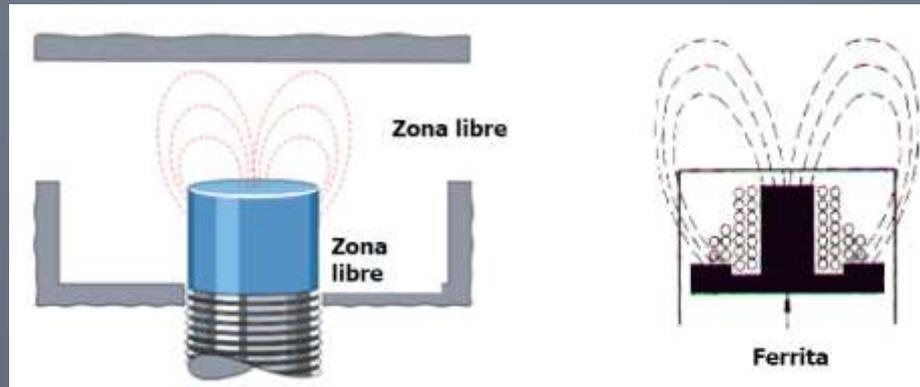
En los blindados se coloca alrededor del núcleo un anillo metálico para restringir la radiación lateral del campo. Estos sensores pueden ser conectados al ras.



SENSORES DE PROXIMIDAD INDUCTIVOS

Sensores blindados y no blindados:

➤ En los *no blindados* no existe el anillo metálico que restringe la radiación. En este caso *la conexión no se puede hacer al ras, hay que dejar una zona libre* tal y como se indica en la siguiente figura. Normalmente este tipo de sensores tienen una distancia de detección mayor.



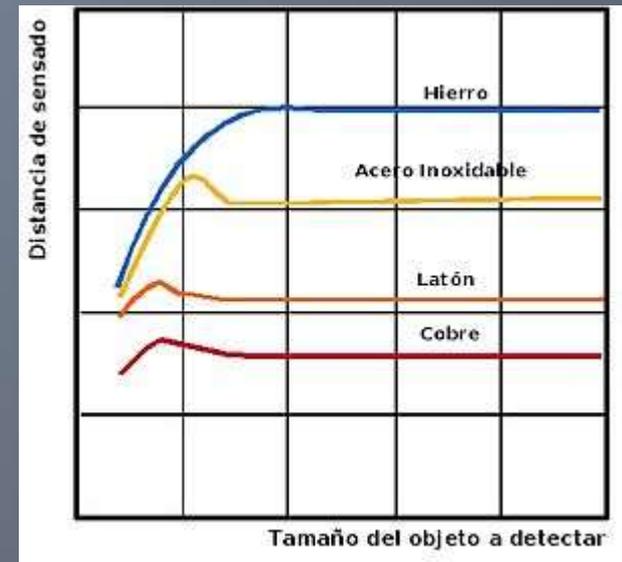
SENSORES DE PROXIMIDAD INDUCTIVOS

Distancia de detección:

➤ Está definida según *norma para una placa cuadrada de acero dúctil de 1mm* de espesor y dimensiones acordes al diámetro del cabezal sensible.



➤ *Para otro tipo de materiales y otras dimensiones la distancia nominal de detección debe corregirse.* En la figura se puede observar como varía la distancia de detección o sensado en función del tipo de material y del tamaño del objeto a detectar.



SENSORES DE PROXIMIDAD INDUCTIVOS

Distancia de detección:

➤ Cuando el material a ser sentido no es de acero dúctil, es necesario aplicar un *factor de corrección*.

Material	Factor de corrección	
	Blindado	No Blindado
Acero dúctil, Carbón	1	1
Lámina de Aluminio	0.90	1
Acero inoxidable serie 300	0.70	0.08
Bronce	0.40	0.50
Aluminio	0.35	0.45
Cobre	0.30	0.40

SENSORES DE PROXIMIDAD INDUCTIVOS

Campo de aplicación:

➤ La principal utilización de los sensores inductivos de proximidad es como *interruptores final de carrera con algunas ventajas con respecto a los electromecánicos*, tales como: *ausencia de contacto* con el objeto a detectar, *robustez mecánica*, *resistencia a ambientes agresivos y altas temperaturas* y *bajo precio*.



SENSORES DE PROXIMIDAD INDUCTIVOS

Tamaños y configuraciones:

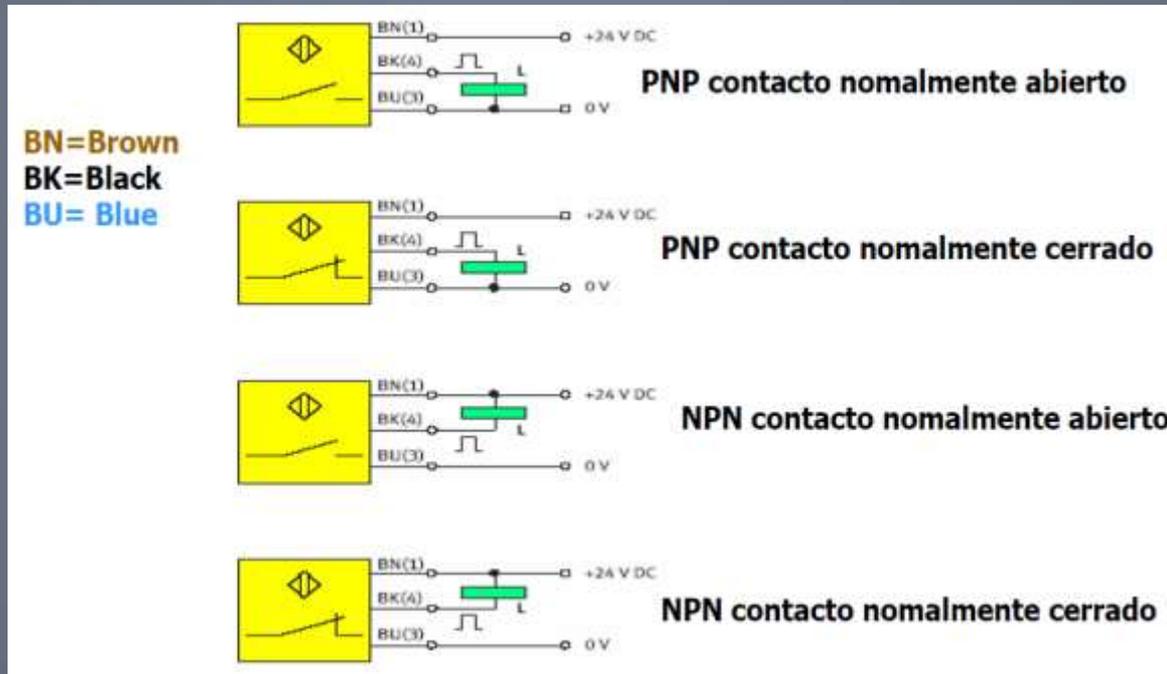
➤ Los sensores inductivos están *disponibles en distintos tamaños y configuraciones* para funcionar en los variados requerimientos de la industria.



SENSORES DE PROXIMIDAD INDUCTIVOS

Símbolos:

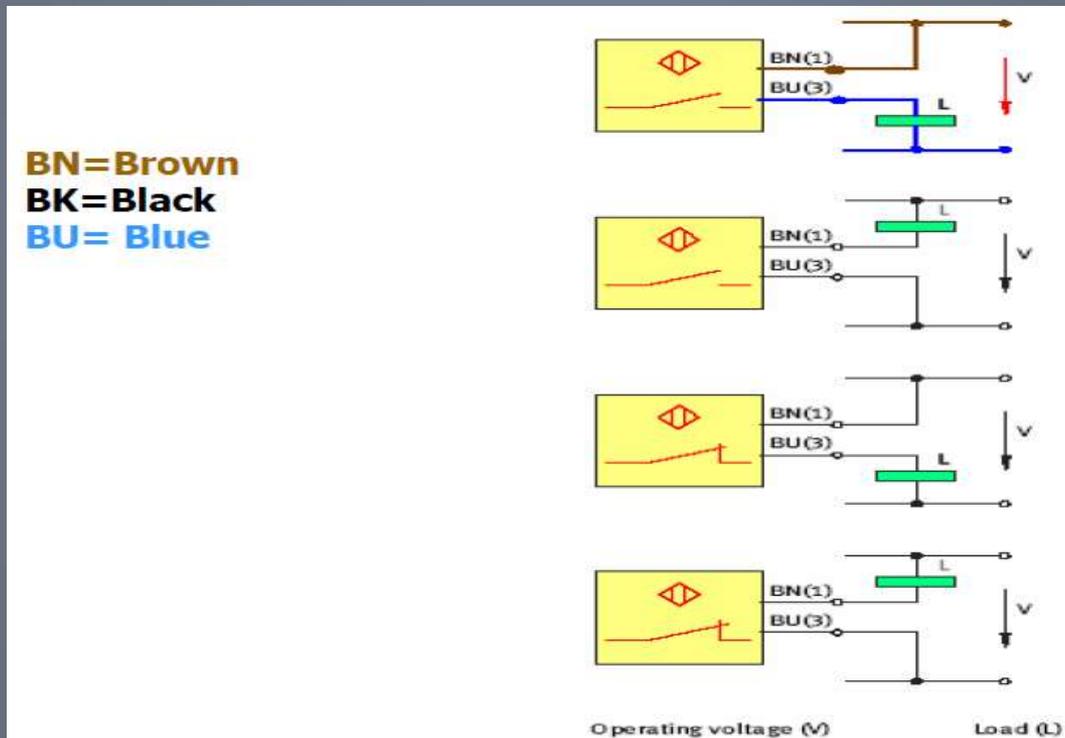
➤ Símbolos estándar para los sensores de 3 hilos.



SENSORES DE PROXIMIDAD INDUCTIVOS

Símbolos:

➤ Símbolos estándar para los sensores de 2 hilos.



SENSORES DE PROXIMIDAD CAPACITIVOS

➤ Son similares a los inductivos, con la principal diferencia de que *los capacitivos producen un campo electrostático* en lugar de un campo electromagnético. Esto hace que los sensores capacitivos *puedan detectar objetos metálicos y no metálicos, tales como papel, vidrio, líquidos, tela, etc.*

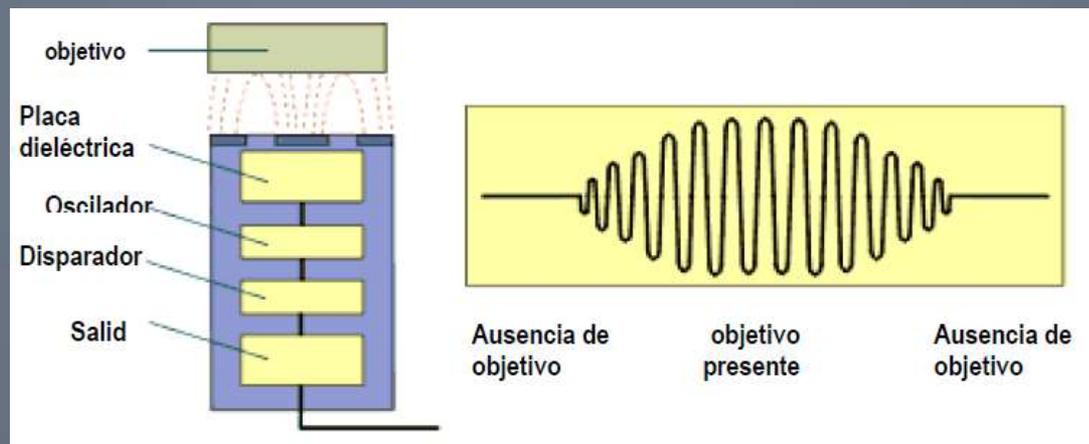
En cuanto a las formas de ejecución mecánica, tipos de alimentación y formas de conexión son idénticas a las de los detectores inductivos.



SENSORES DE PROXIMIDAD CAPACITIVOS

Principio de funcionamiento:

- Consiste en *dos aros metálicos concéntricos situados en la cara sensible y cuyo dieléctrico es el material de la zona sensible.*
- *Cuando un objeto se aproxima* a la superficie de sensado y éste entra al campo electrostático de los electrodos, *cambia la capacitancia* y hace que el circuito oscilador al que está conectado *comience a oscilar.*



- A partir de aquí hay un circuito que *detecta la amplitud del oscilador* y cuando llega a un punto *la salida del sensor cambia*. Cuando el objeto se aleja la amplitud desciende y el sensor pasa a su estado normal.

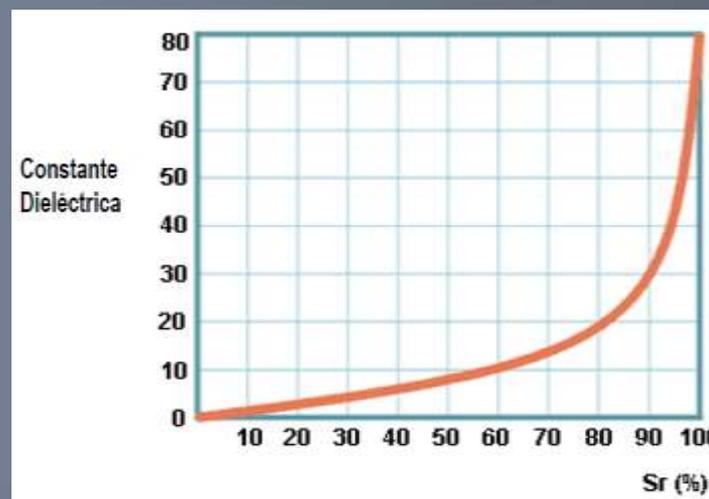
SENSORES DE PROXIMIDAD CAPACITIVOS

Influencia de la constante dieléctrica:

➤ Cuanto mayor es la constante dieléctrica del objeto a detectar mayor será la distancia a la que puede ser detectado el objeto y viceversa.

➤ En la gráfica se puede apreciar como varía la distancia de detección en función de la constante dieléctrica.

Esta gráfica se utiliza de la siguiente forma:



Si tenemos un material que queremos detectar, de por ejemplo 30 de constante dieléctrica y la distancia nominal de detección es de 10mm, entonces la distancia de detección para ese material será de $S = S_n * Sr(\%) = 10 * 0.9 = 9\text{mm}$.

SENSORES DE PROXIMIDAD CAPACITIVOS

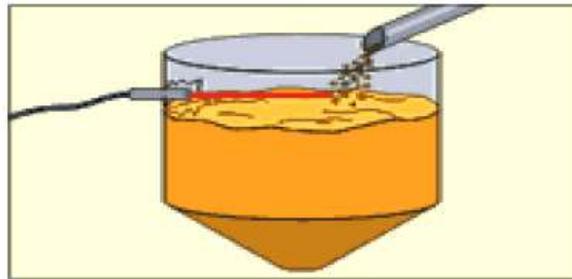
Tabla de constantes dieléctricas:

Material	D.C.	Material	D.C.
Alcohol	25.8	Polyamide	5
Araldite	3.6	Polyethylene	2.3
Bakelita	3.6	Polypropylene	2.3
Vidrio	5	Polystyrene	3
Mica	6	Polyvinyl Chloride	2.9
Hule duro	4	Porcelana	4.4
Laminado de papel	4.5	Tablaprensada	4
Madera	2.7	Vidrio sílica	3.7
Comp. cable moldeado	2.5	Arena sílica	4.5
Aire, Vacío	1	Hule silicón	2.8
Mármol	8	Teflon	2
Papel con aceite	4	Turpentine Oil	2.2
papel	2.3	Transformer Oil	2.2
Parafina	2.2	Agua	80
Petróleo	2.2	Hule suave	2.5
Plexiglas	3.2	Celluloid	3

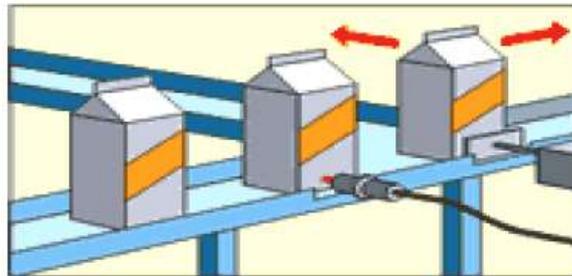
SENSORES DE PROXIMIDAD CAPACITIVOS

Ejemplos de aplicación:

➤ Una de las principales aplicaciones de estos sensores es la ***detección a través de recipientes***. Por ejemplo, el agua tiene una constante dieléctrica mucho más alta que el plástico, esto le da la posibilidad al sensor de ***detectar a través del recipiente***. De esta forma se puede ***detectar el nivel de líquidos***.



Control de nivel de llenado de sólidos en un recipiente



Detección de fluidos en contenedores tal como leche en botes de cartón

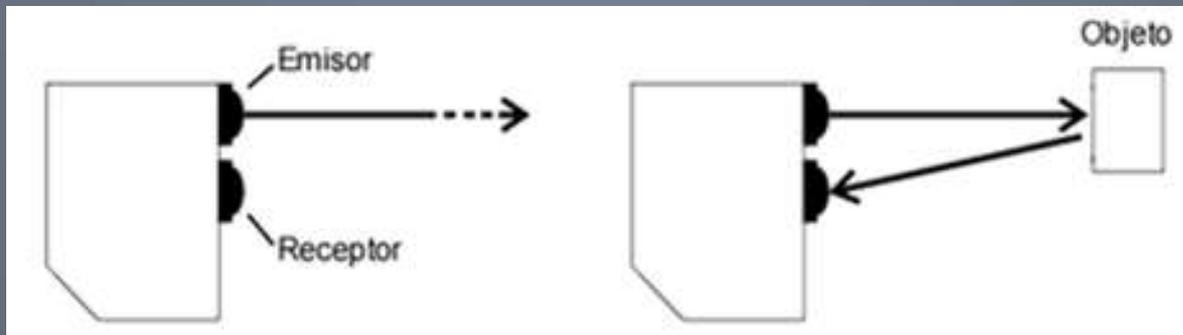
SENSORES DE PROXIMIDAD ÓPTICOS

- Los detectores ópticos emplean ***fotocélulas como elementos de detección.***
- Algunos tipos disponen de ***un cabezal que incorpora un emisor de luz y la fotocélula de detección,*** actuando por reflexión y detección del haz de luz, reflejado sobre el objeto que se pretende detectar.
- Otros tipos trabajan con ***un emisor y un receptor separados (modo barrera),*** están diseñados ***para detección de mayores distancias.***
- Ambos tipos suelen trabajar con ***frecuencias luminosas en la gama de los infrarrojos.***

SENSORES DE PROXIMIDAD ÓPTICOS

Tipos de detectores ópticos según el modo de trabajo:

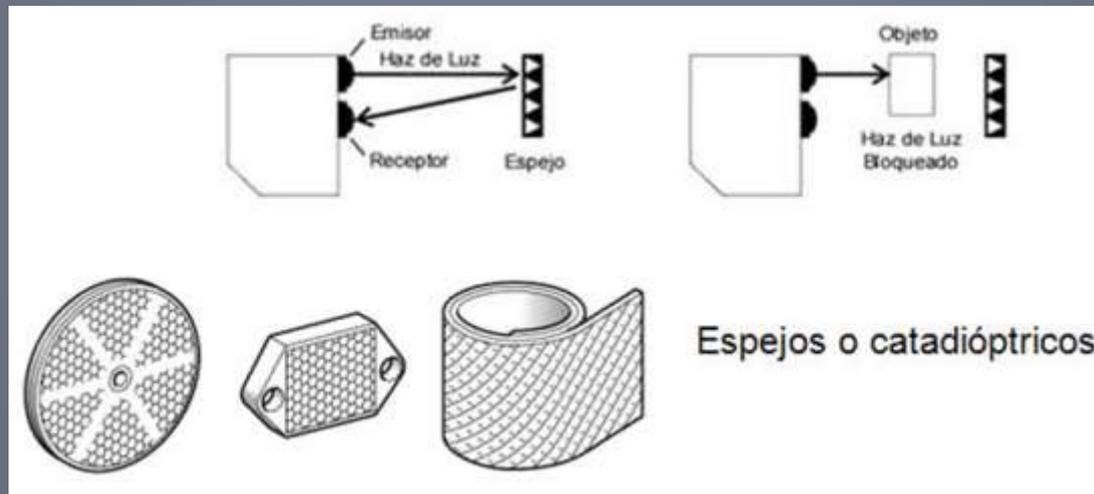
➤ **Reflexión sobre objeto o réflex:** el emisor emite un haz de luz y cuando un objeto interfiere en su recorrido, **la luz se refleja parcialmente hacia el receptor** lo que hace que cambie su estado.



SENSORES DE PROXIMIDAD ÓPTICOS

Tipos de detectores ópticos según el modo de trabajo:

➤ **Reflexión sobre espejo:** el detector *emite un haz de luz que en reposo es reflejado por un espejo* hacia el receptor del propio detector. Cuando un objeto interfiere en su área de trabajo, la luz deja de llegar al receptor cambiando su salida.

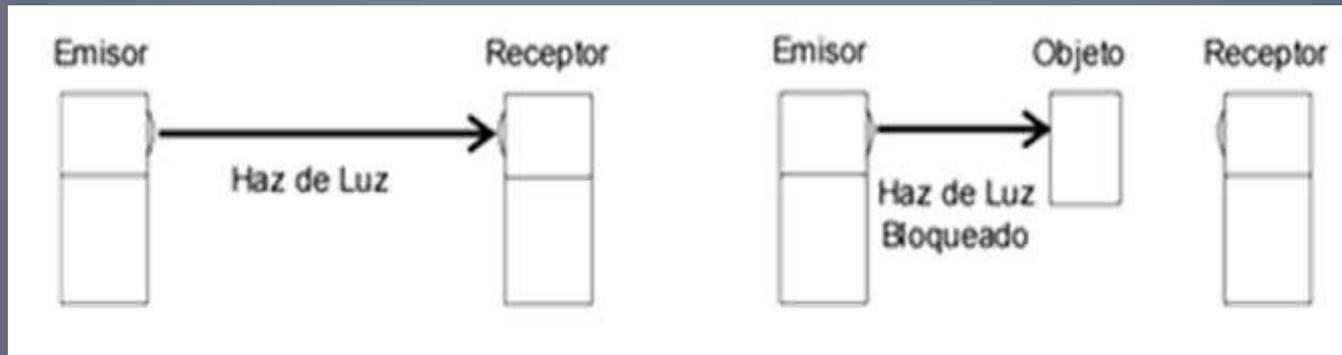


*El tamaño del reflector debe ser menor o igual del objeto a detectar, pero teniendo en cuenta a la vez que **cuanto mayor sea el tamaño, mayor será la posible distancia de detección.***

SENSORES DE PROXIMIDAD ÓPTICOS

Tipos de detectores ópticos según el modo de trabajo:

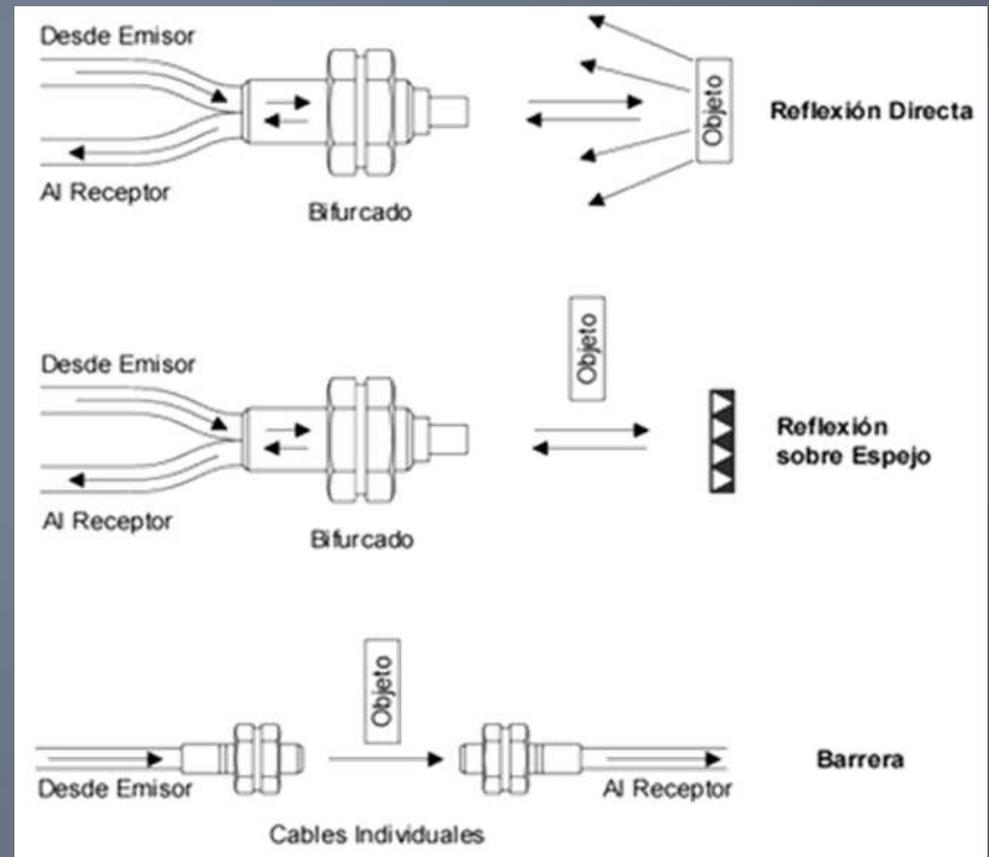
➤ *Barrera óptica:* el emisor y receptor del detector forman cuerpos *separados*. El emisor produce un haz de luz que en reposo llega al receptor creándose una especie de *barrera de luz*. Cuando un objeto interfiere en el haz de luz, el receptor deja de recibirlo, modificando su salida.



SENSORES DE PROXIMIDAD ÓPTICOS

Tipos de detectores ópticos según el modo de trabajo:

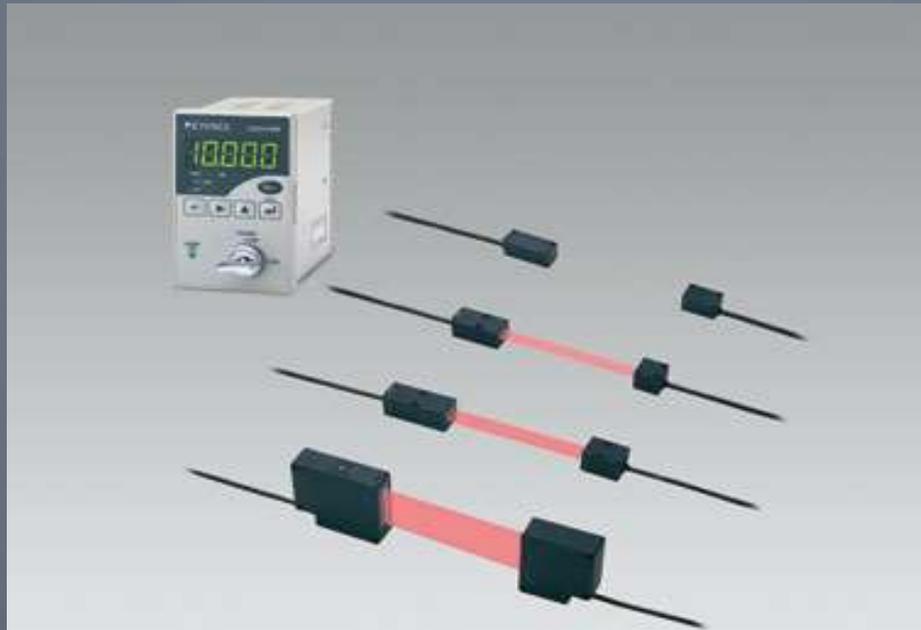
➤ *Fibra óptica: en cualquiera de los tipos anteriores la luz puede ser canalizada mediante fibra óptica, pero como la fibra atenúa la luz, la distancia de detección se reduce.* Los puntos de emisión y recepción de luz están separados de la unidad generadora, y unidos a ella mediante fibra, de esta forma *se puede llevar a lugares de difícil acceso.*



SENSORES DE PROXIMIDAD ÓPTICOS

Tipos de detectores ópticos según el modo de trabajo:

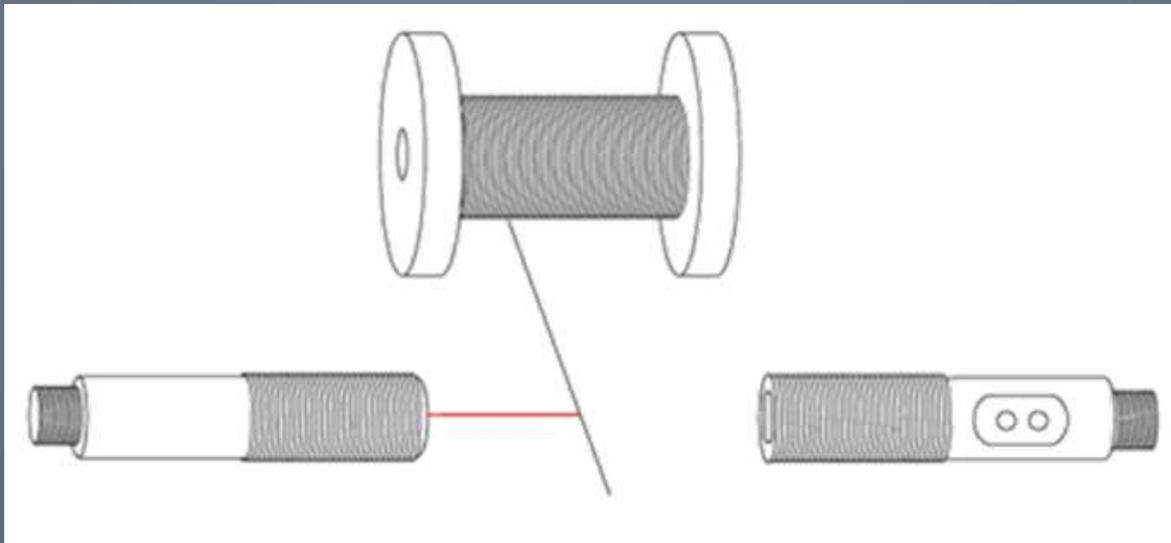
➤ *Detectores laser:* los detectores láser *utilizan una luz de alta intensidad visible* que permite una instalación y ajuste fácil. Se pueden utilizar en cualquier modo de operación.



SENSORES DE PROXIMIDAD ÓPTICOS

Tipos de detectores ópticos según el modo de trabajo:

➤ La tecnología del láser *permite la detección de objetos sumamente pequeños a una distancia elevada*, por ejemplo 0.1 mm² a una distancia de 80 cm. Podría detectarse un hilo de 0,1 mm de diámetro.

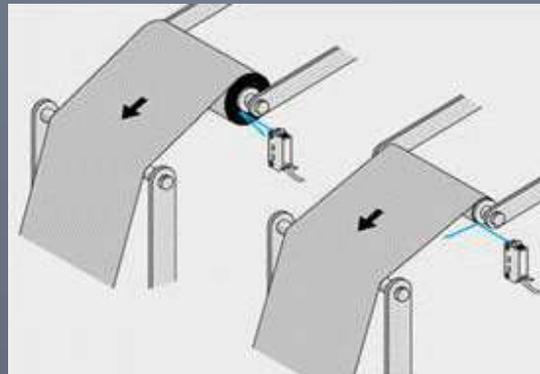
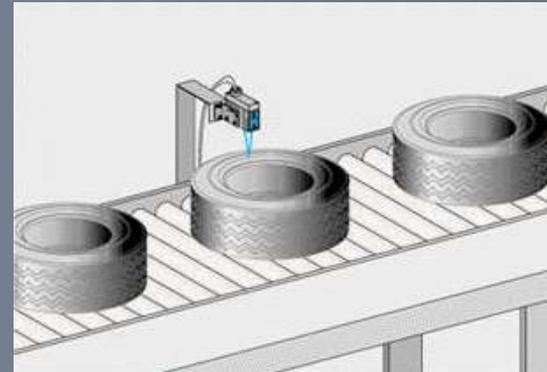
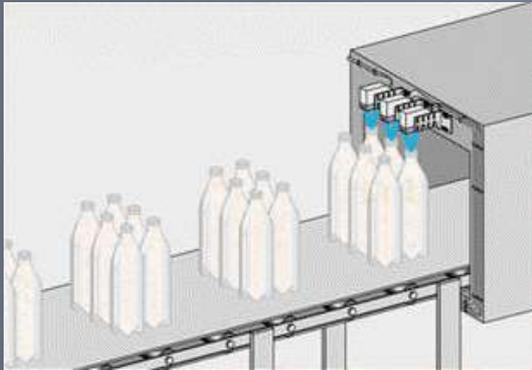


SENSORES DE PROXIMIDAD ÓPTICOS

Ejemplos de aplicación:

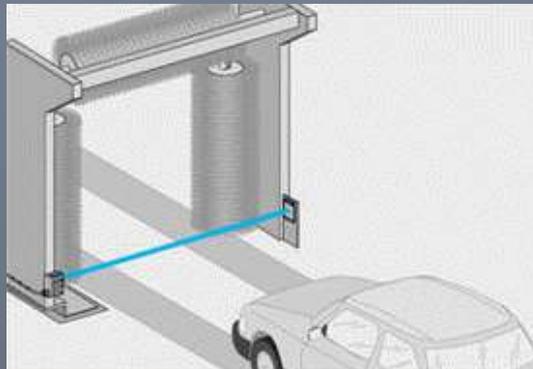
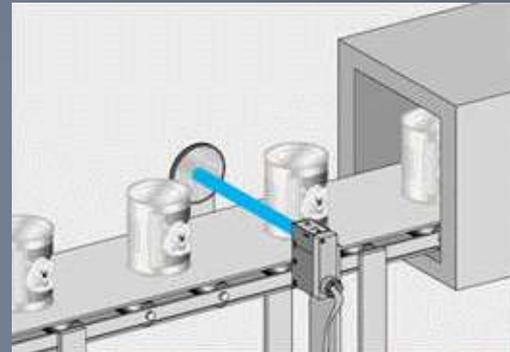
➤ Son muchas las posibles aplicaciones de los detectores ópticos, habiendo aplicaciones más adecuadas para cada modo de operación.

▪ *Reflexión directa sobre objeto (proximidad).*



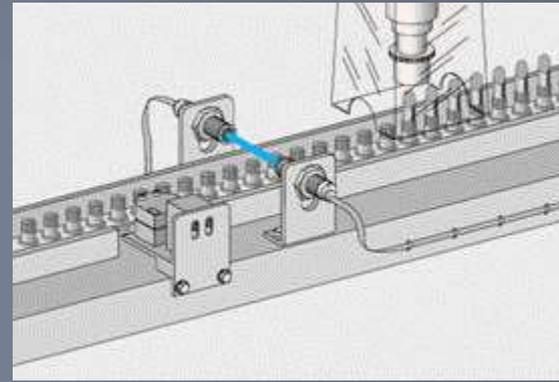
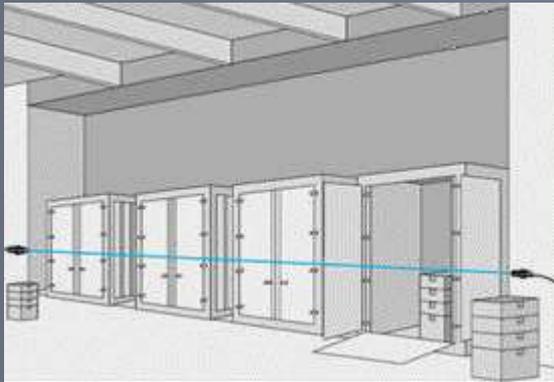
SENSORES DE PROXIMIDAD ÓPTICOS

- *Reflexión sobre espejo reflector.*

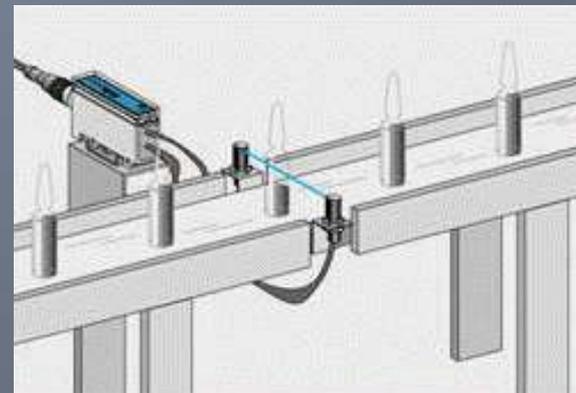
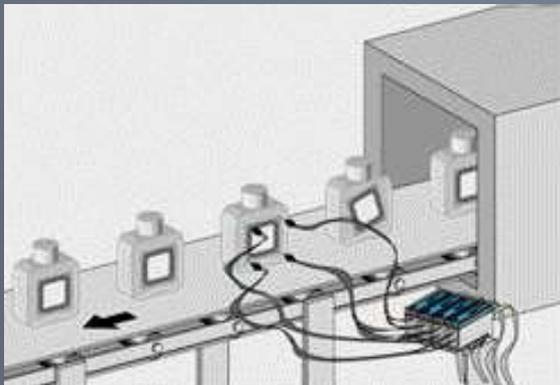


SENSORES DE PROXIMIDAD ÓPTICOS

▪ *Barrera óptica.*



▪ *Fibra óptica.*



SENSORES DE PROXIMIDAD POR ULTRASONIDOS

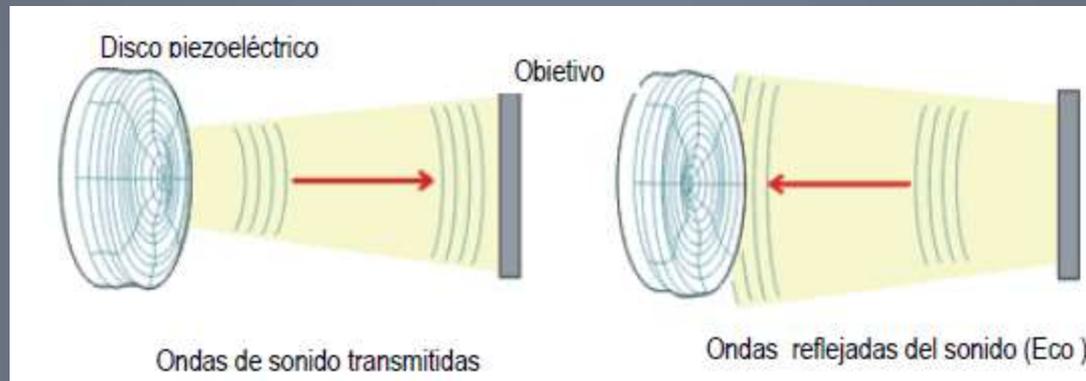
- Los sensores por ultrasonidos están *basados en la emisión-recepción de señales de sonido de alta frecuencia.*
- Cuando *un objeto interrumpe el haz, el nivel de recepción varía y el receptor lo detecta,* actuando sobre el nivel de salida del sensor.



SENSORES DE PROXIMIDAD POR ULTRASONIDOS

Principio de operación:

➤ El sensor *tiene un disco piezoeléctrico* montado en su superficie, *el cual produce ondas de sonido.*



➤ Cuando los pulsos transmitidos alcanzan a un objeto reflector de sonido, *se produce un eco.*

➤ Para detectar un objeto, *se valora la distancia temporal entre el impulso de emisión y el impulso del eco*

➤ Cuando el objetivo entra dentro del rango de operación preestablecido la salida del interruptor cambia de estado. Cuando el objetivo se sale del rango preestablecido la salida regresa a su estado original.

SENSORES DE PROXIMIDAD POR ULTRASONIDOS

Ventajas:

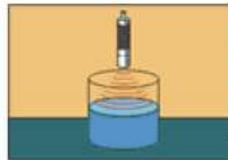
- Detectan objetos a ***distancias de hasta 8m.***
- Trabajan solamente en el aire, y pueden detectar objetos con diferentes formas, colores, superficies y materiales.
- Los materiales pueden ser sólidos, líquidos o polvorientos, sin embargo ***han de ser deflectores de sonido.***
- ***Pueden detectar objetos transparentes*** (ventaja frente a los ópticos).

Inconvenientes:

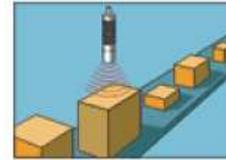
- ***Falsas alarmas.***
- ***No funcionan bien en zonas donde el aire se mueve con violencia o en medios con elevada contaminación acústica.***
- ***Las zonas ciegas,*** es decir, la zona comprendida entre el lado sensible del detector y el alcance mínimo en el que ningún objeto puede detectarse de forma fiable.

SENSORES DE PROXIMIDAD POR ULTRASONIDOS

Ejemplos de aplicación:



Medición de nivel en vasijas grandes



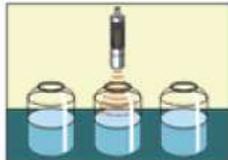
Sensado de alturas



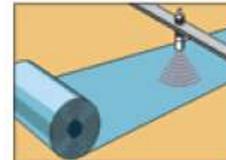
Anticolisión



Control de Calidad



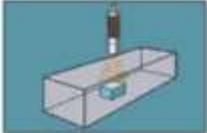
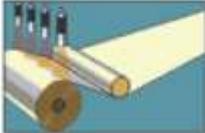
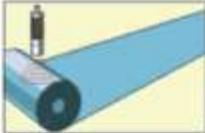
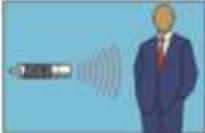
Medición de nivel en botellas pequeñas



Sensado de Fisuras

SENSORES DE PROXIMIDAD POR ULTRASONIDOS

Ejemplos de aplicación:

	Conteo de botellas		Sensado de altura de apilados
	Sensado de objetos		Reconocimiento de curvados
	Sensado y posicionamiento de vehiculos		Sensado de Diámetro y Control de velocidad de listón
		Sensado de personas	
		Monitoreo de rupturas de Alambres y Cuerdas	
		Control de loops	

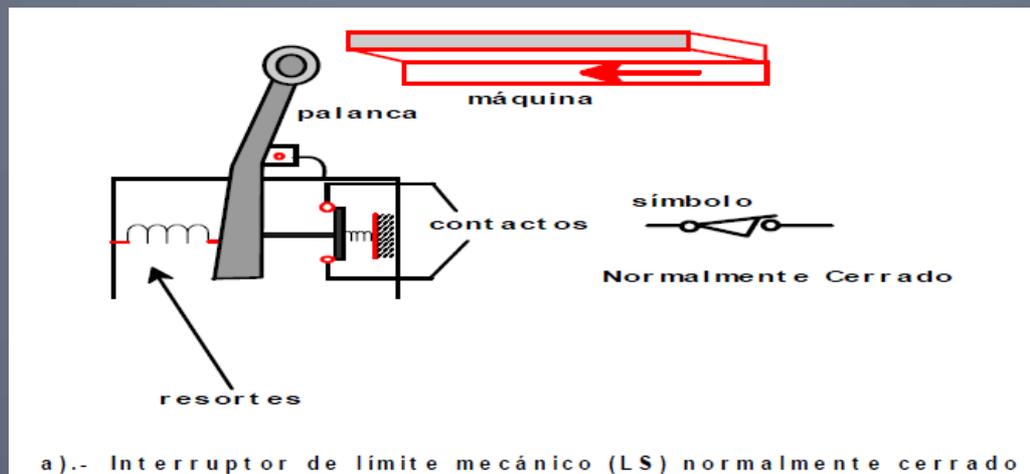
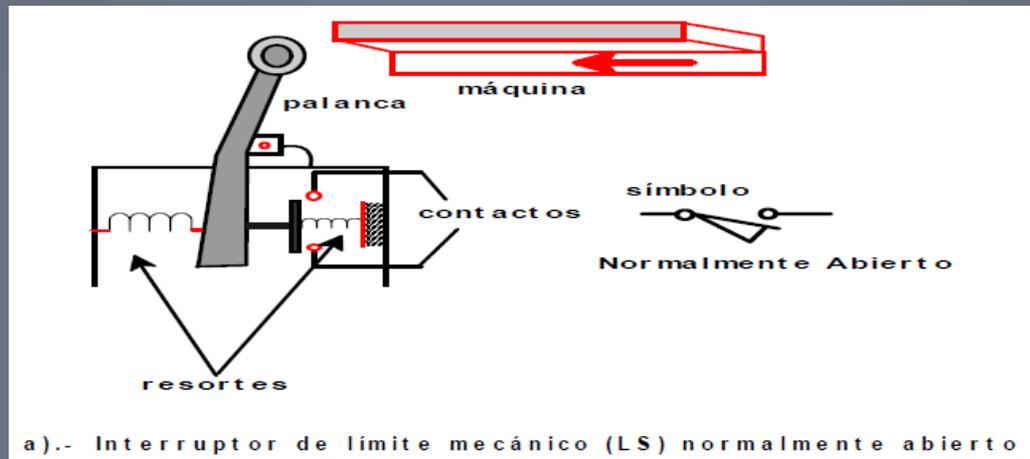
DETECTORES ELECTROMECA'NICOS

- Popularmente conocidos como *finales de carrera*, *microinterruptores* o *limit switch (interruptor de limite)*.
- Consiste en una especie de *interruptor que se activa o desactiva cuando un elemento mecánico lo acciona*.
- Su uso es muy diverso, empleándose, en general, *en todas las máquinas que tengan un movimiento rectilíneo de ida y vuelta o sigan una trayectoria fija*, es decir, aquellas que realicen una carrera o recorrido fijo, como por ejemplo ascensores, montacargas, robots, etc.



DETECTORES ELECTROMECA'NICOS

➤ Lo normal es que tengan *dos contactos*, uno normalmente abierto NA y otro normalmente cerrado NC.



DETECTORES ELECTROMECA'NICOS

Principales desventajas:

- Producen ***rebote mecánico*** al conmutar.
- Se produce ***desgaste y requieren mantenimiento.***
- Son de ***respuesta lenta.***
- ***Ruidosos.***
- ***Voluminosos.***
- Tienen una ***vida limitada.***

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE DETECTORES DE PROXIMIDAD

➤ La tabla siguiente *nos ayuda en la elección del sensor de proximidad más adecuado* en función de las características necesarias para cada aplicación.

MATERIAL		DISTANCIA DETECCIÓN	TIPO SENSOR
SÓLIDO	METÁLICO	<50mm	<i>Inductivo</i>
		>50mm	<i>Ultrasónico u óptico</i>
	NO METÁLICO	<50mm	<i>Capacitivo</i>
		>50mm	<i>Ultrasónico u óptico</i>
LÍQUIDO	TRANSPARENTE	<50mm	<i>Capacitivo</i>
		>50mm	<i>Ultrasónico</i>
	OPACO	<50mm	<i>Capacitivo</i>
		>50mm	<i>Óptico</i>
POLVO O GRANULADO	METÁLICO	<50mm	<i>Inductivo</i>
		>50mm	<i>Ultrasónico</i>
	NO METÁLICO	<50mm	<i>Capacitivo</i>
		>50mm	<i>Ultrasónico</i>

POTENCIOMETRO

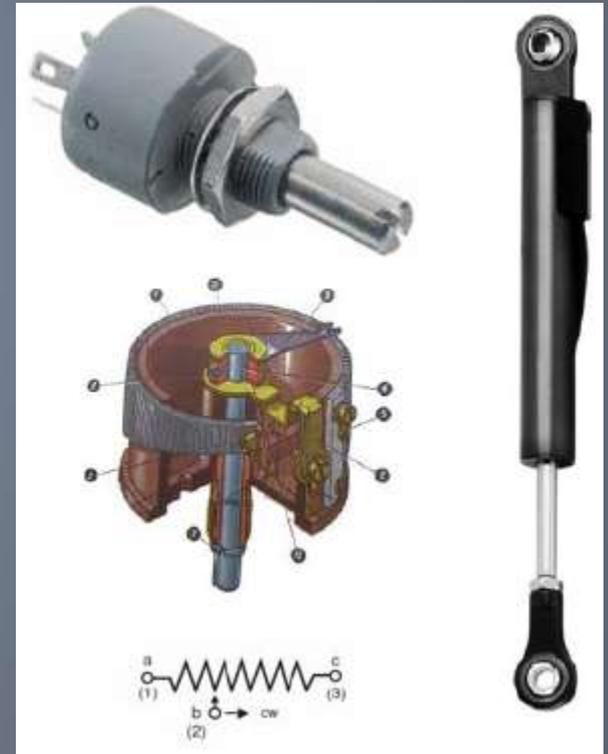
Es un transductor de posición, de tipo absoluto y con salida de tipo analógico.

Principio de funcionamiento:

➤ Consiste en *una resistencia de hilo bobinado o en una pista de material con forma circular o rectilínea a la que se añade un cursor móvil*. De esta forma se consigue una resistencia dividida en dos partes variables a través del movimiento del cursor.

➤ *Cuando se alimenta* entre los extremos de la resistencia *con una tensión constante, aparece entre la toma intermedia y uno de los extremos una tensión proporcional a la posición del cursor*.

➤ En el caso de un *potenciómetro rotativo* tendremos una *tensión proporcional al ángulo de giro* y en *el caso lineal* será *proporcional al desplazamiento* con respecto a un extremo.



ENCODERS ÓPTICOS

- Están disponibles en *dos tipos*, uno que responde a la *rotación*, y el otro al *movimiento lineal*.
- Cuando son *usados en conjunto con dispositivos mecánicos* tales como engranajes, ruedas de medición o flechas de motores, estos pueden ser utilizados para *medir movimientos lineales, velocidad y posición*.
- Son dispositivos que *incluyen unos detectores ópticos en el estator (parte estática) y un rotor (parte móvil) donde se colocan unas bandas opacas y translúcidas alternadas*.

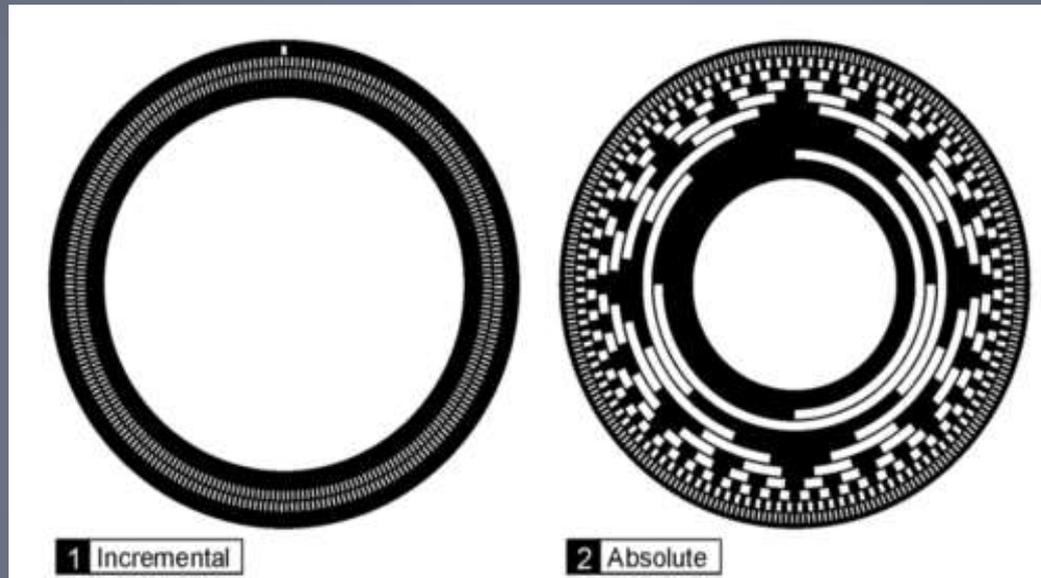
Principio de funcionamiento:

Al girar el eje del encoder, *los sensores darán señales digitales en función de si detectan una banda opaca o translúcida*. Estas señales digitales nos indicarán la posición angular del eje.



ENCODERS ÓPTICOS

➤ Existen dos tipos de encoders: *los incrementales y los absolutos*.



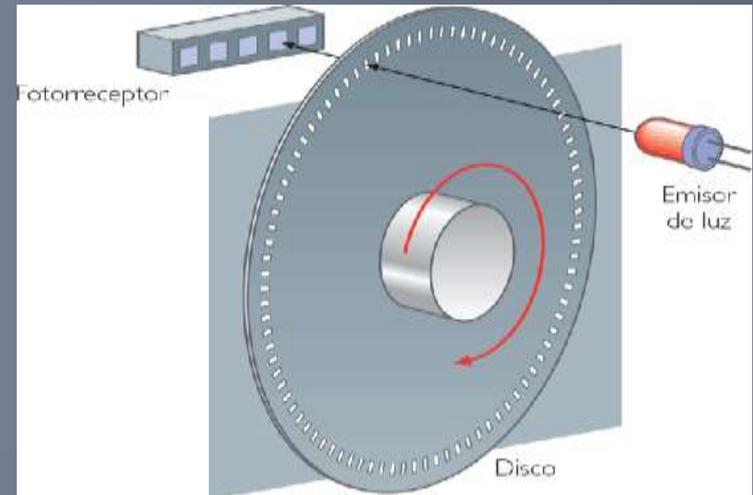
En la figura anterior se observa cómo se disponen las bandas opacas y translúcidas en los encoders incrementales y en los absolutos.

ENCODERS ÓPTICOS

Encoders incrementales:

➤ Tienen las **bandas a igual distancia (paso)** repartidas a lo largo del disco rotórico y en el estator suelen disponer de **dos pares emisor-receptor ópticos**.

Los detectores ópticos registran una serie de impulsos por vuelta y **mediante un contador se puede determinar la posición a partir de un origen de referencia**. También **se puede detectar el sentido de giro** escalando los sensores un número entero de pasos más $\frac{1}{4}$ de paso.



➤ La resolución dependerá del número de divisiones del rotor.

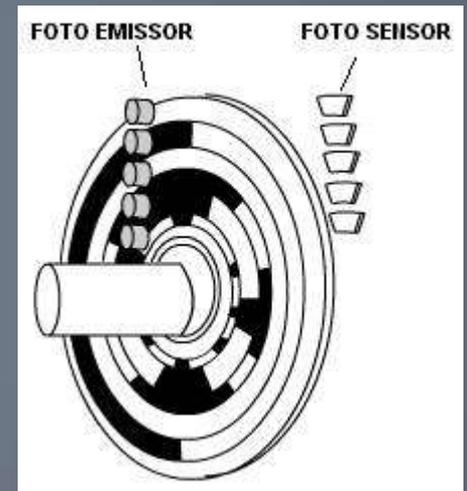
$$\text{Resolución} = \frac{360^\circ}{N}$$

ENCODERS ÓPTICOS

Encoders absolutos:

➤ El estator tiene *un captador óptico por cada corona del rotor. Cuantas más haya mayor será la resolución.*

➤ La posición queda determinada mediante *la lectura del código de salida, el cual es único para cada una de las posiciones* dentro de la vuelta.



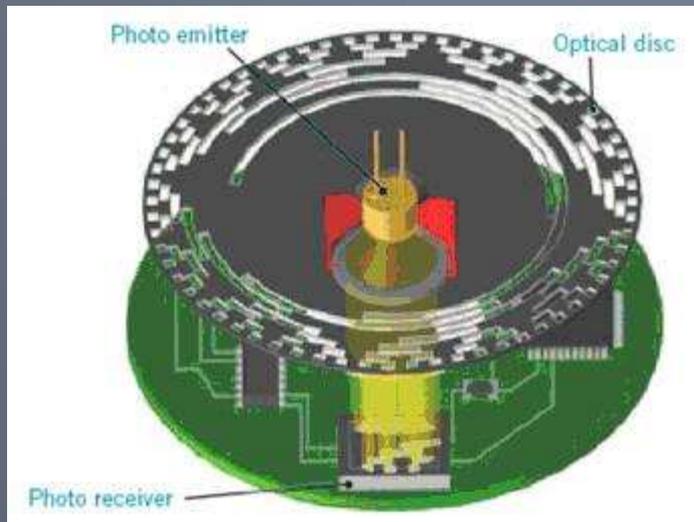
➤ Los encoders absolutos *no pierden posición real cuando se corta la alimentación o en caso de desplazamientos*, que es uno de los problemas de los encoders incrementales.

ENCODERS ÓPTICOS

Encoders absolutos:

➤ *Debido a problemas con códigos binarios consecutivos como 7 (0111) 8 (1000), donde todos los bits del código sufren un cambio de estado es casi imposible que las variaciones sean instantáneas y que se produzcan todas en el mismo momento. Debido a este problema se utiliza una variante del código binario: el código Gray, aprovechando su principal particularidad de que al pasar entre dos códigos consecutivos solo un bit cambia de estado.*

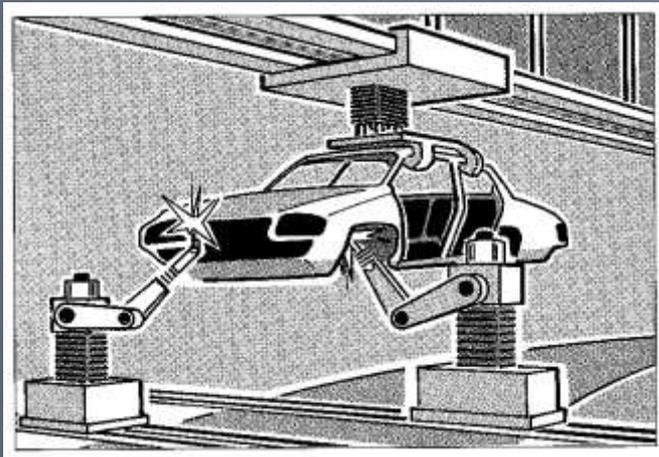
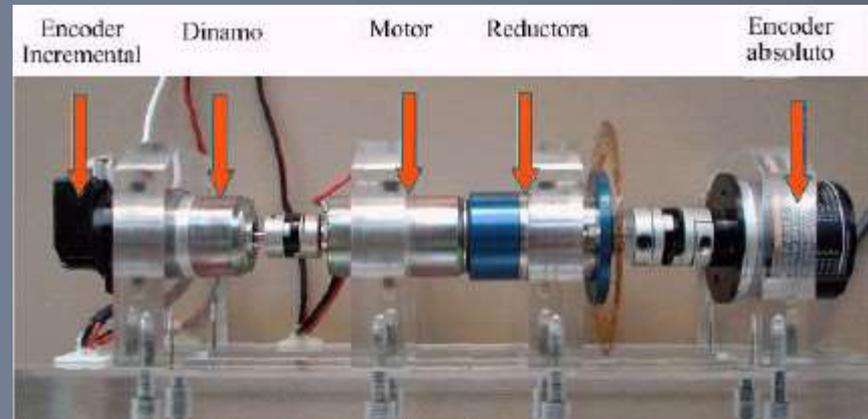
Binario	Gray
0000	0000
0001	0001
0010	0011
0011	0010
0100	0110
0101	0111
0110	0101
0111	0100
1000	1100
1001	1101
1010	1111



ENCODERS ÓPTICOS

Los *encoders incrementales* suelen tener una *mayor resolución, precisión y velocidad que los absolutos*. Debido a estas características suelen ser utilizados en *maquinas que dan muchos giros, la medida es dada con respecto a una referencia, etc.*

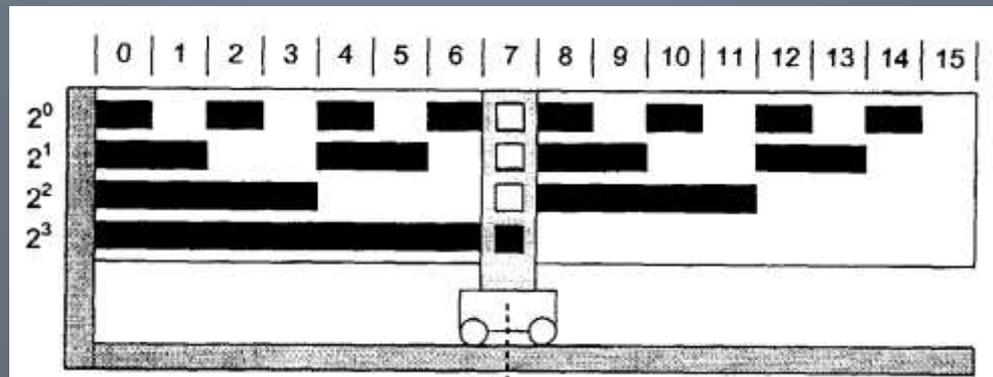
Los *encoders absolutos* son utilizados cuando *es importante conocer la situación absoluta en cada momento, no se dan muchas vueltas o no se pasa por el origen.*



ENCODERS ÓPTICOS

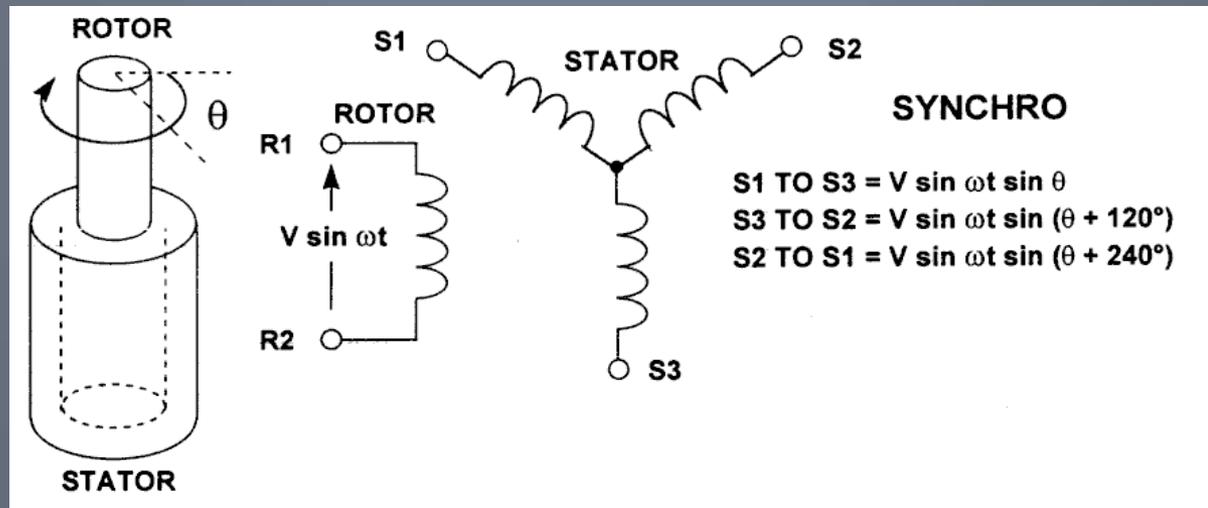
Encoders lineales ópticos o reglas digitales:

- Cuando necesitamos *medir el desplazamiento lineal* en lugar del angular podemos utilizar los encoders lineales en los que *las bandas se disponen longitudinalmente*, tal como se puede apreciar en la figura.
- En general, miden el desplazamiento lineal con *mucha resolución y sin rozamiento* por tratarse de tecnología óptica, permitiendo así millones de operaciones con una alta resolución.



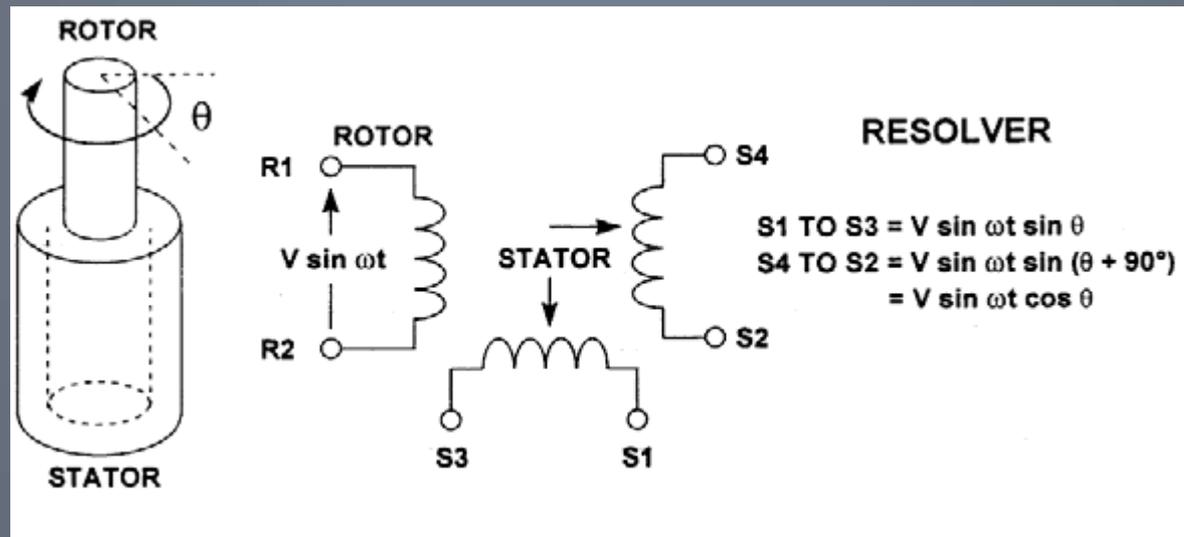
SINCROS Y RESOLVERS

- Un sincro es *un transductor de posición angular de tipo electromagnético*.
- Existen diferentes tipos de sincros pero las configuraciones más frecuentes son las que disponen de *un primario monofásico* alojado en el rotor y *un secundario trifásico* alojado en el estator.



SINCROS Y RESOLVERS

- Un resolver *es un sincro pero con una configuración diferente* de primario y secundario.
- Generalmente se sitúa *el primario en el estator y es bifásico, y el secundario se sitúa en el rotor y puede ser monofásico o bifásico.*



SINCROS Y RESOLVERS

Principio de funcionamiento:

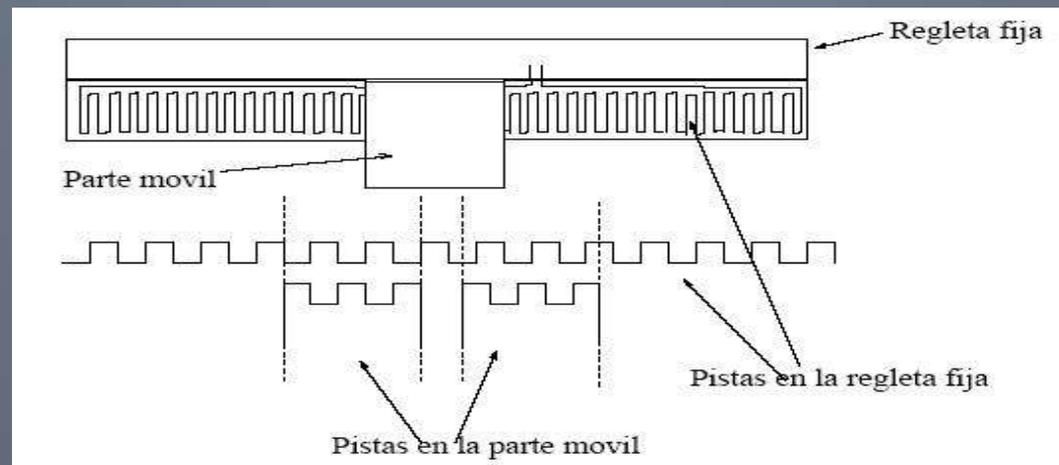
➤ Cuando *se aplica una tensión senoidal U_1 al devanado primario*, en cada uno de los devanados secundarios se producirán *unas señales cuya amplitud y fase dependerá de la posición del primario*. Para poder tratar el sistema de control, la información generada por los resolvers y los sincros es necesario convertir las señales analógicas en digitales. Para ello se utilizan los llamados convertidores resolver/digital (r/d).

Aplicación:

➤ Sus prestaciones de resolución y exactitud son similares a los codificadores digitales. Estos transductores soportan altas temperaturas, humedades, vibraciones y choques. En consecuencia *son apropiados para operar en entornos hostiles*. Los problemas de mantenimiento involucran sólo al rotor. Las asimetrías en los devanados son la única fuente de error; *una precisión usual es $\pm 0,5\%$* .

REGLAS MAGNÉTICAS O INDUCTOSYN

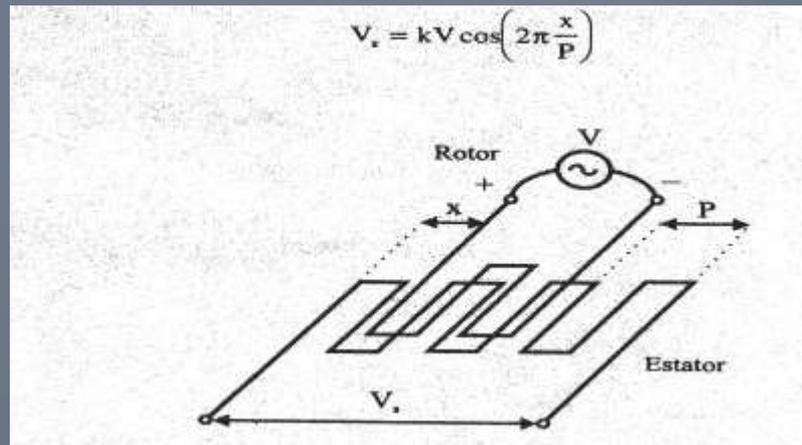
➤ El funcionamiento es *similar al del resolver*, con la diferencia de que *aquí el rotor desliza linealmente* sobre el estator. Hay *una regleta fija con pistas* y *una regleta móvil* con sus pistas enfrentadas a la parte fija.



REGLAS MAGNÉTICAS O INDUCTOSYN

Principio de funcionamiento:

➤ Cuando se aplica una tensión alterna V a la pista fija, en las pistas móviles se inducen unas tensiones cuyas amplitudes dependen del desplazamiento lineal de la regla móvil desde el inicio de su recorrido. A partir del valor eficaz de estas dos tensiones es posible saber la posición lineal.



Aplicación:

➤ Es muy utilizado en muchísimas máquinas herramienta y de control numérico. También hay una versión rotatoria basada en los mismos principios que la lineal.

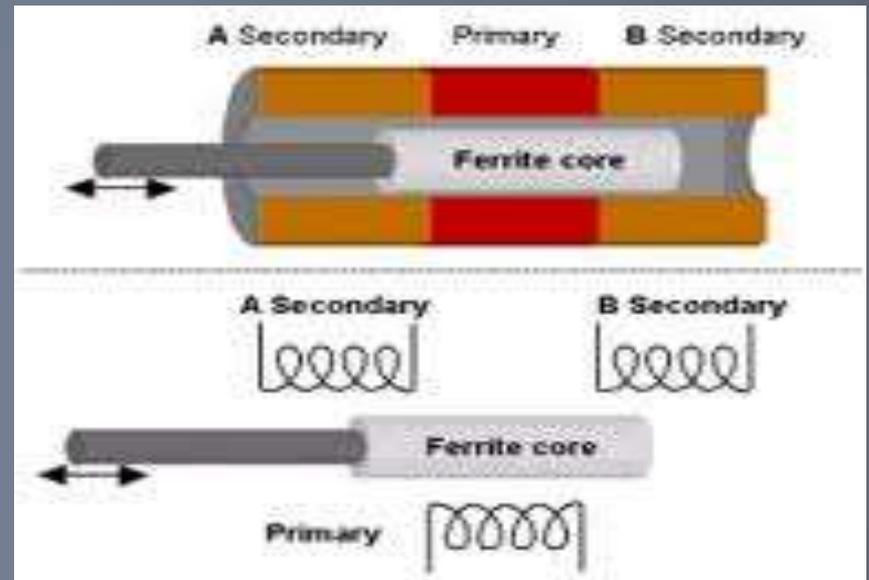
RVDT y LVDT

- Un RVDT (*Rotary Variable Differential Transformer*) o un LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) es en esencia un transformador.
- La diferencia entre un tipo y otro es que *uno detecta la posición lineal y el otro angular*.



RVDT y LVDT

➤ Se compone de *un cuerpo hueco cilíndrico que contiene dos bobinados secundarios idénticos* los cuales están *posicionados en ambos lados del bobinado central primario* y *un núcleo de ferrita cilíndrico que se mueve libre longitudinalmente* dentro de la bobina. Los secundarios típicamente están conectados en serie en oposición uno de otro.



RVDT y LVDT

Principio de funcionamiento:

- Aplicando *una señal alterna de excitación al bobinado primario, genera un campo magnético que se acopla a los bobinados del secundario* a través del núcleo de ferrita móvil, por esto se inducen voltajes en los secundarios.
- Cuando *el núcleo está centrado entre los dos secundarios*, los voltajes inducidos en ambos son iguales y puesto que están conectados en serie en oposición, *el voltaje final será cero*.
- *Si el núcleo se mueve en dirección del secundario A, el voltaje incrementa, y el voltaje del secundario B decrece*; de este modo el voltaje neto final $V_A - V_B$ *será de la misma polaridad (en fase) como el de referencia*. Si el núcleo se mueve en dirección opuesta, $V_A - V_B$ será de polaridad opuesta (180° de desfase).

RVDT y LVDT

➤ De este modo, como *el núcleo de ferrita se mueve a lo largo de su eje* dentro del LVDT, *el voltaje de salida empieza con una polaridad, decrece completamente a cero, después incrementa con polaridad opuesta*, todo de una manera continua y suave.

➤ Aunque los LVDT son robustos y exactos, solo producen *salidas analógicas de bajo voltaje* (la sensibilidad está entre 6.3 y 0.08 mV por voltio de excitación por milímetro de desplazamiento) y por lo tanto *necesitan mucho cuidado al realizar la amplificación*.

➤ *Aplicación:*

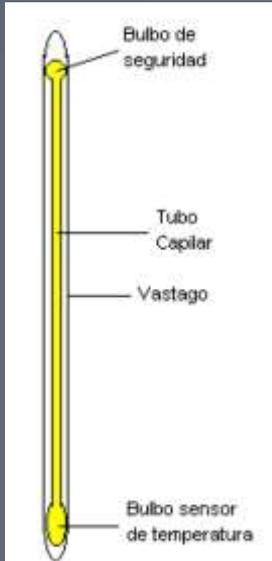
Los transductores LVDT y RVDT son utilizados extensamente en *medición y aplicaciones de control de medida de desplazamientos desde nanómetros hasta un metro*, más o menos. Se encuentran en *sistemas de metrología, en posición de válvulas, en actuadores hidráulicos*.

La temperatura es otro de los parámetros que muchas veces debe controlarse en los procesos industriales.

Los instrumentos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura entre los cuales figuran:

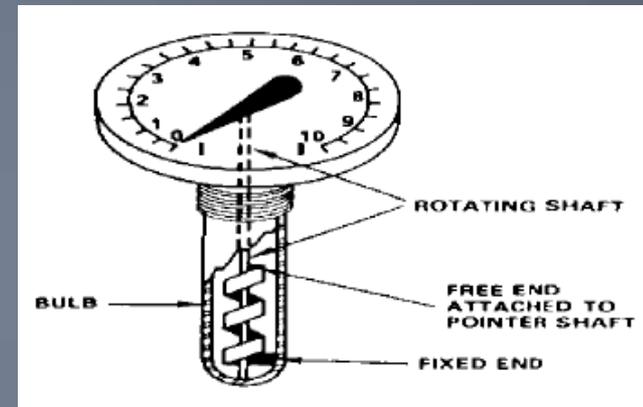
- Variaciones en el volumen o en el estado de los cuerpos.
- Variación de resistencia de un conductor (termoresistencias o sondas de resistencia).
- Variación de resistencias de un semiconductor (termistores).
- F.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termopares).
- Intensidad de radiación emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación).

➤ Variaciones en el volumen o en el estado de los cuerpos.



Termómetro de vidrio: basado en que contiene un líquido que se expande con la temperatura

Termómetro de bulbo: consiste en un bulbo conectado por un capilar a una espiral. Cuando la T^a cambia el gas o líquido dentro del bulbo se expande y actúa sobre la espiral que mueve una aguja indicadora de la temperatura.



Termómetro bimetalico: se fundan en el distinto coeficiente de dilatación de dos metales diferentes. Normalmente se dispone con una salida todo o nada.

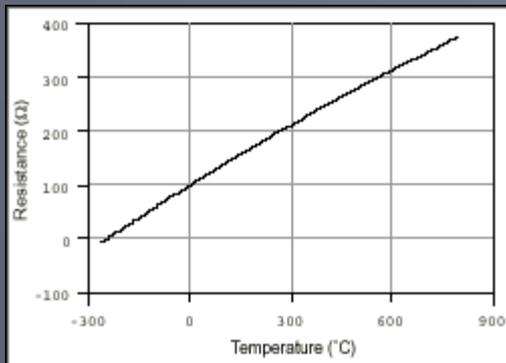
➤Variación de resistencia de un conductor (termoresistencias o sondas de resistencia).



También llamadas RTD, se fundamentan en la variación que experimenta la resistencia de los metales con la temperatura. Siendo esta variación aproximadamente lineal con la temperatura.

Uno de los metales más usado para este tipo de detector es el platino (Pt-100), el cual se caracteriza por presentar una resistencia de 100Ω a 0°C .

La relación entre resistencia y temperatura viene dada por la relación:



$$R_T = R_0[1 + At]$$

Variación de resistencias de un semiconductor (termistores PTC y NTC).

NTC (Negative Temperature Coefficient) – coeficiente de temperatura negativo

PTC (Positive Temperature Coefficient) – coeficiente de temperatura positivo



Los termistores son una resistencia sensible a la temperatura formada por un semiconductor elaborado a base de óxidos de metales. Se fabrican Termistores con coeficientes positivos y negativos de temperatura.

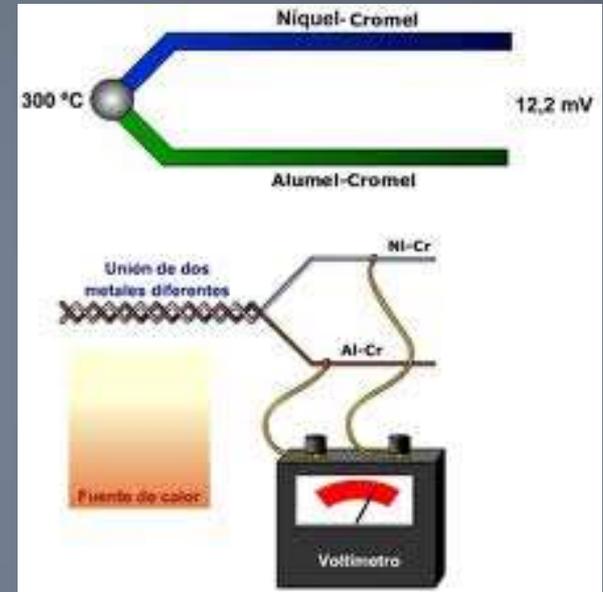
Ventajas: impedancia mucho mas alta que los RTD, gran cambio de resistencia con un pequeño cambio de temperatura

Desventajas: posible mayor autocalentamiento y la falta de linealidad que exige un algoritmo de linealización.

➤ F.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termopares).

Los termopares o termocuplas están formados por la unión de dos metales distintos, los cuales se encuentran soldados por uno de sus extremos y por el otro extremo se dejan separados.

El voltaje que aparece en los extremos de la unión, conocido como voltaje Seebeck aumenta con la temperatura.



Los termopares se utilizan extensamente, ya que presentan el más amplio rango de temperatura con respecto a los otros sensores de temperatura, y una construcción mas robusta. Además, no precisan de alimentación y su bajo coste las hace muy atractivas.

➤ Intensidad de radiación emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación).

Cuando las temperaturas a medir son muy elevadas se pueden utilizar medidores sin contacto, como son los pirómetros. Se fundamentan en que la intensidad de energía radiante emitida por la superficie de un cuerpo aumenta proporcionalmente a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo, es decir, $W=KT^4$.



Los instrumentos que miden la temperatura de un cuerpo en función de la radiación luminosa que este emite, se denominan **pirómetros ópticos** y los que miden la temperatura captando toda o una gran parte de la radiación emitida por un cuerpo, se llaman **pirómetros de radiación total**.

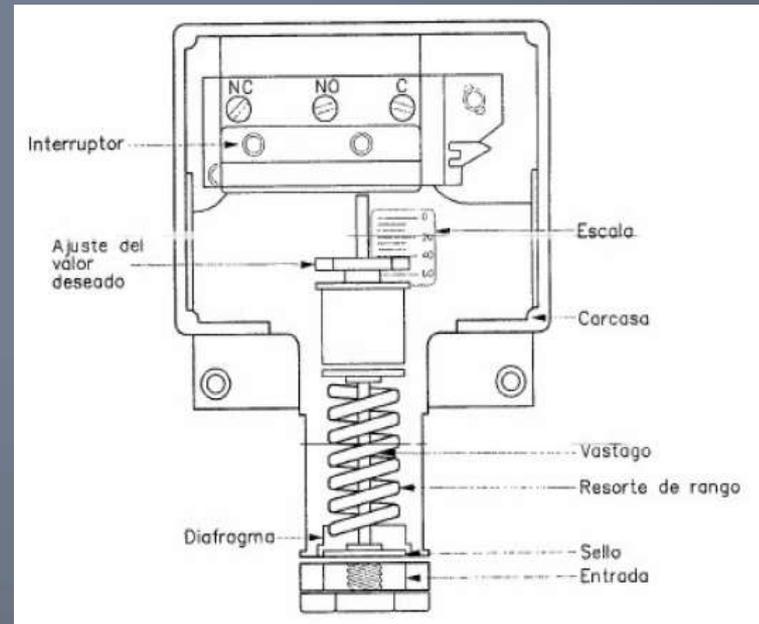
Otro parámetro que suele ser habitualmente controlado es la presión. La lista de sensores de presión es extensa, por lo que simplemente haremos una clasificación y daremos algunos ejemplos.

Clasificación:

- Mecánicos.
 - Tipo Burdon, en espiral, diafragma, de fuelle.
- Neumáticos.
 - Sistema paleta-tobera.
- Electromecánicos.
 - Resistivos.
 - Magnéticos – de inductancia variable, de reluctancia variable, capacitivos, strain-gage, piezoeléctricos
- Electrónicos de vacío.
 - Térmico – térmico de termopar, transductor Pirani, bimetálico.
 - Transductores de ionización – de filamento caliente, de cátodo frío.
 - Manómetro de McLeod.

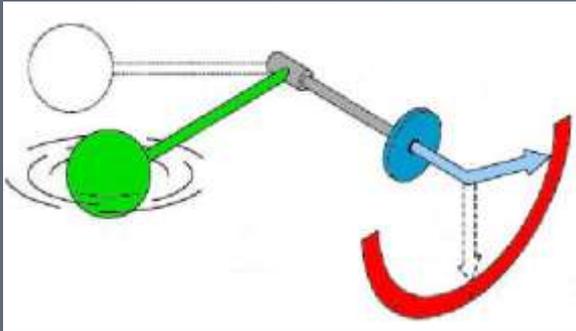
Presostato:

También es conocido como **interruptor de presión**. Permiten regular o controlar una presión o depresión en los circuitos neumáticos o hidráulicos. Cuando la presión alcanza el valor de reglaje, cambia el estado el contacto NO/NC de forma brusca.

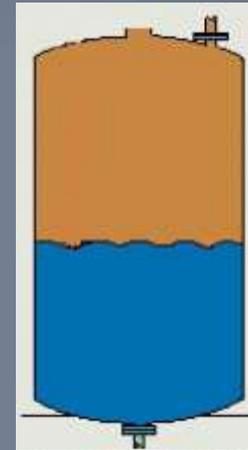


Destacaremos los siguientes:

Flotador



Medición de la diferencia de presión



$$h = (P - P_{\text{ref}}) / \rho g$$

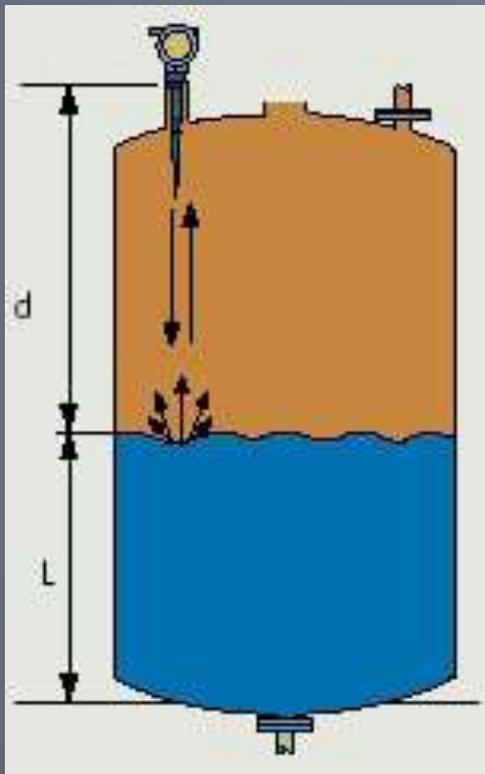
Capacitivo



La capacidad varía en función del aire y del líquido que contiene el recipiente.

Ultrasónico

Se basan en que las ondas de ultrasonidos al chocar con el líquido son reflejadas y el tiempo que tardan en regresar depende del nivel del líquido.



Los sensores de fuerza necesitan **un elemento plástico**, por medio del cual la fuerza realiza **un trabajo que se traduce en una deformación**.

El sensor se completa con **un sistema eléctrico capaz de convertir las deformaciones (o desplazamientos) del elemento plástico en señales proporcionales**, susceptibles de ser amplificadas y acondicionadas mediante sistemas electrónicos.

Los sensores de fuerza mas utilizados pueden estar basados en:

- Galgas (células de carga).
- Materiales piezoeléctricos.



Basados en Galgas:

Una galga es un elemento que convierte las deformaciones en señales eléctricas proporcionales. Esto es, las **variaciones en longitud** provocan cambios en la **resistencia del elemento**.

Las galgas van adheridas a la superficie del material de prueba formando un conjunto.

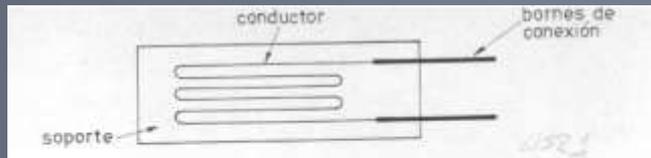


Figura 3. Constitución de una galga de filamento

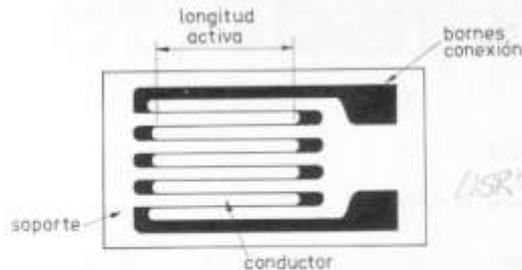
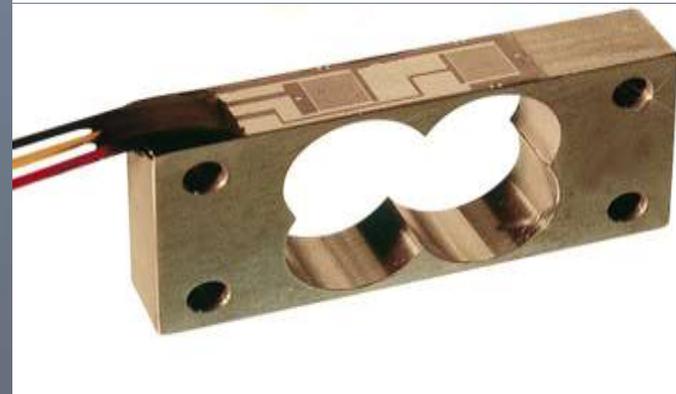
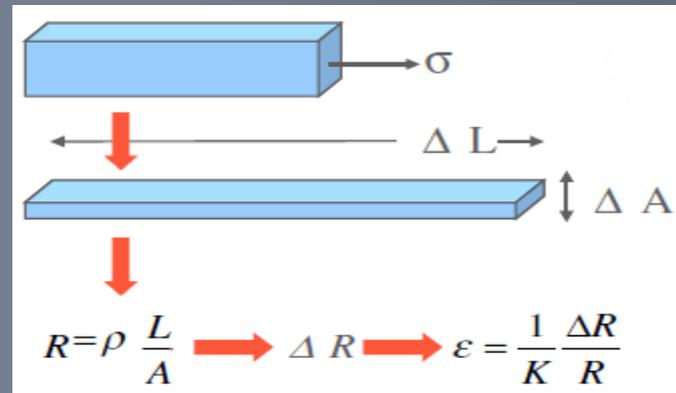


Figura 4. Constitución de una galga de trama pelicular



Piezoeléctricos:

El **principio de funcionamiento** se basa en el efecto *Piezoeléctrico directo* según el cual, **las superficies de algunos cristales se cargan bajo la acción mecánica**. El material piezoeléctrico más utilizado para la medida de fuerzas es el **cuarzo** (SiO_2), debido a su estabilidad.

Los sensores de cuarzo tienen la ventaja de ser muy compactos, fuertes y ultrasensibles, además de ofrecer un amplio rango de medida. Dado que el cuarzo es altamente rígido, el desvío en la medición es muy pequeño. Gracias a su elevada frecuencia natural, los sensores de cuarzo son perfectos para medir procesos ultrarápidos de alta frecuencia que actúan en microsegundos.

