

SENSORES

Para conseguir que el robot realice su tarea con la adecuada precisión es preciso que tenga conocimiento tanto de su propio estado como del estado de su entorno. Dos tipos de sensores:

- **Sensores internos:** sensores integrados en la propia estructura mecánica del robot, que dan información del estado del robot: fundamentalmente de la posición, velocidad y aceleración de las articulaciones.
- **Sensores externos:** dan información del entorno del robot: alcance, proximidad, contacto, fuerza, etc. Se utilizan para guiado de robots, para identificación y manipulación de objetos.

Definición: un sensor es un dispositivo eléctrico y/o mecánico que convierte magnitudes físicas (luz, magnetismo, presión, etc.) en valores medibles de dicha magnitud. Esto se realiza en tres fases:

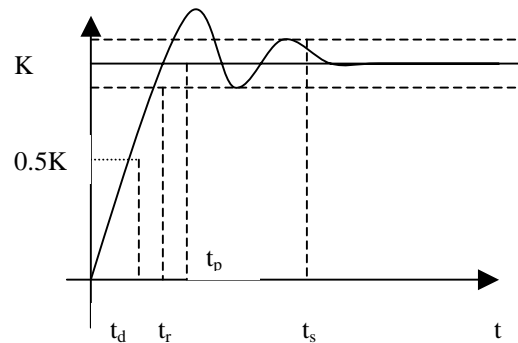
- Un fenómeno físico a ser medido es captado por un sensor, y muestra en su salida una señal eléctrica dependiente del valor de la variable física.
- La señal eléctrica es modificada por un sistema de acondicionamiento de señal, cuya salida es un voltaje.
- El sensor dispone de una circuitería que transforma y/o amplifica la tensión de salida, la cuál pasa a un conversor A/D, conectado a un PC. El convertidor A/D transforma la señal de tensión continua en una señal discreta.

DESCRIPTORES ESTÁTICOS DE UN SENSOR

Los descriptores estáticos definen el comportamiento en régimen permanente del sensor:

- **Rango:** valores máximos y mínimos para las variables de entrada y salida de un sensor.
- **Exactitud:** la desviación de la lectura de un sistema de medida respecto a una entrada conocida. El mayor error esperado entre las señales medida e ideal.
- **Repetitividad:** la capacidad de reproducir una lectura con una precisión dada.
- **Reproducibilidad:** tiene el mismo sentido que la repetitividad excepto que se utiliza cuando se toman medidas distintas bajo condiciones diferentes.
- **Resolución:** la cantidad de medida más pequeña que se pueda detectar.
- **Error:** es la diferencia entre el valor medido y el valor real.
- **No linealidades:** la desviación de la medida de su valor real, supuesto que la respuesta del sensor es lineal. No-linealidades típicas: saturación, zona muerta e histéresis.
- **Sensibilidad:** es la razón de cambio de la salida frente a cambios en la entrada: $s = \partial V / \partial x$
- **Excitación:** es la cantidad de corriente o voltaje requerida para el funcionamiento del sensor.
- **Estabilidad:** es una medida de la posibilidad de un sensor de mostrar la misma salida en un rango en que la entrada permanece constante.
- **Ruido.**

DESCRIPTORES DINÁMICOS DE UN SENSOR



- **Tiempo de retardo:** t_d , es el tiempo que tarda la salida del sensor en alcanzar el 50% de su valor final.
- **Tiempo de subida:** t_r , es el tiempo que tarda la salida del sensor hasta alcanzar su valor final. => velocidad del sensor, es decir, lo rápido que responde ante una entrada.
- **Tiempo de pico:** t_p , es el tiempo que tarda la salida del sensor en alcanzar el pico máximo de su sobreoscilación
- **Pico de sobreoscilación:** M_p , expresa cuanto se eleva la evolución temporal de la salida del sensor respecto de su valor final.
- **Tiempo de establecimiento:** t_s , el tiempo que tarda la salida del sensor en entrar en la banda del 5% alrededor del valor final y ya no vuelve a salir de ella.

Proceso de calibración: consiste en realizar la comparación de la respuesta del sensor con otros que tienen una respuesta estándar conocida; de esta manera se establece la relación entre la variable medida por el sensor y su señal de salida.

SENSORES INTERNOS:

La información que la unidad de control del robot puede obtener sobre el estado de su estructura mecánica es la relativa a su:

- Posición.
- Velocidad.
- Aceleración

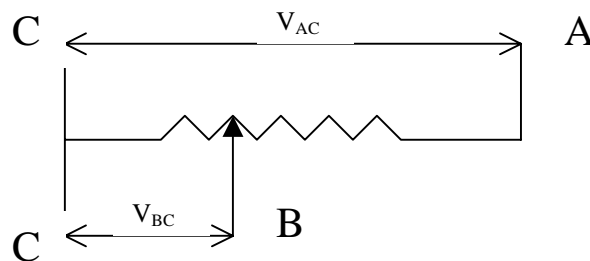
SENSORES DE POSICIÓN:

- Análogos: potenciómetros, resolver, sincro, LVDT, Inductosyn.
- Digitales: encoders (absolutos e incrementales).

POTENCIÓMETROS:

Se usan para la determinación de desplazamiento lineales o angulares. Eléctricamente se cumple la relación:

$$\frac{V_{BC}}{V_{AC}} = \frac{R_{BC}}{R_{AC}}$$



Este potencial puede medirse y disponer de un sistema de calibrado de manera que por cada potencial se obtenga proporcionalmente una distancia de desplazamiento.

Ventajas: facilidad de uso y bajo precio.

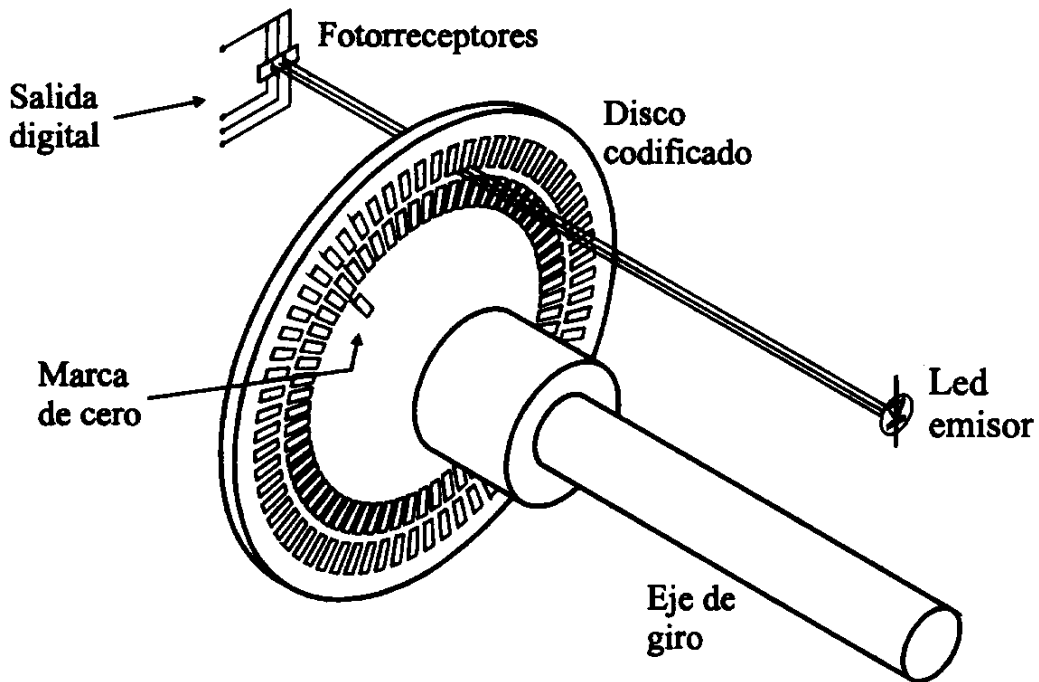
Desventajas: deben estar fijados al dispositivo cuyo desplazamiento se quiere medir, precisión limitada.

ENCODERS: (codificadores angulares de posición)

Constan de un disco transparente con una serie de marcas opacas colocadas radialmente y equidistantes entre sí, de un sistema de iluminación y de un elemento fotorreceptor.

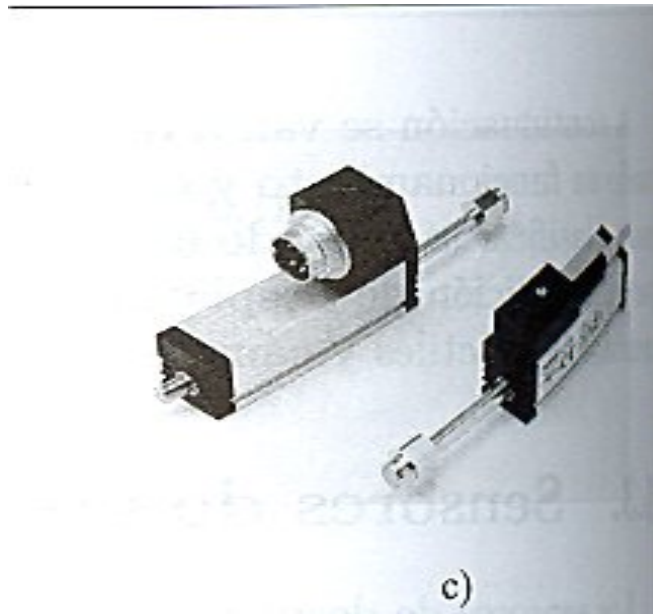
El eje cuya posición se quiere medir va acoplado al disco, a medida que el eje gira se van generando pulsos en el receptor cada vez que la luz atraviese las marcas, llevando una cuenta de estos pulsos es posible conocer la posición del eje.

La resolución depende del número de marcas que se pueden poner físicamente en el disco.

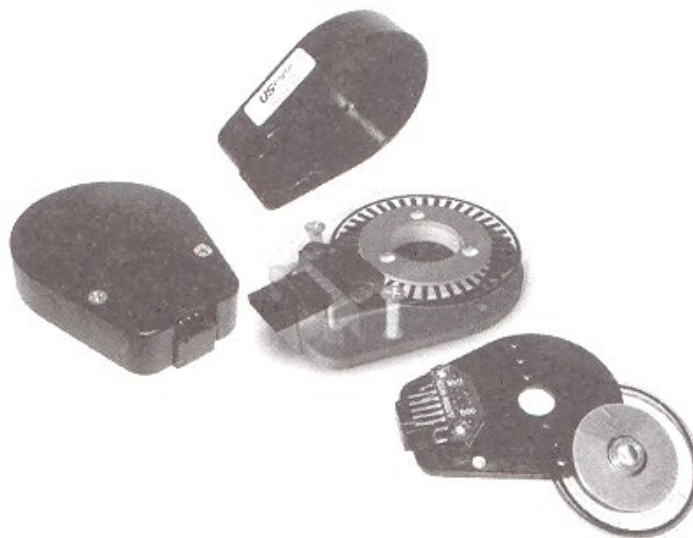


El funcionamiento de un encoder absoluto es similar, pero el disco se divide en un número de sectores (potencia de 2), codificándose cada uno de ellos con un código binario (código Gray), con zonas transparentes y opacas.

La resolución es fija y viene dada por el número de anillos que posea el disco granulado => 2^8 hasta 2^{19}



Potenci6metro lineal (Guemisa S.L.)



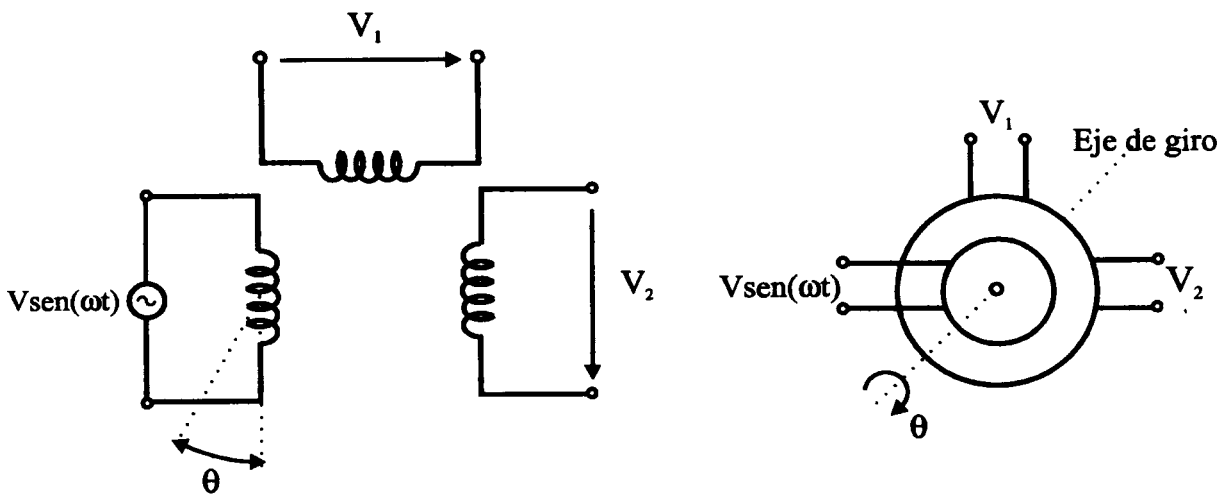
Encoder 6ptico (USDigital Corporation)

RESOLVERS: (captadores angulares de posición)

Constan de una bobina solidaria al eje excitada por una portadora, y dos bobinas fijas situadas a su alrededor. La bobina móvil excitada con tensión $V \text{sen}(\omega t)$ y girada un ángulo θ induce en las bobinas fijas las tensiones:

$$V_1 = V \text{sen}(\omega t) \text{sen}\theta$$

$$V_2 = V \text{sen}(\omega t) \text{cos}\theta$$



SINCROS: la bobina que hace función de primario o rotor se encuentra solidaria al eje de giro. El secundario está formado por tres bobinas fijas colocadas alrededor del primario en forma de estrella y desfasadas entre si 120° (estator). Al rotor se le aplica una señal senoidal y se genera en cada una de las bobinas fijas un voltaje inducido con un desfase entre ellos de 120° :

$$V_{13} = 3^{1/2} V \text{cos}(\omega t) \text{sen}\theta$$

$$V_{32} = 3^{1/2} V \text{cos}(\omega t) \text{sen}(\theta + 120)$$

$$V_{21} = 3^{1/2} V \text{cos}(\omega t) \text{sen}(\theta + 240)$$

Para los sistemas de control hay que pasar la señal analógica a digital, para lo cual se utilizan convertidores resolver / digital (R/D).

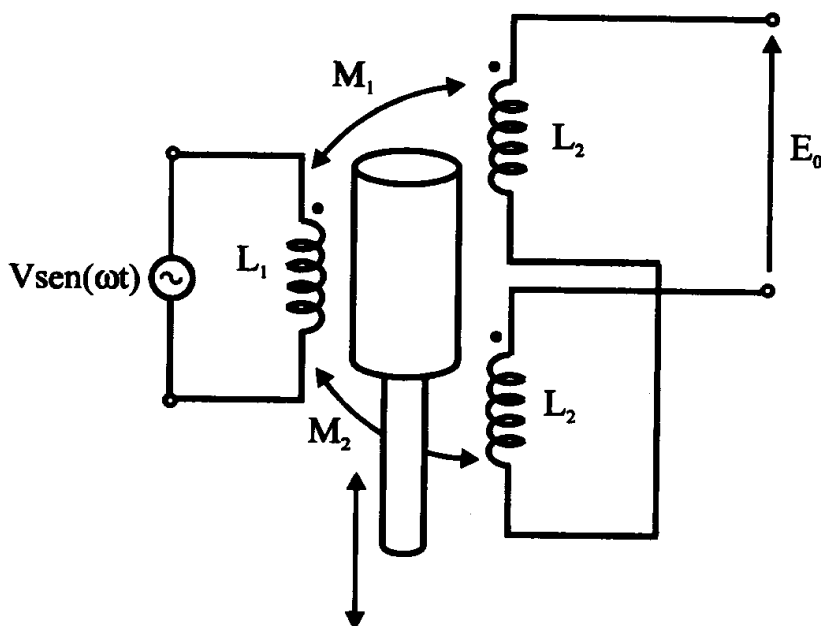
SENSORES LINEALES DE POSICIÓN (LVDT)

LVDT: transformador diferencial de variación lineal, que consta de un núcleo de material ferromagnético unido al eje, que se mueve linealmente entre un devanado primario y dos secundarios haciendo que varíe la inductancia entre ellos.

En el caso de la figura, se puede afirmar que la energía de la corriente en la bobina primaria es igual a la que circula en las secundarias: $E_p i_p t = E_s i_s t \Rightarrow E_p / E_s = i_s / i_p$

Como resultado de un desplazamiento que se quiere medir, el núcleo magnético es desplazado de manera que una de las bobinas secundarias no recubra totalmente el núcleo \Rightarrow la corriente inducida en un secundario será mayor que la inducida en el otro. De la diferencia de las tensiones medidas en los dos secundarios se obtiene el desplazamiento realizado por el núcleo.

Ventajas: alta resolución, poco rozamiento y alta repetitividad
Inconvenientes: sólo puede aplicarse a medición de pequeños desplazamientos.



SENSORES DE VELOCIDAD:

- Una posibilidad es derivar la posición.
- **Tacogenerador:** proporciona una tensión proporcional a la velocidad de giro del eje.

Utiliza un interruptor llamado "reed switch", que utiliza fuerzas magnéticas para activarse o no dependiendo si un objeto magnético se encuentra físicamente cercano al interruptor.

Se desea medir la velocidad de giro de una rueda dentada, se dispone de uno de los dientes magnetizados de forma que cada vez que éste diente pase junto al interruptor será accionado por la fuerza magnética. Así por cada vuelta descrita por la rueda, el interruptor se activa y en su salida se obtiene un pulso de corriente. Midiendo estos pulsos de corriente (número de vueltas) por unidad de tiempo => velocidad.

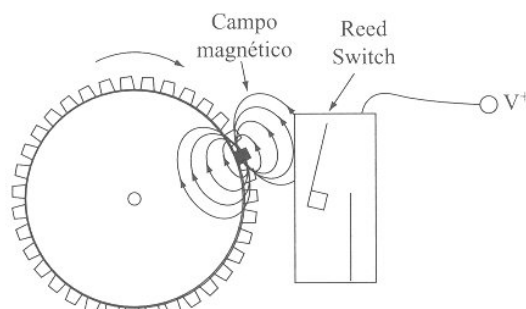


Figura 6.17: Reed switch usado como tacogenerador.

Encóders: si se dispone de un detector que se active cuando se ha realizado un giro completo, se calcula la velocidad: el número de vueltas por unidad de tiempo.

SENSORES DE ACELERACIÓN.

- Una posibilidad es derivando la velocidad.
- Utilizando un sensor de fuerza, si medimos la fuerza, y conocemos la masa se aplica el segundo principio de Newton y se calcula la aceleración: $F = m \cdot a$

SENSORES EXTERNOS:

Objetivo: Proporcionar información sobre los objetos en el entorno del robot:

- * Presencia
- * Localización
- * Fuerza ejercida

Medio: sensores colocados en las superficies cercanas a los objetos

Sensores de proximidad

Detección de objetos próximos, antes del contacto para agarrar o evitar un objeto:

- Sensores inductivos
- Sensores de efecto Hall.
- Sensores capacitativos
- Sensores ultrasónicos
- Sensores ópticos.

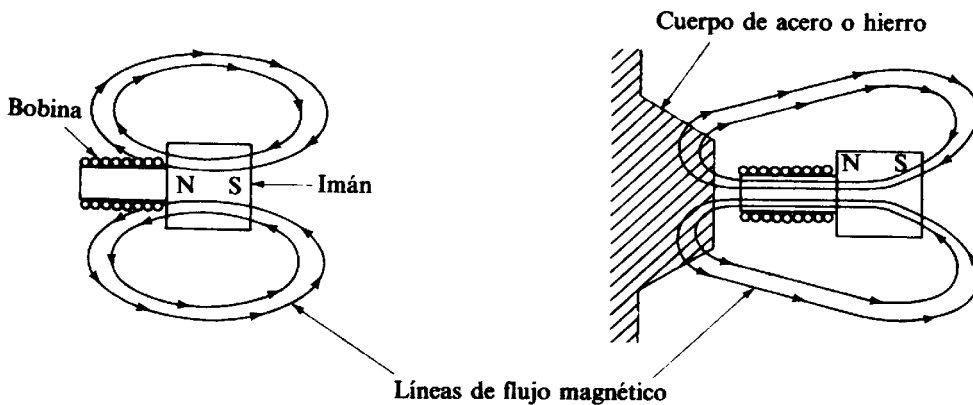
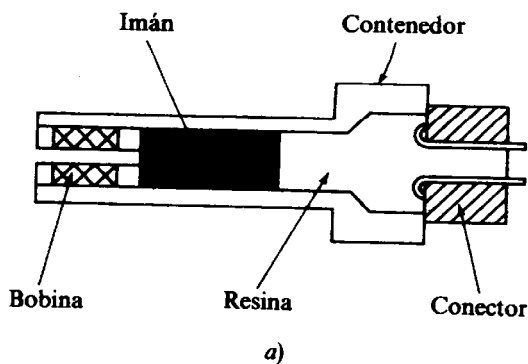
Sensores Inductivos:

Modificación de un campo magnético por presencia de objetos metálicos. Consiste en una bobina situada junto a un imán permanente.

En condiciones estáticas no hay ningún movimiento en las líneas de flujo y no se induce ninguna corriente en la bobina.

Cuando un objeto metálico penetra en el campo del imán o lo abandona, el cambio resultante en las líneas de flujo induce un impulso de corriente, cuya amplitud es proporcional a la velocidad del cambio del flujo.

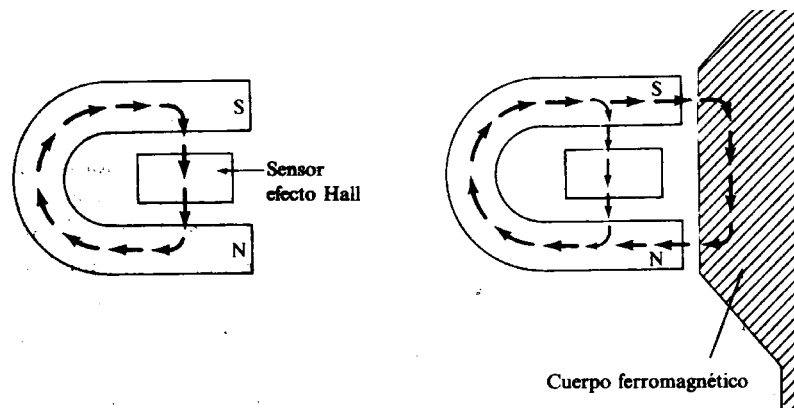
La forma de onda de la tensión a la salida de la bobina proporciona un medio para detectar la proximidad de un objeto.



Sensores de efecto Hall:

Modificación de un campo magnético por presencia de objetos metálicos. El efecto Hall relaciona la tensión entre dos puntos de un material conductor o semiconductor con un campo magnético a través de un material.

Detección por un sensor de efecto Hall en conjunción con un imán permanente.



En ausencia de material el sensor de efecto Hall detecta un campo magnético intenso.

Cuando el material se aproxima al sensor el campo magnético se debilita en el sensor debido a la curvatura de las líneas de campo a través del material.

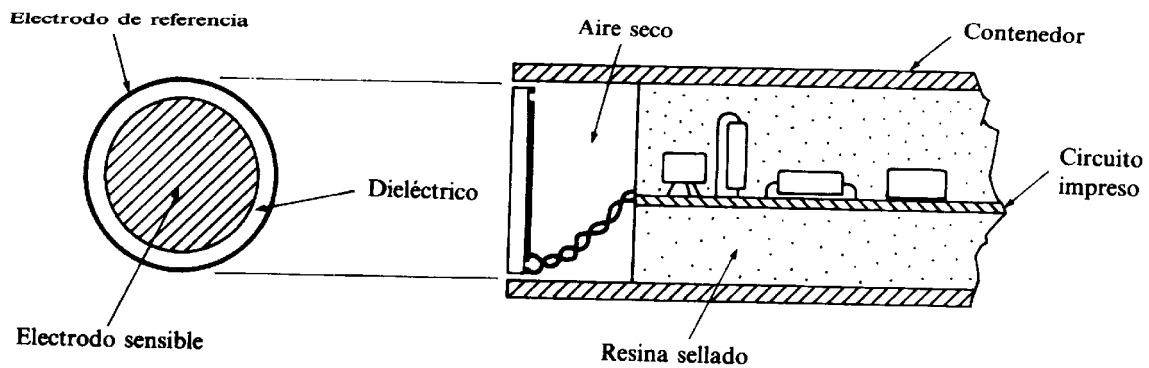
El efecto Hall se basa en el principio de la fuerza de Lorentz que actúa sobre una partícula cargada que se desplaza a través de un campo magnético:

$$F = q (v \times B) \qquad V = \frac{B_f * i}{d}$$

El sensor se construye con un semiconductor, y la detección se realiza a través del potencial medido entre los extremos del material.

Sensores Capacitivos:

Modificación de la capacidad de un condensador por presencia de objetos sólidos



El elemento sensor es un condensador constituido por un electrodo sensible y un electrodo de referencia separados por un dieléctrico, una cavidad de aire seco para aislar y un conjunto de circuitos electrónicos.

$$C = \epsilon_a \frac{S}{d}$$

Utilizado como medidor de desplazamiento, se consigue haciendo que el desplazamiento a medir provoque un desplazamiento en algún componente del condensador => cambio en su capacidad.

El elemento capacitativo es parte de un circuito que es excitado de manera continua por una forma de onda sinusoidal de referencia. Un cambio en la capacidad, produce un desplazamiento de fase entre la señal de referencia y una señal obtenida a partir del elemento capacitativo.

El desplazamiento de fase es proporcional al cambio de capacidad, este cambio se utiliza para detección de proximidad.

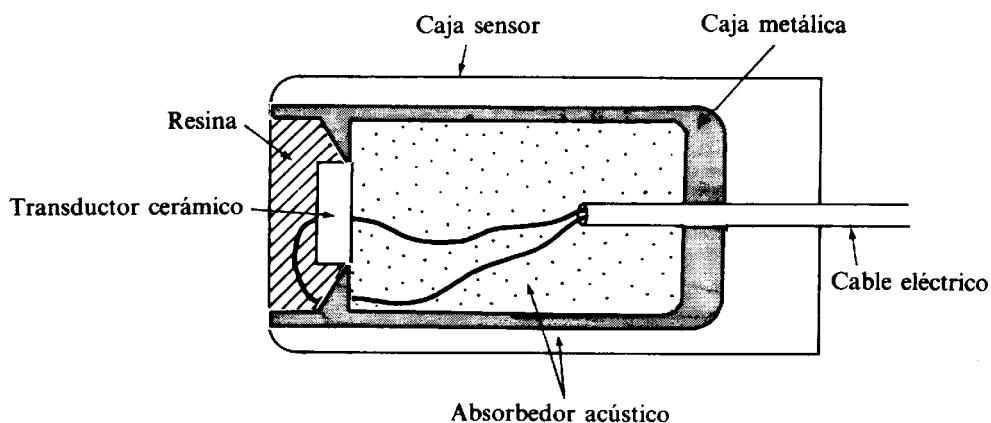
- La capacidad varía con la distancia a la que está el objeto
- La capacidad depende del material objeto de detección

Sensores de Ultrasonidos:

Modificación de la distancia de objetos mediante la detección de ecos de ultrasonidos.

Las ondas ultrasónicas tienen la capacidad de que cuando viajan por un medio cualquiera son reflejadas si encuentran en su camino una discontinuidad o algún elemento extraño.

La reflexión de la onda es debida a la diferencia de impedancias acústicas entre el medio y el objeto. El tiempo de espera entre el envío de la onda ultrasónica hasta su recepción se denomina tiempo de eco, y es utilizado para determinar la distancia al objeto.



El elemento básico es un transductor electroacústico, de tipo cerámico piezoeléctrico. La capa de resina protege al transductor contra la humedad, polvo y otros factores ambientales.

Absorbedores acústicos, se utilizan para amortiguar rápidamente la energía acústica, para detectar objetos a pequeñas distancias, ya que el mismo transductor se utiliza como emisor y como receptor.

Tienen muchos problemas: ángulo de incidencia de la onda sobre el objeto, temperatura: induce cambios en la densidad del aire => cambio en la velocidad de propagación de la onda, aire, superficie del objeto, distancia mínima detectada, la forma de onda es cónica y solo detecta objetos dentro del cono del ultrasonido, falsos ecos, etc.



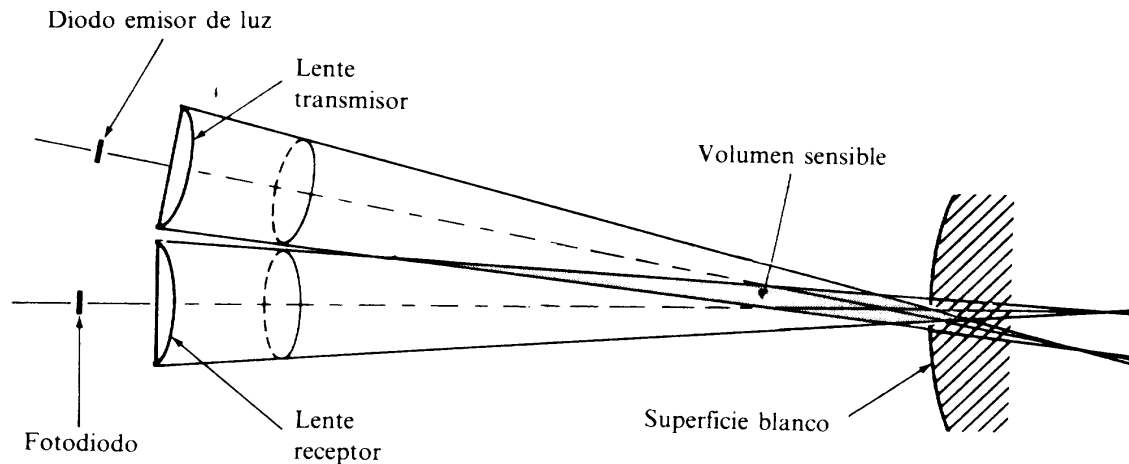
Sensor de ultrasonidos (Baumer Electric)



Sensor capacitativo (Baumer Electric)

Sensores ópticos de proximidad:

Emisor de luz por diodo LED + recepción por un fotodiodo.

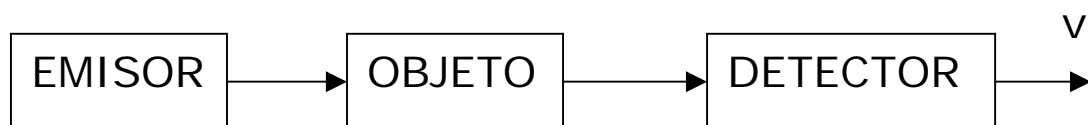


Los conos de luz formados enfocando la fuente y el detector en el mismo plano intersectan en un volumen largo.

Este volumen define el campo de operación del sensor, puesto que una superficie reflectora que intersecta ese volumen se ilumina por la fuente y es vista simultáneamente por el receptor.

Sensor con salida binaria: un objeto se detecta cuando se recibe una intensidad de luz superior a un umbral preestablecido.

- Otra posibilidad más sencilla:



Problemas:

- Alineación precisa.
- Alta calidad del emisor: porque la energía se pierde con la distancia.

Sensores de Contacto

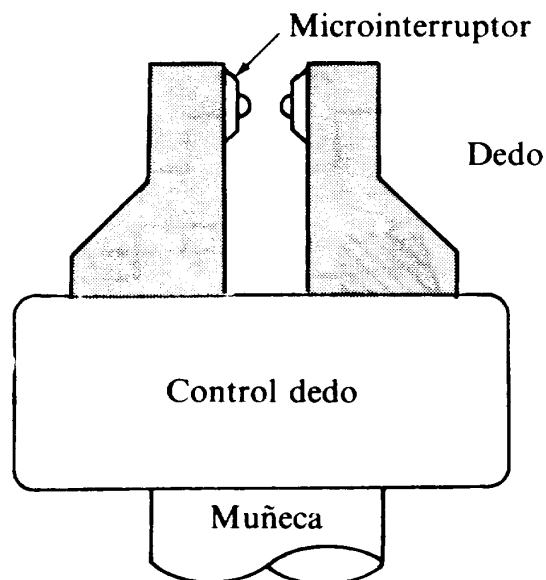
Se utilizan para obtener información asociada con el contacto entre la mano manipuladora y objetos en el espacio de trabajo. Dos tipos:

- Binarios: responden a la presencia o ausencia de objetos.
- Analógicos: proporcionan una salida proporcional a la fuerza local

Sensores Binarios

Informan sobre la presencia de objetos

Ej: Microinterruptor en la mano: este tipo de detección es útil para saber si una pieza está entre los dedos.



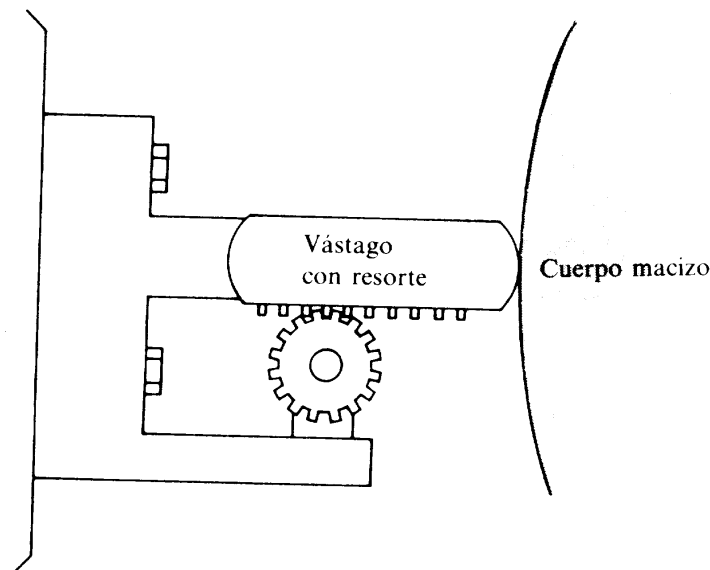
Sensores Analógicos:

Detectan no sólo la presencia, sino también la fuerza ejercida

Ej: compresión de un muelle en la zona de contacto.

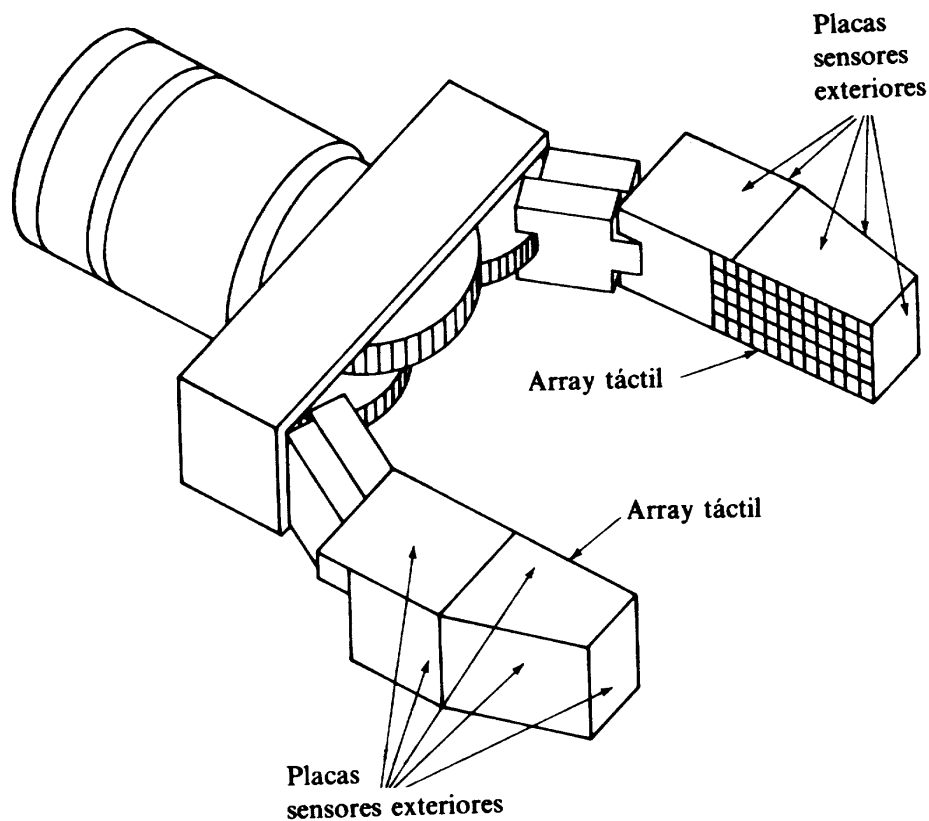
Esta constituido por una varilla accionada por un resorte mecánicamente enlazada con un eje giratorio, de tal manera que el desplazamiento de la varilla debida a una fuerza lateral da lugar a una rotacional proporcional al eje.

Se mide la rotación con un potenciómetro, y conociendo la constante del resorte se conoce la fuerza correspondiente a un desplazamiento dado: $F = k \cdot x$



Ej: Pielas artificiales:

Sensores de presión distribuidos por la superficie de contacto, para obtener una información de contacto más amplia que un único punto.



Las placas de detección exteriores suelen ser dispositivos binarios.

Arrays de detección:

- Sensores binarios múltiples.
- Un array de electrodos en contacto eléctrico con un material conductor dúctil (grafito), cuya resistencia varía como función de la compresión: sensores piezorresistivos.

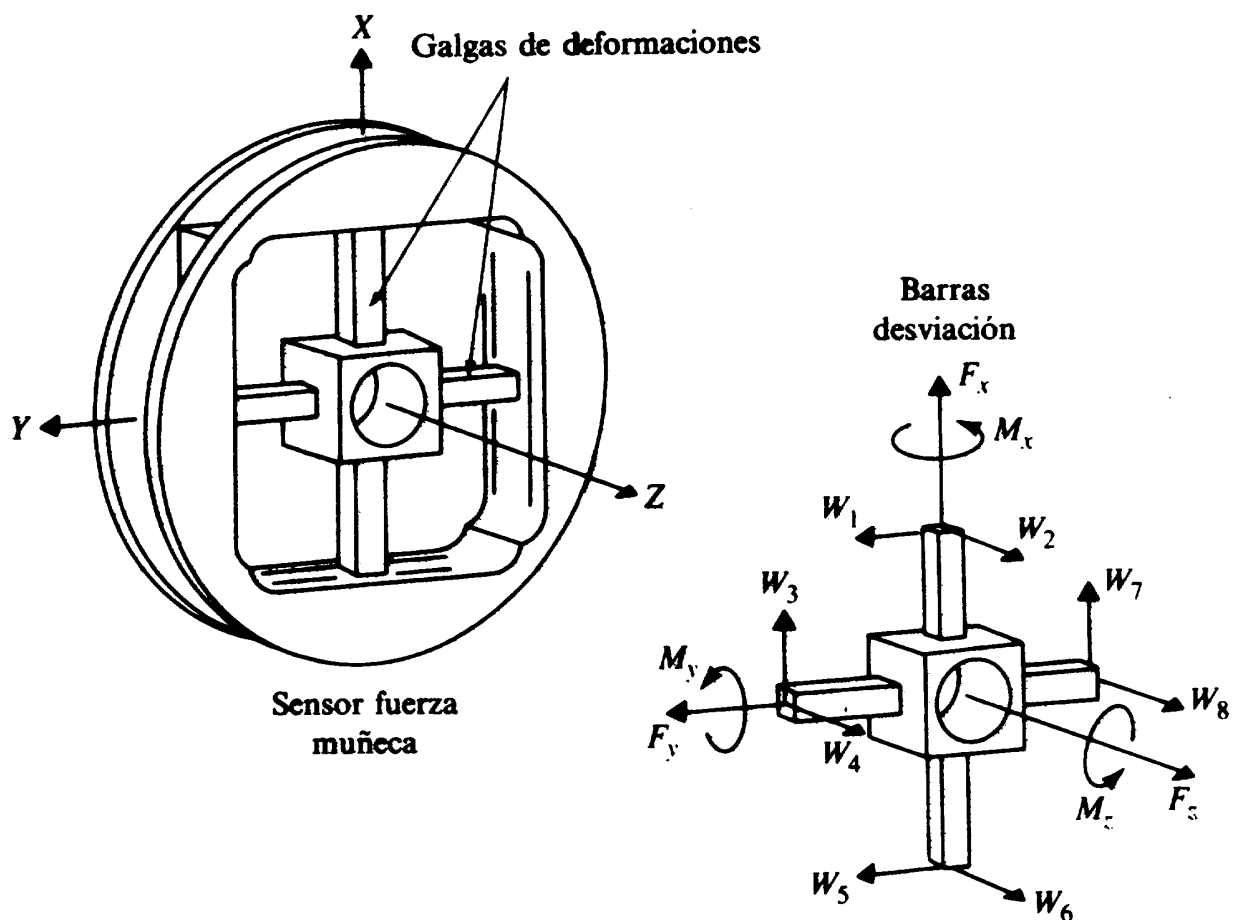
Cuando un objeto presiona contra la superficie produce deformaciones locales (D) que se miden como variaciones de la resistencia. Esta puede transformarse con facilidad en una señal eléctrica cuya amplitud es proporcional a la fuerza (f) que se aplica en cualquier punto de la superficie. => sensores piezorresistivos:

$$D * P = \frac{\Delta R}{R}$$

DetECCIÓN DE FUERZA Y TORSIÓN:

Sensor de muñeca:

Se colocan entre la extremidad del brazo robot y el efecto extremo, están constituidas por galgas de deformación que miden las pequeñas deformaciones causadas en la sujeción de la muñeca por efecto de fuerzas exteriores



Especificaciones de estos sensores:

- Alta rigidez para asegurar que las perturbaciones se amortiguan rápidamente para permitir lecturas exactas en cortos periodos de tiempo.
- Diseño compacto para no restringir el movimiento del manipulador.
- Linealidad.
- Baja histéresis y rozamiento interno.



Sensor de fuerza.

Sensores piezoeléctricos

Formados por materiales cerámicos o cristales iónicos que generan una pequeña cantidad de energía eléctrica cuando son deformados.

Cuando sobre materiales piezoléctricos (titanio de bario) se aplica una fuerza, las cargas negativas del material se concentran en un lado mientras que el opuesto queda cargado positivamente, produciéndose un voltaje (y también un cambio en su capacitancia).

Carga: $Q = f S_c$

Capacitancia: $C = \frac{\epsilon_0 * \epsilon_r * x * y}{z}$

Voltaje: $v = \frac{f * S_c * z}{\epsilon_0 * \epsilon_r * x * y}$

