

Instituto Tecnológico de Hermosillo
Materia: Robótica
Profesor: Medina Gil Lamadrid, Jesús Iván

19 de febrero de 2025

Unidad 1: Morfología del robot Investigar sobre diferentes tipos de sensores

Equipo 4



Fuentes Ochoa,
Aislinn Alicia
121330583@hermosillo.tecnm.mx
Teléfono: 6371147080



Gonzalez Cueto,
Alejandra Abigail
121330591@hermosillo.tecnm.mx
Teléfono: 6221223887



Ceballos Portillo,
Patsy
121330551@hermosillo.tecnm-mx
Teléfono: 6622968916



Peña Encinas,
Ana Lourdes
121331075@hermosillo.tecnm.mx
Teléfono: (6621281812)

ÍNDICE

I.	Introducción	2
II.	Sensores	2
III.	Sensores internos	2
III-A.	Sensores de posición	2
III-B.	Sensores de velocidad	6
III-C.	Sensores de aceleración	7
III-D.	Sensores de fuerza	8
IV.	Sensores externos	10
IV-A.	Sensores de contacto	10
IV-B.	Sensores sin contacto	10
V.	Otros sensores	12
	Referencias	13

I. INTRODUCCIÓN

Los sensores son dispositivos fundamentales en una amplia variedad de aplicaciones tecnológicas, ya que permiten la medición y detección de magnitudes físicas para su posterior procesamiento y análisis. Su desarrollo ha impulsado avances significativos en múltiples disciplinas, desde la automatización industrial hasta la instrumentación científica y los sistemas de seguridad.

En esta investigación se presentan los principales tipos de sensores, clasificándolos según su función y modo de operación. Se abordan sensores internos, como los de posición, velocidad, aceleración y fuerza, que permiten medir variables relacionadas con el movimiento y la interacción mecánica. También se analizan sensores externos, tanto de contacto como sin contacto, esenciales para la detección del entorno y la interacción con distintos elementos.

Comprender el funcionamiento, ventajas y aplicaciones de los sensores es clave para su correcta selección e implementación en distintos sistemas tecnológicos. A lo largo de este trabajo se exploran sus características y principios operativos, destacando su importancia en el desarrollo de soluciones eficientes y precisas en diversos campos de la ingeniería.

II. SENSORES

Los sensores en los robots funcionan como los sentidos humanos, permitiéndoles recopilar información sobre su entorno para operar eficazmente. Deben detectar si han recogido un objeto, evitar obstáculos y ajustar su velocidad. También identifican características como peso, fragilidad o temperatura de los objetos. Para mover su efector final con precisión y aplicar la fuerza adecuada, los sensores en las articulaciones trabajan en conjunto con el controlador del robot, ya sea un microprocesador, computadora o microcontrolador.

III. SENSORES INTERNOS

Los sensores internos se dividen en sensores de posición, de velocidad, de aceleración y de fuerza.

III-A. *Sensores de posición*

Los sensores de posición miden la posición de cada articulación, es decir, el ángulo de articulación de un robot. A partir de dichos ángulos puede encontrarse la configuración del ejecutor final, y ubicar su posición y orientación por medio de la cinemática directa. A continuación se explican los diferentes sensores de posición.

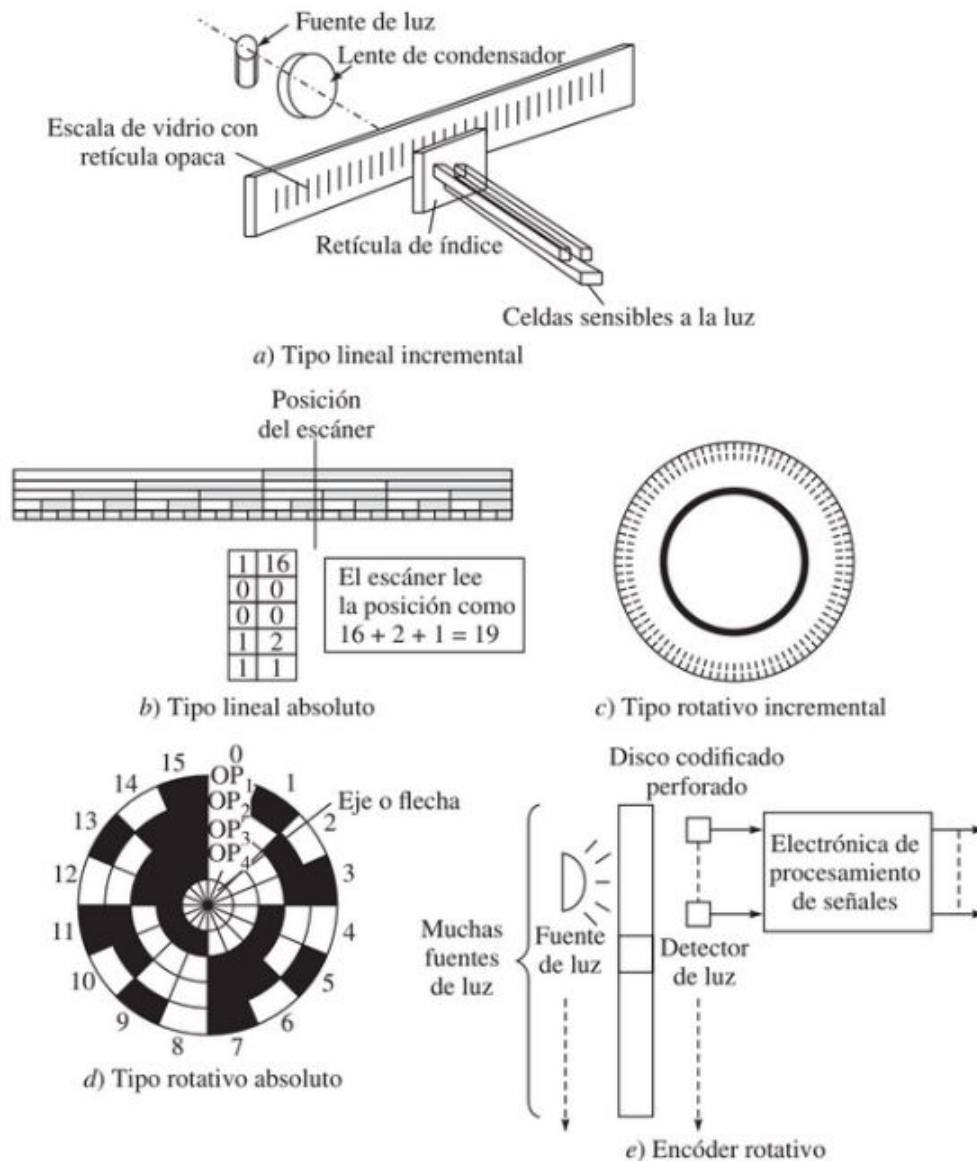
Encoder incremental

El encoder es un dispositivo óptico digital que convierte el movimiento en una secuencia de pulsos digitales. Mediante el conteo de un solo bit o la decodificación de un conjunto de bits, los pulsos pueden convertirse en medidas relativas o absolutas. De este modo, los encoders son de tipo incremental o absoluto. Además, cada tipo puede ser lineal y rotatorio a su vez.

- **Encoder lineal incremental:** Utiliza una escala con líneas opacas y espacios iguales en tamaño, ubicados en el rango de micrones. Una fuente de luz atraviesa la escala y es detectada por fotodiodos, generando pulsos cada vez que la luz es bloqueada. Estos pulsos actualizan un contador que mide la distancia recorrida.
- **Encoder rotativo incremental:** Similar al encoder lineal incremental, pero con retículas en un disco. Tiene dos conjuntos de líneas en diferentes círculos para detectar el sentido de rotación y mejorar la precisión. Además, cuenta con un círculo adicional con una sola marca para medir el número de revoluciones completadas.

Encoder absoluto

- **Encoder lineal absoluto:** Similar al incremental, pero proporciona un valor absoluto de la distancia en cualquier momento, evitando pérdida de pulsos a altas velocidades. Su salida es digital y utiliza una escala con secuencias de tiras opacas y transparentes que representan números binarios, permitiendo determinar la posición exacta.
- **Encoder rotativo absoluto:** Funciona como el encoder lineal absoluto, pero con un disco dividido en tiras circulares con segmentos de arco definidos. Proporciona una salida digital absoluta y se monta directamente en el eje del motor o con engranajes para mayor precisión. Para reducir errores, puede usar un código Gray, que evita confusiones en la salida binaria al cambiar solo un bit a la vez.



(a) Encoder

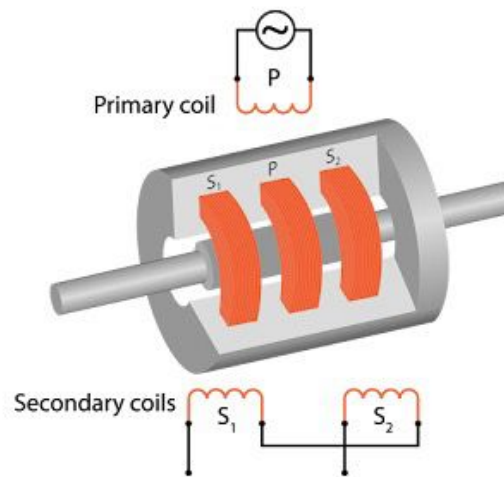
Potenciometro

- **¿Qué hacen?** Es un dispositivo de resistencia variable que expresa desplazamientos lineales o angulares en términos de voltaje.
- **Principio de funcionamiento:** Consiste en una clavija deslizante que hace contacto con un elemento resistivo; conforme se mueve este punto de contacto, la resistencia entre el contacto deslizante y las conexiones de los extremos del dispositivo cambia en proporción al desplazamiento, x y para potenciómetros lineales y angulares, respectivamente.

Sensor LVDT

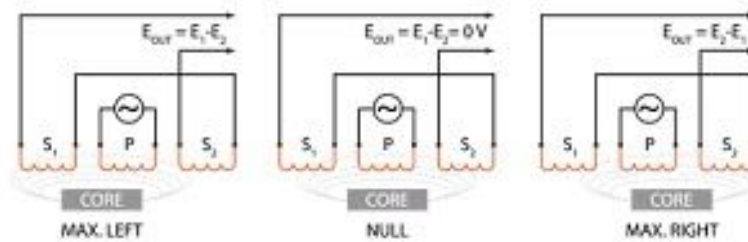
- **¿Qué hacen?** Los LVDT (transformadores diferenciales variables lineales) son sensores de posición lineal. Se utilizan para medir el desplazamiento lineal y la posición en distancias relativamente cortas. En la actualidad, existen LVDT en el mercado que pueden medir movimientos tan pequeños como varias millonésimas de cm (micro pulgadas) o incluso hasta aproximadamente 0,7 metros (27 pulgadas) en el otro extremo. [1]

Un LVDT consiste en un tubo que contiene un eje que se mueve libremente (también conocido como armadura). La base del tubo está montada en una posición fija y el extremo de la varilla se fija a un objeto cuya posición se moverá de forma lineal (hacia adelante y hacia atrás).



(a) LVDT

- **Principio de funcionamiento:** Dentro de la carcasa del LVDT se encuentra la bobina primaria. A cada lado del conjunto de la bobina hay un par de bobinas secundarias. Excepto por sus posiciones físicas, los tres devanados primarios son idénticos. Sin embargo, están conectados en serie con la oposición, de modo que si se energizan por igual, sus salidas sumarán cero. Tenga en cuenta que estos elementos internos normalmente están contruidos de tal manera que están protegidos contra la humedad y los campos magnéticos externos.



(a) LVDT

■ Tipos de LVDT o variedades mecánicas

En términos de su construcción de eje / armadura, existen varias variedades básicas disponibles en la actualidad:

- LVDT de armadura libres (no guiados)
- LVDT de armadura cautiva (guiada)
- LVDT de armadura forzada o extendida por resorte

■ Aplicaciones:

- Herramientas de máquina
- Bancos de prueba de tracción
- Prueba aeroespacial: tren de aterrizaje, actuadores, posicionamiento de la superficie de control, hidráulica
- Ensayos de automoción y trenes: movimientos de los sistemas de suspensión
- Generación de energía: prueba de turbinas
- Robótica: retroalimentación de posición
- Fabricación: automatización, controles de procesos
- Pulpa y papel - posicionamiento de los brazos tensores

Sensor Resolver

- **¿Qué hacen?** Un resolver es un sensor analógico de posición rotatoria, que a través de impulsos digitales puede regular la velocidad, la posición o el torque.
El resolver consiste en una parte estacionaria llamada estator y una parte giratoria llamada rotor, que es montada al eje del motor. [2]
- **Principio de funcionamiento:** El bobinado primario del estator está conectado a una señal sinusoidal de alta frecuencia. Esta señal se transmite al bobinado del rotor, porque el bobinado primario del estator y el bobinado del rotor actúan juntos como un transformador. El campo magnético alternante pulsante del bobinado del rotor ahora induce una voltaje alterna en los bobinados de medición seno y coseno. Sus amplitudes, sin embargo, dependen de la posición angular del rotor. Si el bobinado del rotor y el bobinado de medición están paralelos el uno al otro, el campo del rotor magnético pasa completamente por la bobina de medición y, por lo tanto, el voltaje inducido es máximo. Sin embargo, si el bobinado del rotor y el bobinado de medición están en ángulos rectos el uno con el otro, no se producirá ningún voltaje.
- **Aplicaciones:** Los resolvers se utilizan en los servo motores para diferentes sectores industriales (Robótica, automoción, packaging, food and beverage, etc. . .) en los que se utilizan máquinas accionadas eléctricamente para procesos definidos. Ya que son sistemas de realimentación robustos y fiables que controlan el régimen de un servomotor de forma precisa.
- **Ventajas:**
 - El propio resolver no contiene componentes electrónicos y por lo tanto puede soportar la temperatura caliente tan alta como 175 ° C y la temperatura baja tan bajo como -55 ° C.

- Un resolver es el dispositivo ideal retroalimentación confiable para su uso en condiciones ambientales adversas, ya que hay ninguna conexión eléctrica o mecánica entre el rotor y el estator.
- El rotor del resolver está montado directamente en el eje del motor, dando un sistema de medición robusto para señales de velocidad y posición.
- También puede alcanzar una velocidad de 90.000 rpm.
- Los resolvers no son susceptibles a la suciedad, aceite o ambientes calientes ya que los circuitos electrónicos están en otros dispositivos. Dispositivos como los encoders son más susceptibles a estas condiciones. Por eso, los resolvers han sido el dispositivo de realimentación escogido por muchos fabricantes.



(a) Resolver

III-B. Sensores de velocidad

Miden la velocidad a partir de cambios de posición en intervalos de tiempo constantes, calculando la razón de cambio respecto al tiempo de los valores de posición, o mediante diferentes principios.

Sensores de posición

- **¿Qué hacen?** Cualquier sensor de posición puede medir velocidad si se usa dentro de ciertos límites de tiempo. Por ejemplo, un encoder incremental calcula la velocidad dividiendo el número de pulsos entre el tiempo. Sin embargo, este método puede aumentar la carga computacional del controlador.

Tacómetro

- **¿Qué hacen?** Esencialmente, los tacómetros miden la velocidad de rotación de un elemento, utilizando el principio de que “el voltaje producido es proporcional al índice del acoplamiento inductivo”, por lo que el conductor (una bobina) se sujeta al elemento rotativo que gira en un campo magnético (estator), para que así, conforme se incremente la velocidad del eje, también aumente el voltaje producido en las terminales de las bobinas, pudiéndola medir directamente. [5]

Sensor de efecto Hall

- **¿Qué hacen?** Otro dispositivo de medición de velocidad es el sensor de efecto Hall, cuyo principio se describe a continuación. Si una pieza plana de material conductivo llamada chip Hall se sujeta a una diferencia de potencial en sus dos lados opuestos, entonces el voltaje que se genera a través de las caras perpendiculares es cero. Pero si un campo magnético se induce en



(a) Tacometro

ángulos rectos al conductor, el voltaje se genera en las otras dos caras perpendiculares. Entre más alto sea el valor de campo, más lo será el nivel de voltaje. Si se utiliza un imán anular, el voltaje producido será proporcional a la velocidad de rotación del imán. [4]



(a) Sensor de efecto Hall

III-C. Sensores de aceleración

De manera parecida a las mediciones de velocidad que se dan a partir de la información de los sensores de posición, pueden encontrarse las aceleraciones como la razón de cambio respecto al tiempo de las velocidades obtenidas por los sensores de velocidad o calculado a partir de las informaciones de posición. Pero ésta no es una manera eficiente para calcular la aceleración, puesto que impondrá una carga de trabajo pesada sobre la computadora, lo que puede reducir la velocidad de operación del sistema. Otra forma de medir la aceleración es calculando la fuerza que resulta de multiplicar masa por aceleración. Las fuerzas se miden, por ejemplo, usando galgas extensométricas.

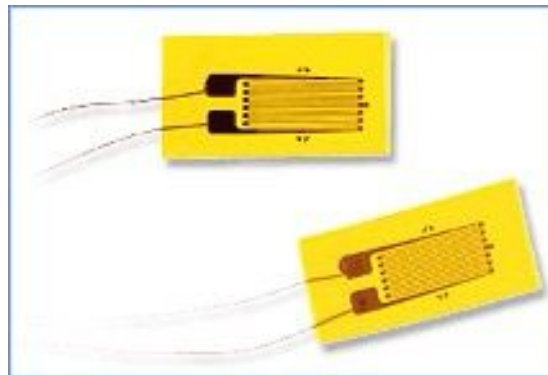
Sensores de fuerza

- **¿Qué hacen?** Una balanza de resorte es un ejemplo de un sensor de fuerza en donde se aplica una fuerza, por ejemplo, el peso, al platillo de balanza que causa un desplazamiento, es decir, el resorte se estira. El desplazamiento es entonces una medida de la fuerza. Existen otros tipos de sensores de fuerza, por ejemplo, con base en galgas, utilizando el sensor de efecto Hall, etcétera.

III-D. Sensores de fuerza

Galgas extensiométricas

- **¿Qué hacen?** Las galgas extensiométricas son sensores cuya resistencia varía con la fuerza aplicada. Estos sensores convierten la fuerza, presión, tensión, peso, etc, en un cambio de la resistencia eléctrica el cual puede ser medido.
- **Principio de funcionamiento:** Cuando se aplica una fuerza externa a un objeto estacionario, se produce tensión y estrés sobre él. El estrés se define como las fuerzas internas de resistencia del objeto, y la tensión se define como el desplazamiento y la deformación que se producen. Las galgas extensiométricas son una de las herramientas más importantes en la técnica aplicada de medición eléctrica de magnitudes mecánicas. Como su nombre indica, se utiliza para la medición de tensiones. Se pueden utilizar para medir la expansión y la contracción.
- **Tipos:**
 - La Rejilla Karma o Serie K: Rosetas T son para diseños de transductores de deformación axial, materiales Karma de precisión se desempeñan con buena linealidad en temperaturas de -75 a 200°C (-100 a 392°F), tienen un período de fatiga más largo.
 - Galgas extensiométricas de Precisión: Propósito general, flexible, mecánicamente fuerte, radio de doblamiento pequeño, marcas de alineación claras, cables de cinta o terminación de soldadura, se puede utilizar con adhesivo frío o caliente; para mediciones de deformación dinámicas o estáticas altamente precisas.
 - Galgas extensiométricas Precableadas: Salte el paso de soldadura en el punto de medición con los sensores precableados, sensores lineales de rejillas de 0,3 a 20 mm Rosetas T Rosetas planas de 0° , 45° , o 90° Sensores totalmente encapsulados para proteger el dispositivo de condiciones ambientales.
 - Galgas extensiométricas de calidad: La serie SGT de galgas extensiométricas de calidad de transductor tiene rejillas paralelas dobles, para tensión de dobladura o de eje Aplicaciones de corte o torque Aplicaciones de transductor personalizadas de curva doble. [6]



(a) Galgas extensiométricas

Sensor piezoeléctrico

- **¿Qué hacen?** Un material piezoeléctrico presenta un fenómeno conocido como efecto piezoeléctrico. Este efecto señala que cuando cristales elásticos asimétricos se deforman mediante una fuerza, se desarrollará un potencial eléctrico dentro de la red cristalina deformada. Este efecto es reversible. Esto quiere decir que si se aplica un voltaje entre las superficies del cristal, éste cambiará sus dimensiones físicas. La magnitud y polaridad de las cargas inducidas son proporcionales a la magnitud y dirección de la fuerza aplicada. Los materiales piezoeléctricos son cuarzo, turmalina, sal de Rochelle y otros. El rango de fuerzas que pueden medirse usando

sensores piezoeléctricos es de 1 a 20 kN y con una proporción de $2 * 10^5$. Estos sensores pueden usarse para medir un cambio instantáneo en la fuerza (fuerzas dinámicas). [7]

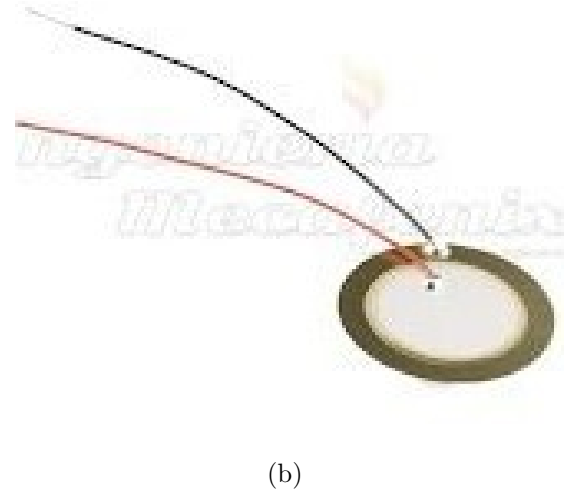


Figura 8: Sensor piezoeléctrico

IV. SENSORES EXTERNOS

Los sensores externos se dividen en sensores de contacto y sensores sin contacto.

IV-A. Sensores de contacto

Son aquellos que necesitan tocar físicamente un objeto para detectar su presencia o medir una magnitud.

Interruptores de límite

- **¿Qué hacen?** Detectan la presencia o posición de un objeto cuando este activa un mecanismo mecánico.
- **Principio de funcionamiento:** Consisten en un brazo mecánico o palanca que, al ser presionado, acciona un interruptor eléctrico.
- **Aplicaciones:** Detección de posición en máquinas CNC y robots industriales. Protección en sistemas de seguridad (por ejemplo, cuando una puerta está abierta o cerrada). Sistemas de final de carrera en actuadores.
- **Ejemplo:** Interruptor de límite tipo microswitch, como los usados en impresoras 3D para el eje Z.

Interruptores neumáticos

- **¿Qué hacen?** Detectan la presión de aire o vacío en un sistema neumático.
- **Principio de funcionamiento:** Usan un diafragma o válvula que se activa con cambios de presión.
- **Aplicaciones:** Control en sistemas de automatización neumática. Seguridad en prensas neumáticas y sistemas de frenado de emergencia. Sistemas de detección de flujo de aire.
- **Ejemplo:** Interruptor neumático utilizado en líneas de producción automatizadas.

Sensores piezoeléctricos

- **¿Qué hacen?** Detectan presión, fuerza o vibraciones y las convierten en señales eléctricas.
- **Principio de funcionamiento:** Se basan en el efecto piezoeléctrico, donde ciertos materiales generan un voltaje al ser sometidos a presión mecánica.
- **Aplicaciones:** Medición de impacto en pruebas de materiales. Sensores de vibración en maquinaria industrial. Micrófonos y captadores de sonido.
- **Ejemplo:** Sensores piezoeléctricos usados en guitarras eléctricas para captar sonido.

Transductores de presión

- **¿Qué hacen?** Miden la presión de un fluido (líquido o gas) y la convierten en una señal eléctrica.
- **Principio de funcionamiento:** Usan galgas extensométricas o elementos piezoeléctricos para medir la deformación causada por la presión.
- **Aplicaciones:** Monitoreo de presión en sistemas hidráulicos y neumáticos. Control de presión en motores y sistemas de refrigeración. Aplicaciones médicas (como en esfigmomanómetros digitales).
- **Ejemplo:** Sensor de presión MPX5700 usado en sistemas de control de presión.

IV-B. Sensores sin contacto

Detectan la presencia, distancia o características de un objeto sin tocarlo.

Sensores de proximidad

- **¿Qué hacen?** Detectan la presencia de un objeto cercano sin contacto físico.
- **Tipos y funcionamiento:**
 - Inductivos: Detectan objetos metálicos mediante un campo electromagnético.
 - Capacitivos: Detectan objetos metálicos y no metálicos mediante cambios en la capacitancia.
 - Ópticos: Usan luz infrarroja o láser para detectar objetos.
- **Aplicaciones:** Detección de piezas en bandas transportadoras. Sistemas de seguridad en maquinaria. Sensores de aparcamiento en automóviles.
- **Ejemplo:** Sensor inductivo LJ12A3-4-Z/BX usado en impresoras 3D.

Sensores de efecto Hall

- **¿Qué hacen?** Detectan la presencia de campos magnéticos.
- **Principio de funcionamiento:** Se basan en el efecto Hall, que genera una diferencia de voltaje en un material conductor cuando es atravesado por un campo magnético.
- **Aplicaciones:** Sensores de velocidad en motores. Controles de proximidad en robótica. Medición de corriente en circuitos eléctricos.
- **Ejemplo:** Sensor de efecto Hall A3144 para detectar imanes.

Sensores de microondas

- **¿Qué hacen?** Detectan movimiento mediante la emisión y recepción de ondas electromagnéticas de alta frecuencia.
- **Principio de funcionamiento:** Utilizan el efecto Doppler: cuando un objeto se mueve, la frecuencia reflejada cambia, lo que permite detectar su presencia y velocidad.
- **Aplicaciones:** Sensores de movimiento en alarmas de seguridad. Detección de vehículos en semáforos inteligentes. Sensores de radar en autos autónomos.
- **Ejemplo:** Sensor de microondas RCWL-0516 usado en sistemas de iluminación automática.

Sensores ultrasónicos

- **¿Qué hacen?** Capturan imágenes y procesan información visual.
- **Principio de funcionamiento:** Utilizan cámaras con algoritmos de procesamiento de imagen para detectar formas, colores y movimientos.
- **Aplicaciones:** Inspección de calidad en líneas de producción. Reconocimiento facial en seguridad. Navegación de robots autónomos.
- **Ejemplo:** Cámara Intel RealSense para visión 3D.

Sensores láser

- **¿Qué hacen?** Miden distancias con alta precisión mediante un haz de luz láser.
- **Principio de funcionamiento:** Utilizan el tiempo de vuelo (ToF) de un pulso láser para calcular la distancia.
- **Aplicaciones:** Mapeo 3D en drones y vehículos autónomos. Medición de distancias en topografía. Sensores de seguridad en máquinas industriales.
- **Ejemplo:** Sensor LiDAR TFmini usado en robots para navegación autónoma.

Sensores de visión

- **¿Qué hacen?** Detectan movimiento mediante la emisión y recepción de ondas electromagnéticas de alta frecuencia.

- **Principio de funcionamiento:** Utilizan el efecto Doppler: cuando un objeto se mueve, la frecuencia reflejada cambia, lo que permite detectar su presencia y velocidad.
- **Aplicaciones:** Sensores de movimiento en alarmas de seguridad. Detección de vehículos en semáforos inteligentes. Sensores de radar en autos autónomos.
- **Ejemplo:** Sensor de microondas RCWL-0516 usado en sistemas de iluminación automática.

V. OTROS SENSORES

Giroscopio

- **¿Qué mide?** La velocidad angular de un objeto en uno o más ejes y se usa para determinar cambios de orientación sin depender de señales externas.
- **Principio de funcionamiento:** Basado en la conservación del momento angular. Los giroscopios mecánicos usan un disco giratorio para resistir los cambios de orientación. Los giroscopios MEMS (Microelectromechanical Systems) utilizan vibraciones internas y efectos inerciales para detectar movimientos.
- **Aplicaciones:** Navegación en drones, aviones y robots autónomos. Estabilización en cámaras y dispositivos móviles. Sistemas de navegación inercial en submarinos y misiles.
- **Ejemplo:** MPU6050 (combinado con acelerómetro).

Acelerómetro

- **¿Qué mide?** La aceleración lineal en uno o más ejes (X, Y, Z) y puede detectar vibraciones, inclinaciones y fuerzas de impacto.
- **Principio de funcionamiento:** Basado en la segunda ley de Newton: $F=ma$. Los acelerómetros MEMS usan pequeñas masas móviles dentro del sensor que se desplazan con la aceleración, generando una señal eléctrica.
- **Aplicaciones:** Detección de caídas en dispositivos móviles y wearables. Control de movimiento en robots y videojuegos. Airbags en automóviles (detectan colisiones). Análisis de vibraciones en maquinaria industrial.
- **Ejemplo:** ADXL345 (digital, de 3 ejes).

Magnetómetro

- **¿Qué mide?** La intensidad y dirección de los campos magnéticos y permite determinar la orientación respecto al campo magnético terrestre (como una brújula digital).
- **Principio de funcionamiento:** Utilizan el efecto Doppler: Utiliza el efecto Hall o materiales magnetorresistivos para detectar cambios en los campos magnéticos. Puede detectar objetos metálicos o variaciones en el campo magnético de la Tierra.
- **Aplicaciones:** Brújulas digitales en smartphones y GPS. Navegación en vehículos autónomos y drones. Detectores de metales. Exploración geofísica para medir anomalías magnéticas en la Tierra.
- **Ejemplo:** HMC5883L (popular en drones y navegación).

LiDAR (Light Detection and Ranging)

- **¿Qué mide?** Distancias a objetos mediante la emisión y recepción de pulsos láser. Puede generar mapas en 3D con alta precisión.
- **Principio de funcionamiento:** Emite un pulso de luz láser y mide el tiempo que tarda en reflejarse en un objeto y regresar al sensor.
- **Aplicaciones:** Vehículos autónomos (detección de obstáculos y mapeo). Topografía y cartografía en 3D. Agricultura de precisión (detección de variaciones en el terreno). Arqueología (descubrimiento de estructuras ocultas bajo vegetación).
- **Ejemplo:** Velodyne LiDAR (usado en coches autónomos). RPLIDAR A1 (más accesible para proyectos de robótica).

REFERENCIAS

- [1] Dewesoft, “Medición de posición y desplazamiento con sensores lvdt,” 2025. [Online]. Available: <https://dewesoft.com/es/blog/medir-posicion-desplazamiento-con-sensores-lvdt>
- [2] Servomotors Adjust, “Resolver feedback en servomotores,” 2025. [Online]. Available: <https://www.servomotorsadjust.com/resolver-feedback/>
- [3] Mercado Libre México, “Sensor de velocidad tacómetro eléctrico 2 puntas kenworth,” 2025. [Online]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-1899279255-sensor-de-velocidad-tacometro-electrico-2-puntas-kenworth-_JM
- [4] TE Connectivity, “Cat-sps0021 - sensor de te connectivity,” 2025. [Online]. Available: <https://www.te.com/es/product-CAT-SPS0021.html>
- [5] British Federal Mexico, “Los 3 tipos de sensores internos de un robot industrial,” 2019. [Online]. Available: <https://bfmx.com/maquinaria-y-equipo-para-soldadura-por-resistencia/sensores-internos-de-un-robot-industrial/>
- [6] Omega Engineering, “¿qué son las galgas extensiométricas?” 2025. [Online]. Available: <https://es.omega.com/prodinfo/galgas-extensiometricas.html>
- [7] Ingeniería Mecafenix, “Que es un sensor piezoeléctrico y para que sirve,” 2023. [Online]. Available: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensores/sensor-piezoelctrico/>