

# SENSORES

Fundamentos de Robótica Industrial

Versión 2024



# Introducción

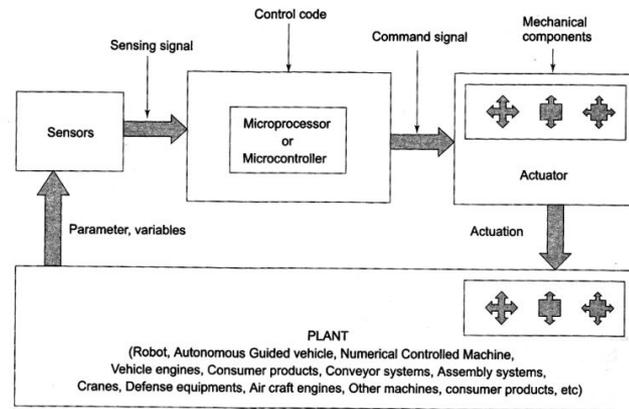
Un **sensor** es todo aquello que mide una propiedad sensible a una magnitud del medio, y al variar esta magnitud también varía con cierta intensidad la propiedad, es decir, manifiesta la presencia de dicha magnitud, y también su medida.

Transductor: Transforma una magnitud física en otra procesable.

En *robótica*, los sensores se usan para:

- conocer el estado de alguna variable (“*feedback*”) interna al sistema → **Sensores Propioceptivos**
- interactuar con el ambiente que lo rodea → **Sensores Exteroceptivos**

Existe una gran variedad de sensores que son capaces de medir casi cualquier fenómeno físico, no obstante, en este curso nos enfocaremos en los más utilizados en robótica.





Vision guidance enables:

- Lean system setups
- More flexibility
- Higher complexity of tasks



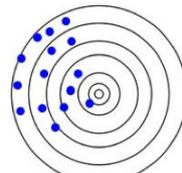
## Introducción - características

Además de existir una gran variedad de sensores para diferentes fenómenos físicos, también existen distintos sensores que cumplen con el mismo propósito. Es en estas circunstancias se deben considerar otras características deben ser consideradas:

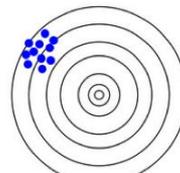
- **Costo:** Es imprescindible balancear el costo con la utilidad-necesidad-importancia del sensor en el sistema.
- **Tamaño:** Puede ser importante cuando existen limitaciones de espacio.
- **Peso:** Puede cambiar considerablemente la inercia, balanceo, tiempo de respuesta del robot, sobre todo los sensores del extremo.
- **Tipo de salida:** Digital (0 y 1) o Análoga (continua). Dependiendo de la finalidad de la señal puede ser necesario un convertidor A-D o D-A.
- **Conectividad:** Ante la necesidad de conectar con otros dispositivos, debe considerarse que sea posible por las conexiones en sí mismas, y también por los cables en si.
- **Sensibilidad:** Cambio en la señal de salida en respuesta a un cambio en la señal de entrada.
- **Linealidad:** Es una buena característica de un sensor que la señal de salida sea lineal con respecto a la variable medida. En general, la mayoría de los sensores son lineales en algún rango de funcionamiento y se calibran para ese mismo. Otros no son lineales, pero pueden ser linealizados conociendo la no-linealidad.

## Introducción - características

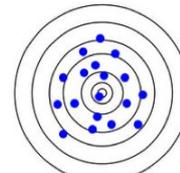
- *¿Qué magnitud miden?*
- **Rango:** Entre que rango de valores puedo medir, es la Diferencia entre el valor máximo y mínimo de la variable de entrada en el cual el sensor puede trabajar correctamente.
- **Exactitud:** Diferencia entre la lectura del sensor y el valor real
- **Precisión:** Si mido el mismo valor físico varias veces, ¿Cuánto van a diferir las lecturas sucesivas?
- **Resolución:** Mínimo salto de medida capaz de ser representado por el sensor.
- **Sensibilidad:** Cambio en la señal de salida en respuesta a un cambio en la señal de entrada.
- **Tiempo de Respuesta:** Es el tiempo que le toma a la salida del sensor alcanzar el 95% del cambio total en la variable medida.
- **Confiabilidad:** Razón entre las veces que funciona correctamente y las veces que se usa el sensor.



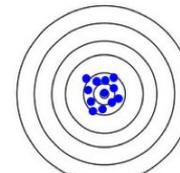
Impreciso  
Inexacto



Preciso  
Inexacto



Impreciso  
Exacto



Preciso  
Exacto

## Introducción - características

En robótica es la norma que exista una diferencia entre lo que el sensor dice y el valor real.

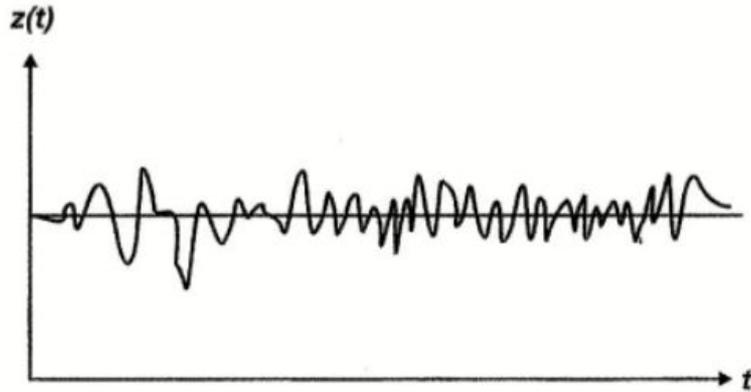
¿Por qué?

- Modelo de sensado incompleto - Por ej. el mercurio se expande de manera lineal en todo el rango
- Ruido térmico - Oscilaciones térmicas a nivel atómico totalmente aleatorias
- Interferencia cruzada - Interferencia entre sensores, por ej 2 sonares
- Fallos al adquirir un valor
- Asociación a una función de probabilidad - Por ej. el ruido térmico

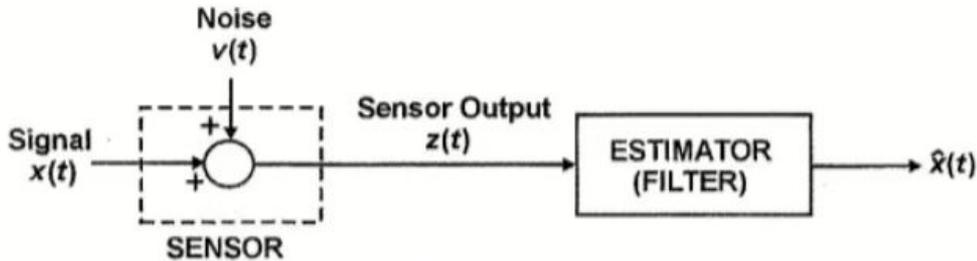
¿Cómo manejar el error?

- Filtros, Promediar, Corte de frecuencia (separar las frecuencias de variable con la de ruidos)
- Filtros de Kalman

## Introducción - filtro promediar



(a)

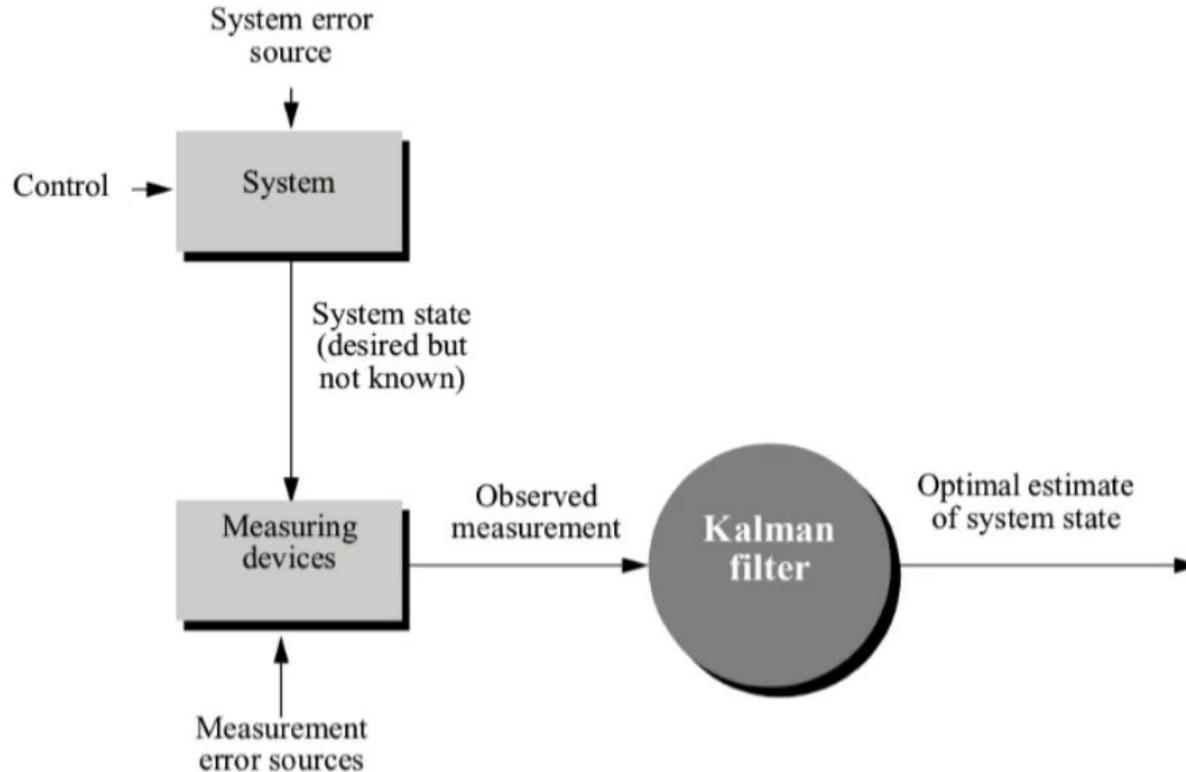


(b)

$$\hat{x} = \frac{1}{t} \int_{t=0}^t z(t) dt$$

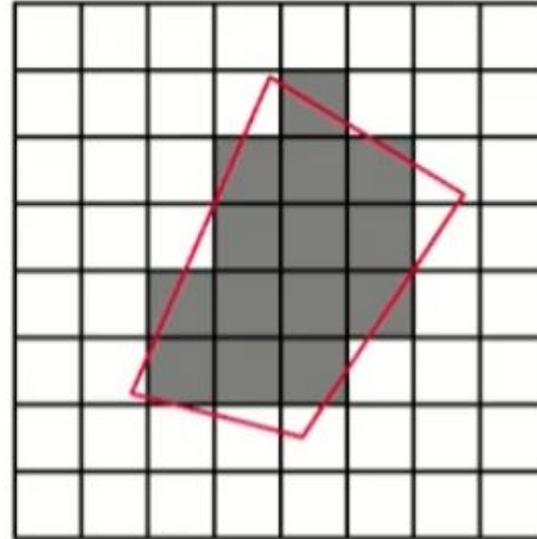
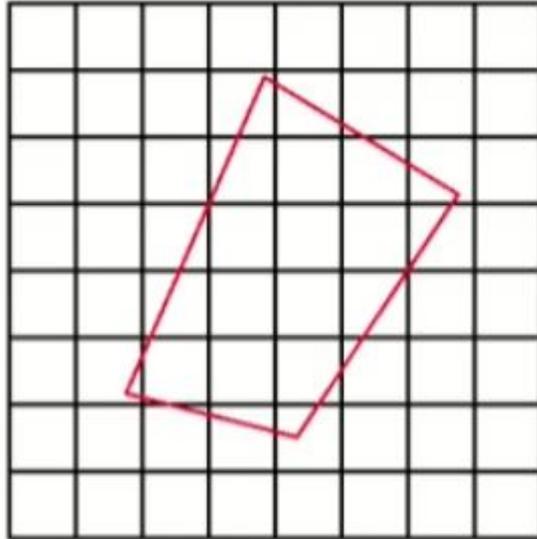
$$\hat{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z(t_i)$$

## Introducción - filtro de kalman



## Introducción - Aliasing

Dos medidas completamente diferentes pueden tener representaciones idénticas



## Introducción - clasificación

Obviamente existen muchas clasificaciones posibles, en este caso los clasificaremos de la forma más intuitiva que es según su función, en las siguientes categorías:

- **Sensores de posición:**
  - Potenciómetros
  - Encoders
  - LVDT (Linear Variable Differential Transformer)
  - Resolvers
- **Sensores de velocidad**
  - Encoders
- **Sensores de Aceleración**
  - Acelerómetros
- **Sensores de Fuerza y Presión**
  - Piezoeléctrico
  - FSR (Force-Sensing Resistor)
  - Strain Gauge
- **Sensores de Par**
- **Sensores de Luz (Visible o Infrarroja)**
- **Sensores de contacto o de tacto**
- **Sensores de proximidad**
  - Magnéticos
  - Ópticos
  - Ultrasónicos
  - Inductivos
  - Capacitivos
  - Corrientes de Eddy
- **Medidores de distancia**
  - Ultrasónicos
  - Basados en Luz (infrarroja y láser)
- **Sensores de Fallos**

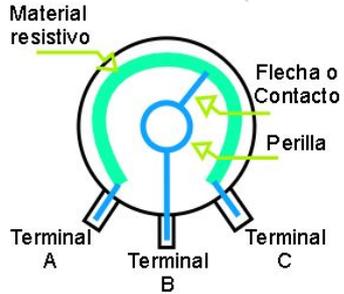
Otros tipos de clasificación serían:

- Local/Global
- Pasivo /Activo
- Por su interfaz de lectura

## Sensores de posición: Son aquellos cuya función es medir **desplazamientos** tanto lineales como angulares.

### Potenciómetros

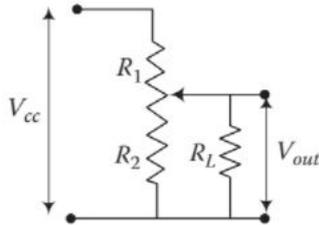
Estos sensores convierten información de posición en un voltaje variable a través de una resistencia variable acoplada al movimiento.



$$V_{out} = \frac{R_2 R_L}{R_1 R_L + R_2 R_L + R_1 R_2} \cdot V_{cc}$$

Donde  $R_L$  es la carga resistiva externa.

Si  $R_L \gg R_1$  y  $R_2$  (caso habitual)  $\rightarrow V_{out} = V_{cc} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$



Los **potenciómetros** son usualmente usados como **feedback** (**sensor propioceptivo**) de la posición de la articulación.



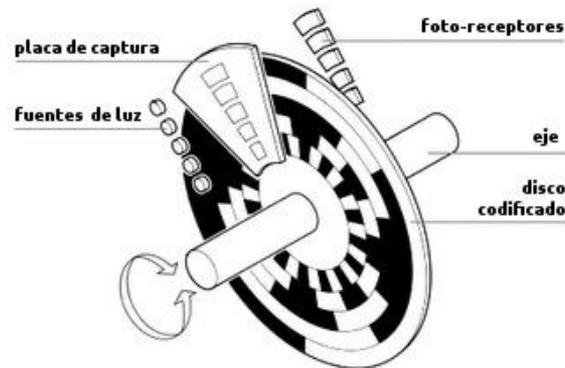
## Sensores de posición: Son aquellos cuya función es medir **desplazamientos** tanto lineales como angulares.

### Encoders

Estos sensores presentan una salida digital (0 y 1) para cada pequeña porción de movimiento y son usados habitualmente como **sensores propioceptivos**.

Son discos (rotativo) o reglas (lineal) divididos en pequeñas secciones las cuales son transparentes (o reflectivas) u opacas a la luz que utiliza el dispositivo.

Una luminaria solidaria al sensor lanza un haz de luz hacia esta superficie que en función de la posición de la parte móvil del sistema, deja pasar (o refleja) cierta cantidad de luz según un patrón, que es recibida por un fotorreceptor que genera la señal de salida.



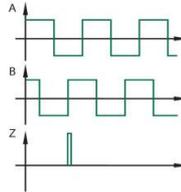
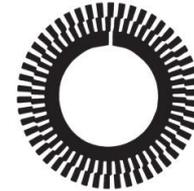
## Sensores de posición: Son aquellos cuya función es medir **desplazamientos** tanto lineales como angulares.

### Encoders incrementales



Los incrementales pueden dividirse en 2 tipos, los que pueden identificar el sentido de movimiento y los que no. Ambos tipos presentan divisiones iguales, detectando el cambio de estado en el fotorreceptor y su resolución está dada por la cantidad de divisiones que tienen, por lo que cada cambio simboliza un desplazamiento de  $360^\circ/\#\text{divisiones}$  en el rotativo, o  $\text{Largo}/\#\text{divisiones}$  en el lineal. Es por esto, que los incrementales calculan desplazamiento desde la posición 0, pero no identifican la posición exacta del disco o la regla.

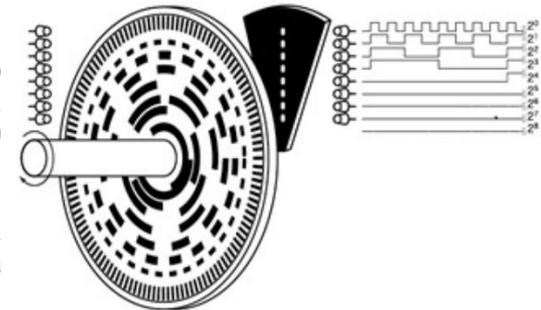
El **encoder incremental** capaz de identificar además el sentido de movimiento, presenta otra franja desfasada de la primera, que según el fotorreceptor que se active primero, indica el sentido del movimiento.



### Encoders absolutos

En este tipo de sensores cada posición tiene un patrón único en todo el recorrido de fotorreceptores activados y desactivados. Esto es análogo a decir que cada posición tiene un vector de  $n$  (cantidad de receptores) entradas relleno de 1 y 0 único, en función de la posición del disco o regla.

Esto se traduce en que el sensor es capaz de ubicar exactamente (según la precisión) al disco o regla, en cada momento, independientemente de donde haya sido encendido el sensor.



## Sensores de posición: Son aquellos cuya función es medir **desplazamientos** tanto lineales como angulares.

### LVDT (Linear Variable Differential Transformer)

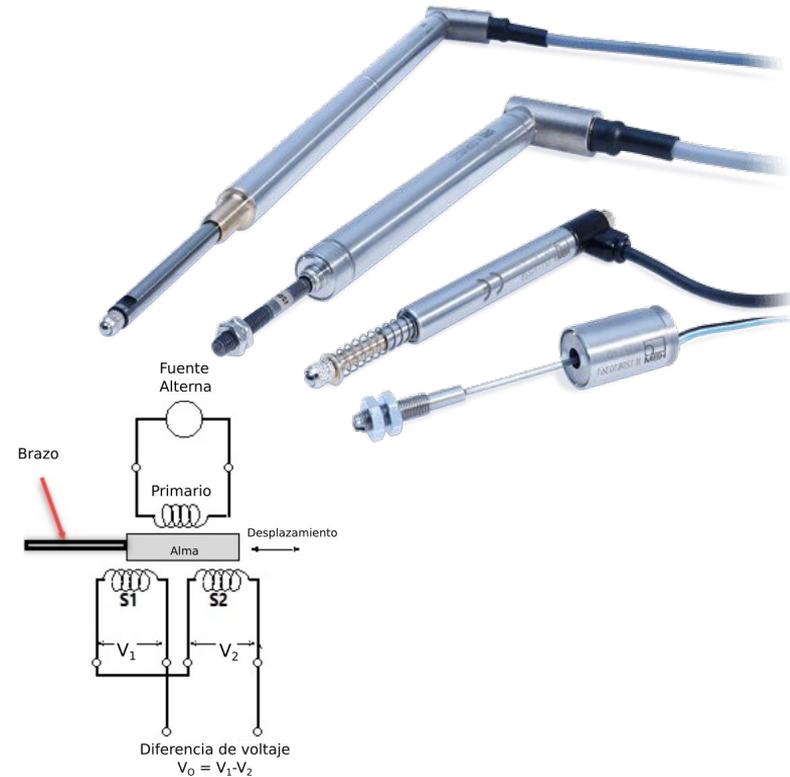
Los LVDT son transformadores cuyo voltaje de salida  $V_o$  varía según la posición del alma dentro de los bobinados, puesto que su localización altera los campos magnéticos.

Habitualmente los bobinados se encuentran solidarios a la carcasa del instrumento, y el alma esta anclada a un vástago o brazo que es el que es desplazado pero el movimiento del sistema.

Existen diferentes terminales de anclaje de los vástagos para ajustarse a casi cualquier situación, incluyendo: terminales palpadoras, fijas con rosca, enclavables o incluso rótulas para permitir cambios de ángulos.

Este sensor presenta una salida analógica, que es un voltaje que varía en determinado rango dependiendo del sensor (habitualmente 0-5v, 0-10v).

Este dispositivo puede ser utilizado tanto como un **sensor propioceptivo**, como un **sensor exteroceptivo**.



## Sensores de posición: Son aquellos cuya función es medir **desplazamientos** tanto lineales como angulares.

### Resolver

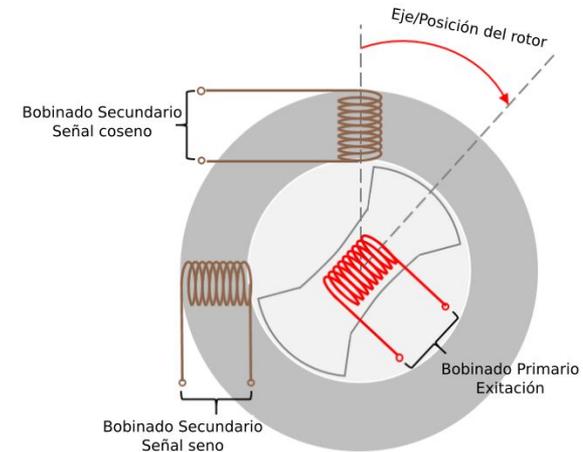
Los Resolvers son la alternativa angular al LVDT, a pesar de que existen los RVDT (Rotational Variable Differential Transformers), estos últimos son superados en precisión y rango por los resolvers.

El campo magnético generado por el bobinado primario excita a los secundarios de forma diferente según su posición. Al componer el voltaje de salida de ambos bobinados secundarios es posible determinar la posición del bobinado primario que se encuentra solidario al rotor.

La salida de estos sensores es también analógica cuyos rangos habituales son 0-5v o 0-10v, pudiendo existir otras variantes.

Este dispositivo es generalmente utilizado como un **sensor propioceptivo** para determinar la posición de las articulaciones.

Los resolvers son confiables, robustos y precisos.



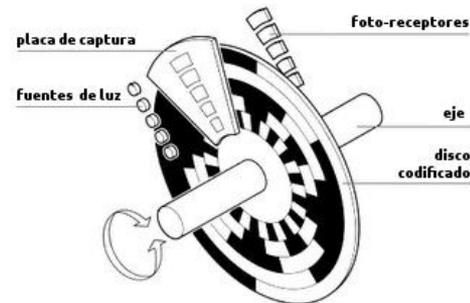
## Sensores de velocidad: Son aquellos cuya función es medir (o calcular) la **velocidad** tanto lineal como angular.

### Encoders

Aunque los encoders en si no son sensores de velocidad, si son estos los que se usan para determinar la posición de la articulación, es innecesario instalar otro sensor para determinar la velocidad.

Al ser capaz de dar la posición para cada instante, contando el desplazamiento en un determinado lapso de tiempo  $dt$ , la velocidad puede ser calculada. Un lapso de tiempo habitual puede ser  $dt=10ms$ .

La precisión, sensibilidad y la velocidad de actualización del valor de la velocidad, son valores que dependen directamente de la precisión del encoder y el  $dt$  utilizado.



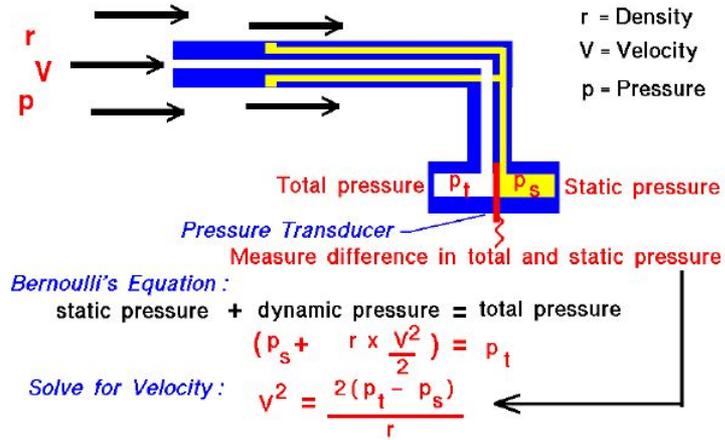
## Sensores de velocidad:

Son aquellos cuya función es medir (o calcular) la **velocidad** tanto lineal como angular.

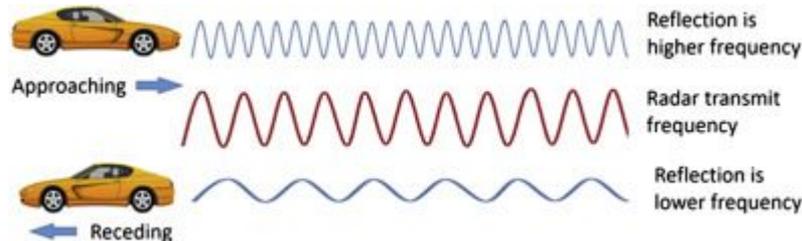
### Medición directa

**Dínamo:** Genera un voltaje de acuerdo a la velocidad de giro

**Tubo Pitot:** Mide la velocidad usando Bernoulli



**Doppler:** Se puede medir el efecto doppler de una onda y deducir su velocidad



## Sensores de aceleración: Son aquellos cuya función es medir (o calcular) la **aceleración**.

### Acelerómetros

Existen varios tipos de acelerómetros siendo el más utilizado el **piezoeléctrico**.

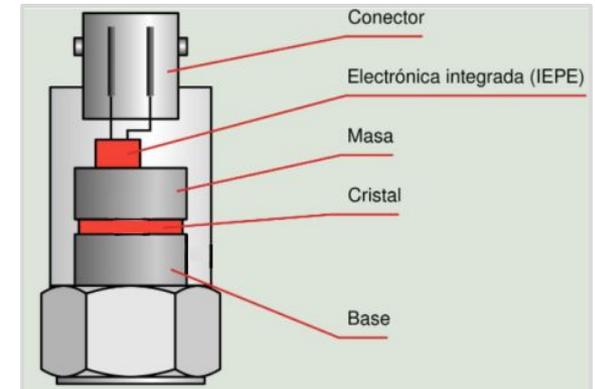
Un elemento piezoeléctrico tiene la capacidad de polarizarse al ser sometido a tensiones, de modo que aparece una diferencia de potencial y cargas eléctricas entre sus superficies.

Los elementos piezoeléctricos se encuentran comprimidos por una masa, sujeta al otro lado por un muelle y todo el conjunto dentro de una caja metálica. Cuando el conjunto es sometido a vibración, el cristal piezoeléctrico se ve sometido a una fuerza variable, proporcional a la aceleración de la masa.

Debido al efecto piezoeléctrico se desarrolla un potencial variable que será proporcional a la aceleración. Dicho potencial variable se puede registrar sobre un osciloscopio o voltímetro.

Este dispositivo suele ser usado como **sensor propioceptivo**.

Se puede construir mediante un resorte, una masa y un sensor de posición (calculando directamente la aceleración)



## Sensores de aceleración: Son aquellos cuya función es medir (o calcular) la **aceleración**.

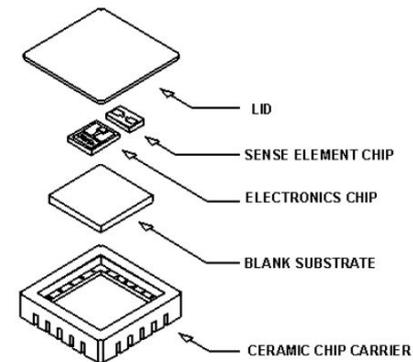
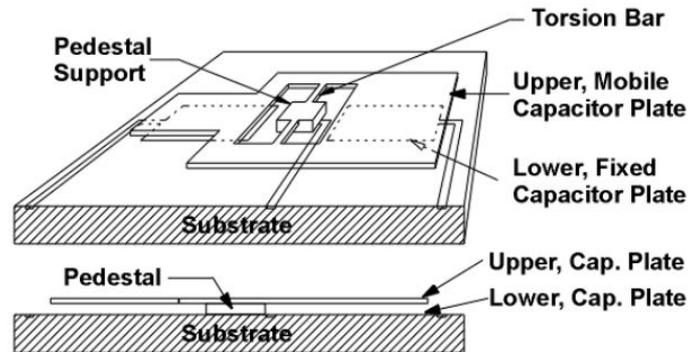
### Acelerómetros integrados de estado sólido (Microelectromechanical systems MEMS)

Construidos con tecnología similar a la electrónica, permiten crear sensores de mínimo volumen

- Bajo costo, tamaño y consumo eléctrico
- Pueden incluso aportar la orientación (midiendo la aceleración gravitatoria)

Para **aceleraciones angulares** se utilizan giroscopios

Ambos sensores se combinan para crear las unidades de medición inerciales IMU



## Sensores de fuerza y presión:

Son aquellos cuya función es medir (o calcular) la **fuerza** o la **presión**.

### Resorte + Sensor de posición

Consiste en una guía con un resorte en la cual se mide la distancia recorrida y se calcula la fuerza

### Piezoeléctricos

En determinados cristales ocurre que al ser sometido a tensiones mecánicas estos se polarizan, provocando entre sus superficies una diferencia de potencial y cargas eléctricas. Este fenómeno también ocurre a la inversa y además es totalmente reversible, por lo que el sensor presenta una alta repetibilidad.

Estos sensores pueden ser utilizados tanto para identificar el “toque” como para medir la fuerza con la que se está dando el contacto entre dos superficies.

Es por esto que generalmente se utilizan en las terminales del robot, para identificar fuerza o contacto.

En estos casos su salida es analógica y debe ser condicionada y amplificada para su uso.

Estos son **sensores exteroceptivos** dado que interactúan con el medio que rodea el robot.



## Sensores de fuerza y presión:

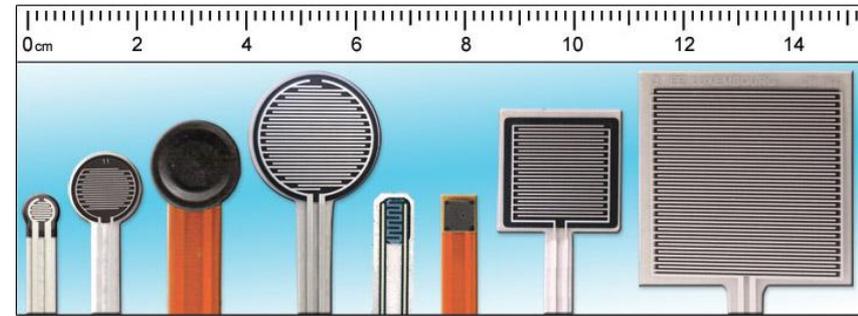
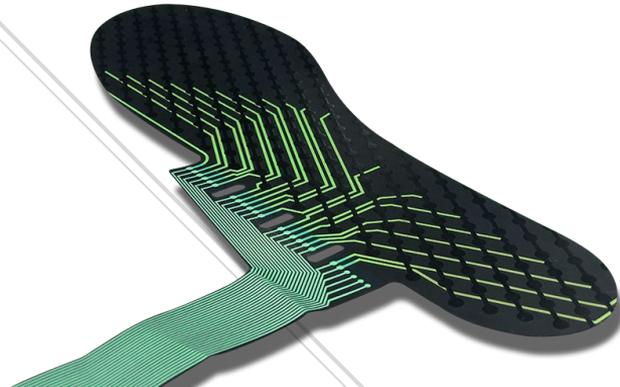
Son aquellos cuya función es medir (o calcular) la **fuerza** o la **presión**.

### FSR (Force-Sensing Resistor)

Consisten en una lámina fina (generalmente  $<0.5\text{mm}$ ) fabricada con una mezcla entre un material no conductor y un polímero conductor que tiene la capacidad de cambiar su resistencia eléctrica de una forma conocida y predecible cuando se le aplica una fuerza perpendicular a su superficie.

Al aplicarse una presión en la superficie, los electrodos detectan el cambio de resistencia devolviendo una salida analógica, con la que se puede inferir la carga a la que está sometida el sistema.

Son utilizados como **sensores exteroceptivos**, no resisten ambientes agresivos pero son muy finos y permiten identificar tanto fuerzas puntuales, como distribuciones de tensiones si se dispone de un arreglo adecuado.



## Sensores de fuerza y presión:

Son aquellos cuya función es medir (o calcular) la **fuerza** o la **presión**.

### Strain Gauge (Galgas extensiométricas)

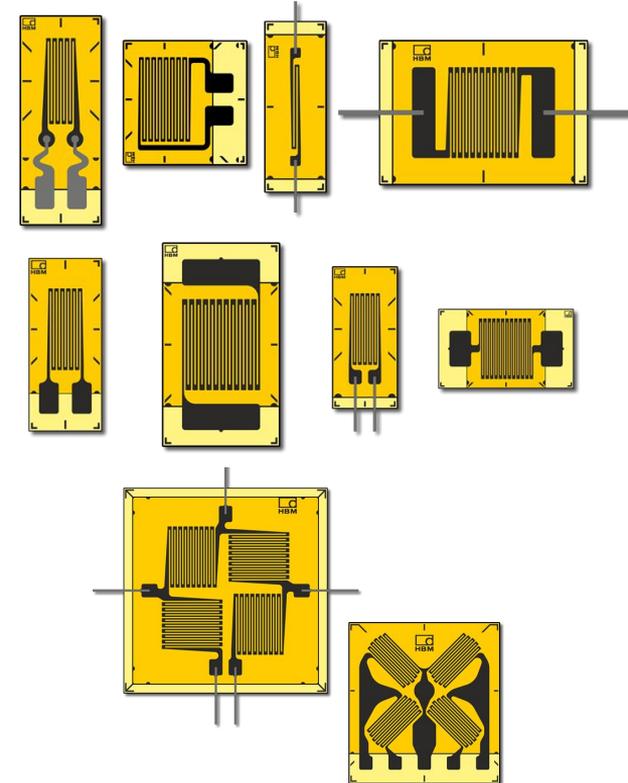
El principio de funcionamiento de estos sensores es su capacidad de variar su resistencia a ser sometido a deformaciones.

Para utilizarlos que sensores de fuerzas o de presiones, este conductor es embebido en una lámina muy fina que es cementada sobre la superficie que soporta las cargas a medir. Dado que todo cuerpo se deforma bajo cargas, el sensor se deforma solidario a la superficie sobre la que se encuentra adherido y su variación de resistencia puede ser medida.

Para que esta medida sea tratable se debe amplificar, para lo que usualmente se utiliza un puente de Wheastone.

Los Strain Gauge pueden usarse tanto individualmente, por lo que midan preferentemente las deformaciones en una dirección, o en las llamadas rosetas, que son arreglos de Strain Gauges, que permiten inferir deformaciones ( y por lo tanto cargas) en otras direcciones.

En general, se colocan sobre ciertos tramos del robot para conocer su estado, por lo tanto son **sensores propioceptivos**, no obstante, estas cargas son reacción muchas veces de la interacción con el exterior, por lo también podrían ser **sensores exteroceptivos**.



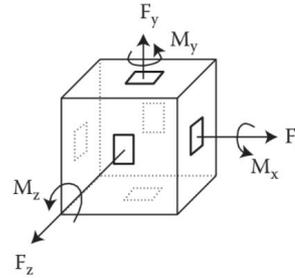
**Sensores de par:** Son aquellos cuya función es medir (o calcular) la **fuerza** o la **presión**.

El par puede ser medido a partir de la colocación estratégica de diferentes sensores de fuerza.

Si tenemos un eje sometido a un momento y colocamos un sensor de fuerza a cada lado del al plano neutro y de forma perpendicular, estos medirán fuerzas en diferentes sentido, de forma que se podrá calcular el par.

Si se desea medir el par en las 3 dimensiones, serán necesarios tres pares de sensores de fuerza, estratégicamente ubicados, para determinar tanto las 3 posibles fuerzas como los 3 posibles momentos.

En general, se colocan en las articulaciones del robot para conocer su estado, por lo tanto son **sensores propioceptivos**, no obstante, estas cargas son reacción muchas veces de la interacción con el exterior, por lo también podrían ser **sensores exteroceptivos**.

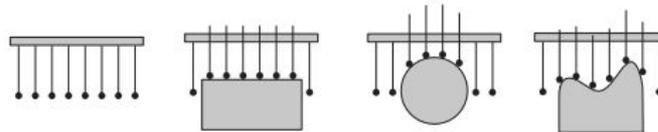


## Sensores de contacto o tacto: Son aquellos que reconocen el *contacto físico*

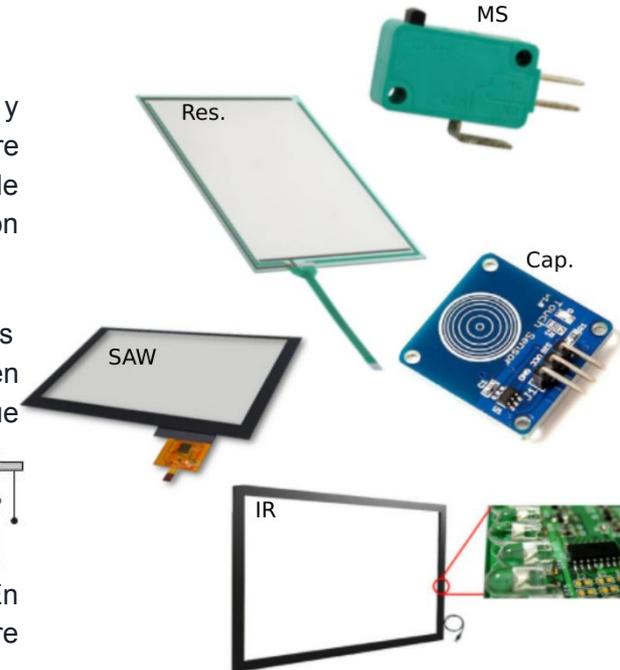
Dentro de este tipo de sensores pueden encontrarse tanto los **microswitches**, como otros de tipo **capacitivos, resistivos, infrarrojos o SAW** (Surface Acoustic Wave).

Los más utilizados en robótica son los microswitches por su robustez y simplicidad a la hora de detectar obstáculos (**sensor exteroceptivo**), siempre que uno pueda predecir (o reducir notoriamente) la superficie sobre la que puede darse el contacto. Dado que es inviable cubrir toda la superficie del robot con microswitches para evitar accidentes.

Conjuntos de sensores de desplazamiento como LVDT, pueden ser utilizados como sensores de contacto, además, si son colocados estratégicamente pueden ser capaces de suministrar también información sobre la forma del objeto que enfrentan.



Se han desarrollado sensores de tacto continuos, simulando la piel humana. En la mayoría de los casos se componen de conjuntos de sensores embebidos entre láminas de algún polímero.



## Sensores de contacto o tacto: Son aquellos que reconocen el *contacto físico*

**Microswitches** Son aquellos microsensors con solo dos posiciones: On-Off. Final de Carrera. Estos sensores, aunque extremadamente simples, son muy útiles y comunes en los sistemas robóticos.

Básicamente, son interruptores que conmutan de estado ON-OFF, al activarse o desactivarse. En otras palabras abren un circuito eléctrico que desenergiza el sistema, o viceversa.

Estos son activados a partir del contacto directo con el sensor, esto generalmente sucede al presionar un botón directamente, o mediante un sistema de palanca, según sea el movimiento del sistema en el cual se instala.

Sus utilidades principales son el uso para propósitos de seguridad para evitar que ocurran incidentes, o como finales de carrera indicando que se alcanzó la posición deseada. Además de simples, son también robustos y baratos.

Estos dispositivos son usados generalmente como **sensores exteroceptivos**, al proteger y protegerse con el ambiente que rodea el robot. No obstante, si se utiliza como final de carrera dentro del robot, podría considerarse como un **sensor propioceptivo**.



## Sensores de luz

Son aquellos capaces de identificar la **presencia de la luz** visible o infrarroja

Estos sensores reaccionan a la intensidad de luz que es proyectada sobre ellos mediante el cambio de su resistencia eléctrica.

En ausencia de luz, la resistencia alcanza su valor máximo y al incrementar la intensidad la resistencia decrece. En estos casos, la señal de salida se obtiene al medir la corriente (señal analógica) que atraviesa el sistema si a este se le aplica una diferencia de potencial constante y conocida entre sus extremos.

Estos sensores pueden usarse en solitario para detectar luz, o formando parte de otros sensores como por ejemplo, encoders, sensores de posición o de desplazamiento.

Una alternativa a la utilización de luz visible como parte de sensores, es usar luz infrarroja, ya que no es detectada por el ojo humano y por lo tanto no provoca molestias.

Por ejemplo en dispositivos que necesitan luz para medir grandes distancias, o en dispositivos que deben de trabajar sin atraer atención.

Se clasifican como **sensores exteroceptivos** ya que interactúan con el exterior.



## Sensores de proximidad:

Son aquellos son capaces de detectar cuando un objeto se **aproxima** al sensor, **previo al contacto**.

### Sensores de proximidad magnéticos

Estos sensores se activan en presencia de un material magnético

Pueden ser utilizados en aplicaciones como cerrar o abrir circuitos, contar vueltas, estimar velocidad de giro, o como final de carrera de forma interna (**sensor propioceptivo**) o externa (**sensor exteroceptivo**).

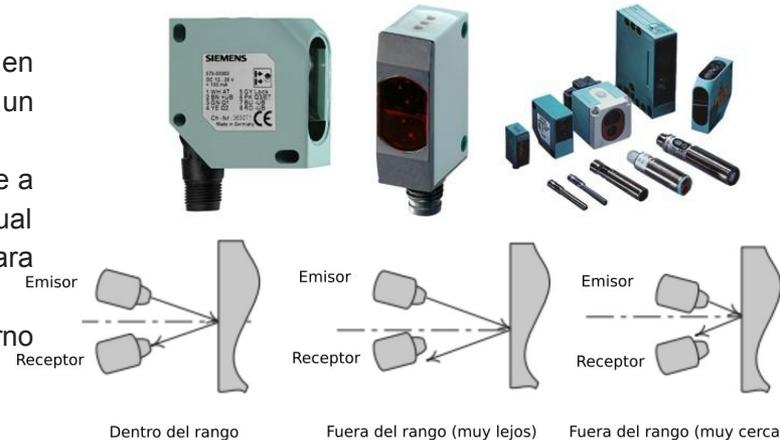


### Sensores de proximidad ópticos

Estos sensores son los sensores de luz ya vistos, pero utilizados en una determinada configuración para detectar la proximidad de un obstáculo.

La configuración debe ser tal que cuando el obstáculo se encuentre a la distancia deseada, refleje la luz del emisor justo al receptor, el cual se activará en esa situación, enviando una señal que es utilizada para tomar una acción.

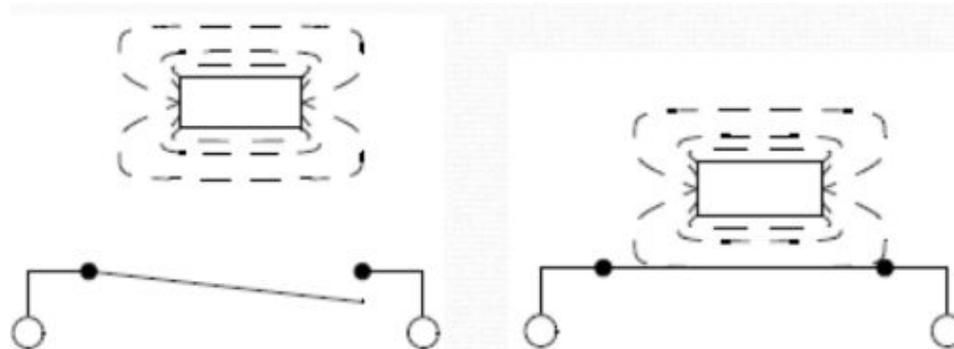
En general, son usados para interactuar con obstáculos del entorno del robot y por lo tanto son **sensores exteroceptivos**.



## Sensores de proximidad:

Son aquellos son capaces de detectar cuando un objeto se *aproxima* al sensor, *previo al contacto*.

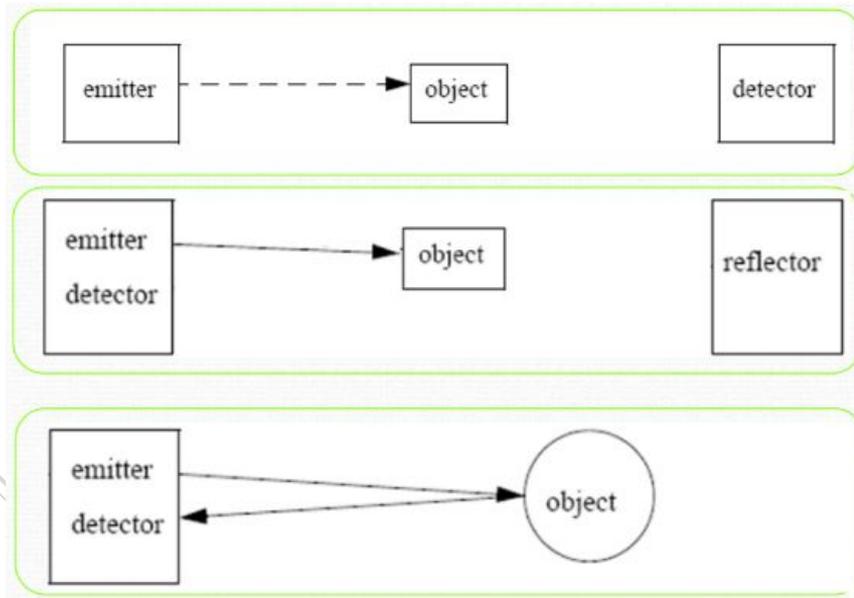
### *Sensores de proximidad magnéticos*



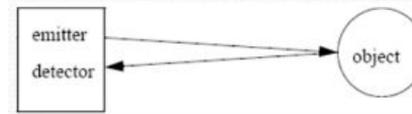
## Sensores de proximidad:

Son aquellos son capaces de detectar cuando un objeto se ***aproxima*** al sensor, ***previo al contacto***.

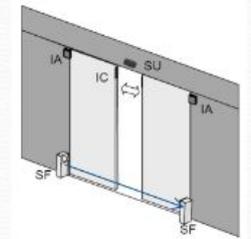
### *Sensores de proximidad ópticos*



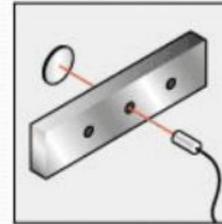
### Detección de presencia



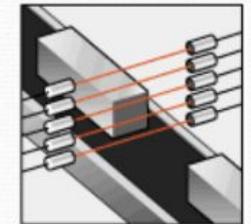
### Barrera óptica



### Detección de taladros



### Detección de altura



## Sensores de proximidad:

Son aquellos son capaces de detectar cuando un objeto se ***aproxima*** al sensor, ***previo al contacto***.



## Sensores de proximidad:

Son aquellos son capaces de detectar cuando un objeto se **aproxima** al sensor, **previo al contacto**.

### **Sensores de proximidad ultrasónicos**

Estos sensores un emisor emite una onda de sonido de alta frecuencia (20KHz - 2MHz / oído humano entre 20Hz y 20KHz) hacia un receptor, que puede estar ubicado en el mismo dispositivo que el emisor (modo ECO), o independiente ubicado enfrente (modo OPUESTO).

En el modo ECO, el tiempo que demora la onda en viajar desde el emisor al obstáculo y volver para ser detectada por el receptor permite determinar la distancia al objeto. De esta forma se tiene una señal de salida analógica en función de la distancia al objeto.

Utilizados como **sensores exteroceptivos**.

### **Sensores de proximidad inductivos**

A simple vista son muy similares a los magnéticos, pero su principio de funcionamiento es diferente. El sensor tiene un alma de ferrita, un oscilador/detector y un switch de estado sólido. Cuando un objeto metálico se acerca al sensor la amplitud de la oscilación disminuye y es detectada, provocando un cambio de estado en el switch, que restaura su estado actual sólo cuando el objeto metálico se aleja. Este sensor solo tiene estados On-Off, por lo que su salida podría ser digital.

También es un **sensor exteroceptivo**.

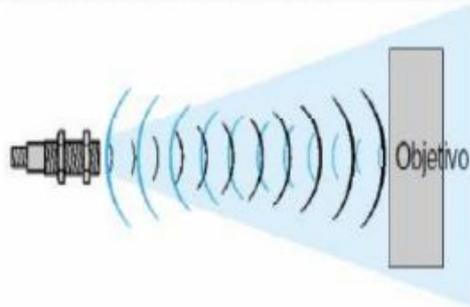


## Sensores de proximidad:

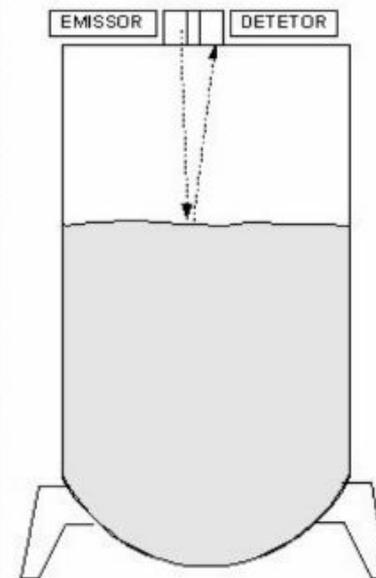
Son aquellos son capaces de detectar cuando un objeto se ***aproxima*** al sensor, ***previo al contacto***.

### *Sensores de proximidad ultrasónicos*

#### Detección de presencia



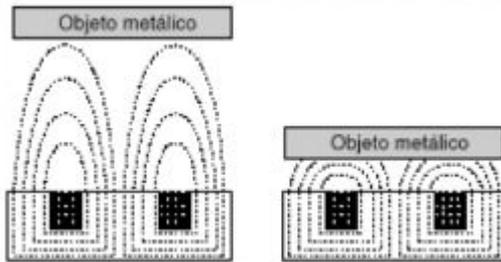
#### Medición de nivel en depósitos



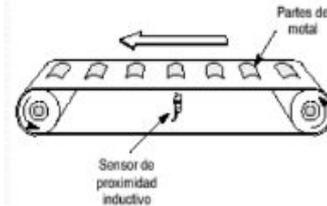
## Sensores de proximidad:

Son aquellos son capaces de detectar cuando un objeto se ***aproxima*** al sensor, ***previo al contacto***.

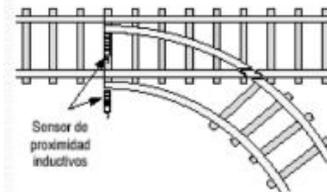
### Sensores de proximidad inductivos



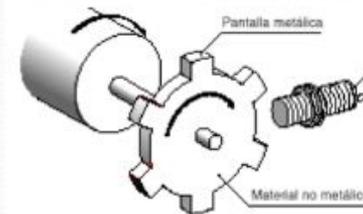
### Detección de presencia



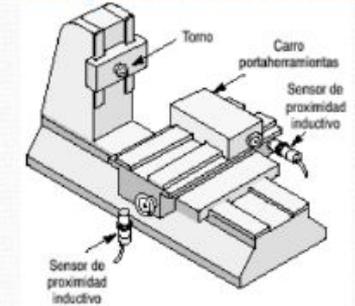
### Cambio de agujas



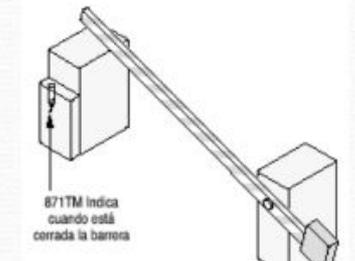
### Contador de pulsos



### Máquinas herramientas



### Barreras



## Sensores de proximidad:

Son aquellos son capaces de detectar cuando un objeto se ***aproxima*** al sensor, ***previo al contacto***.

### ***Sensores de proximidad capacitivos***

Estos sensores reaccionan a la presencia de de cualquier objeto cuya constante dieléctrica sea mayor a 1,2. En este caso, cuando este material entra en el rango detectable, incrementa la capacitancia total del circuito que es detectada y envía una señal de salida.

La principal ventaja de estos sensores es que permite detectar materiales no metálicos como madera, líquidos y químicos.

Estos dispositivos también son utilizados como ***sensores exteroceptivos***.

### ***Sensores de proximidad por corrientes de Eddy***

Su funcionamiento se basa en las corrientes eléctricas (de Eddy) que se generan cuando un conductor eléctrico ingresa en un campo magnético variable. Por lo general, estos sensores contienen dos bobinas, de las cuales una genera un campo magnético variable de referencia y la restante lo mide. Cuando corrientes de Eddy son generadas en un obstáculo, estas generan un campo magnético opuesto al de referencia, disminuyendo el campo total de forma proporcional a la proximidad del material al sensor. De esta forma, la señal de salida es analógica en función de la proximidad del objeto.

Este dispositivo es utilizado por lo general como ***sensor exteroceptivo***.



## Sensores de proximidad:

Son aquellos son capaces de detectar cuando un objeto se *aproxima* al sensor, *previo al contacto*.

### *Sensores de proximidad capacitivos*

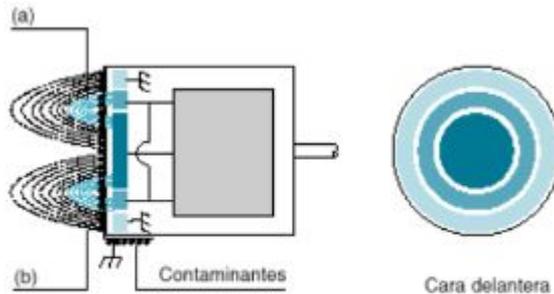
$$C = \frac{Ak}{d}$$

C = Capacidad

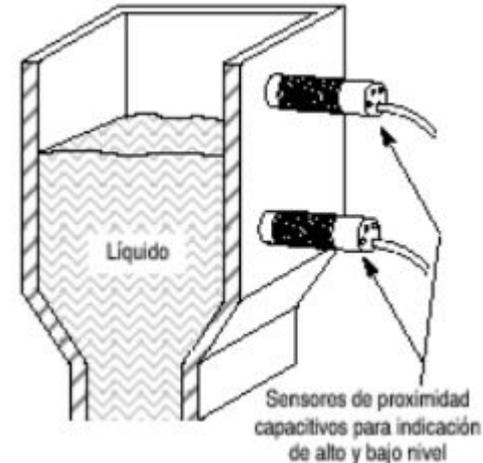
**k = Constante dieléctrica**

A = área electrodos

d = distancia entre electrodos



- Electrodo principal
- Electrodo de compensación
- Electrodo de masa



## Sensores medidores de distancia:

Son aquellos son capaces de calcular la **largas distancia a objetos**.

Contrariamente a los sensores de proximidad, los medidores de distancia tienen por objetivo determinar **largas distancias a objetos**, o **mapear superficies**. Buscan proveer al robot de información avanzada y detallada de su entorno y generalmente están basados en **luz** (visible, infrarrojo o laser) o **ultrasonido**.

### Sensores de distancia por luz

Estos sensores pueden medir la distancia de dos formas diferentes, midiendo directamente el **tiempo de vuelo**, o mediante **triangulación**. La última es la técnica más comúnmente utilizada que para distancias cortas como navegación (en términos robóticos) es la más exacta y de mejor resolución. LIDAR. Luz estructurada.

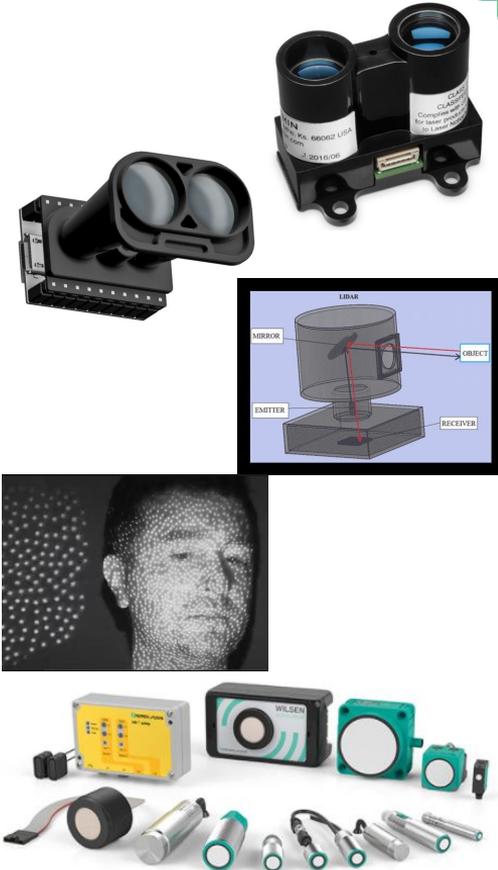
### Sensores de distancia ultrasónicos

Cuando se mencionaron como sensores de proximidad, se indicó que son capaces de medir la distancia y esto los hace funcionar también como sensores de distancia.

Son dispositivos robustos, simples, baratos y consumen poca potencia.

La principal desventaja es su limitada resolución ya que la velocidad del sonido varía con la temperatura ambiental y el medio por el que discurre, el cual también influye en la absorción de la señal, y por lo tanto en su alcance.

No obstante, son una buena opción como **sensores exteroceptivos** para robots que trabajan en ambientes no semi controlados y en rangos acotados.



## Sensores de imagen:

Son aquellos son capaces de captar *imágenes e interpretarlas*.

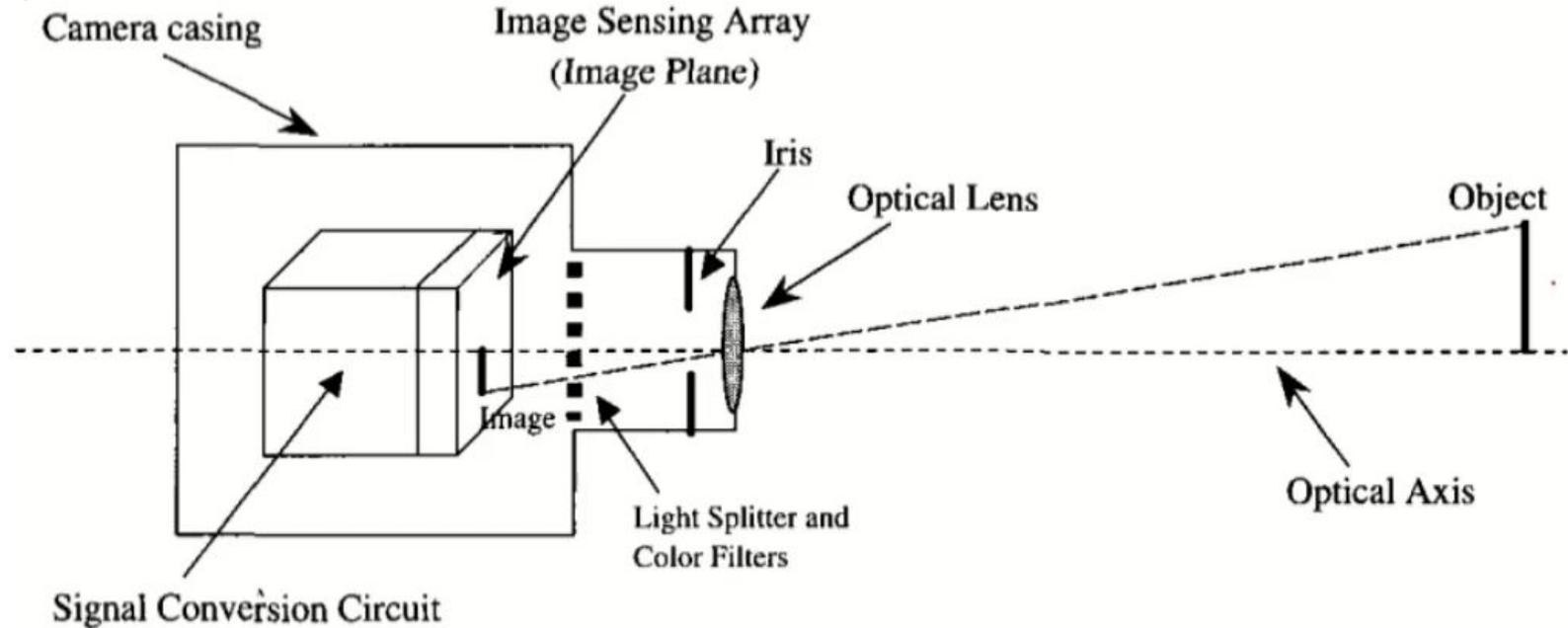
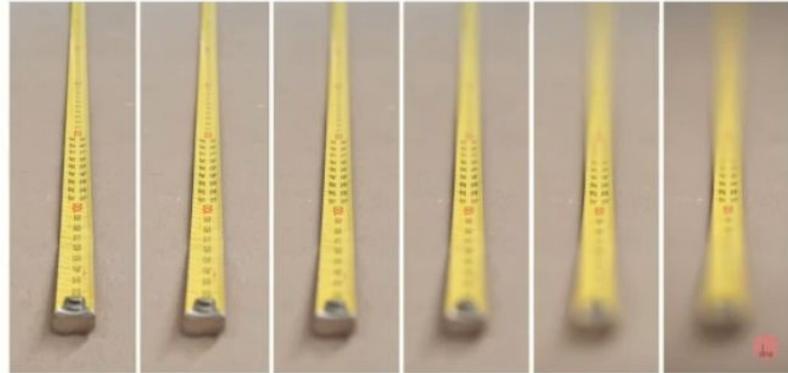
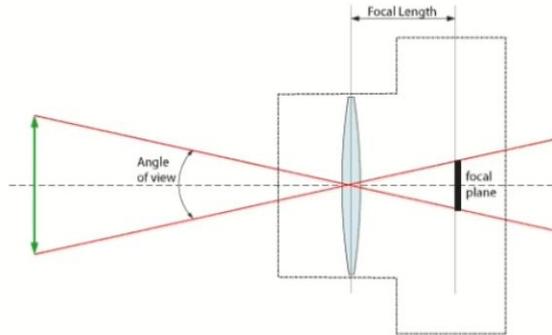


Fig. 7.10 Generic structure of an electronic camera.

## Sensores de imagen: Son aquellos son capaces de captar *imágenes e interpretarlas*.

**Sistema óptico:** Se encarga de procesar la imagen.

- Distancia focal “zoom”
- Apertura
- Exposición



F16



F10



F6.3



F3.5



F2



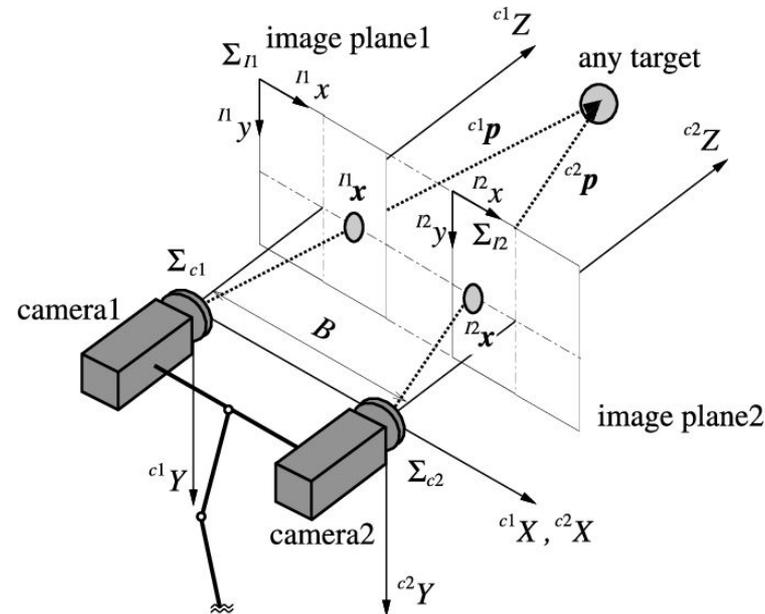
F1.4

## Sensores de imagen:

Son aquellos son capaces de captar *imágenes e interpretarlas*.

### Visión Binocular

- Dificultad: identificar los mismos puntos en ambas cámaras



## Sensores de Localización: Son aquellos son capaces de ubicar robots móviles

### ***Radiobases terrestres***

- Medida: Nivel de recepción, triangulación
- Bases: WiFi, Antenas Celulares, estaciones dedicadas

### ***Posicionamiento Satelital***

- GPS
- Glonass
- Galileo
- China, Japón

## Otros sensores:

Podemos medir muchas cosas

### ***Sensores de Presión***

- Membranas flexibles, piezoeléctricos, tubo bourdon

### ***Sensores de Caudal***

- Midiendo diferencias de presión, Tubo Pitot
- De turbina
- Electromagnéticos
- Otros principios físicos

### ***Sensores de Nivel***

- Flotadores
- Inductivo, capacitivo, ultrasonido

### ***Sensores de Temperatura***

- Con contacto: Bimetálicos, Termopares, Termisoteres, Termoresistencias
- Sin contacto: Infrarrojos

**FIN!**

