

## Caracterización de los tipos de sensores y su interacción con la realidad física

### Characterization of sensor types and their interaction with physical reality

Rafael Leonardo Jiménez-Álvarez

Maestro en Administración Financiera

Docente investigador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Universidad Católica de El Salvador, El Salvador

Email: rafael.jimenez@catolica.edu.sv

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7530-5250>

DOI:

Fecha de recepción: 01-04-2023 Fecha de aceptación: 07-06-2023

#### Resumen

Los sensores son elementos clave en el desarrollo tecnológico actual; se consideran tan valiosos como en su momento se consideraron espectaculares las computadoras. Estos han llegado a convertirse en un instrumento de medición imprescindible para los avances tecnológicos, y de amplia utilización en diferentes connotaciones de la vida humana.

Los sensores han aumentado la comprensión que se tiene del mundo, proporcionando una visión macroscópica - como nunca antes - de las interacciones humanas con el entorno tan cambiante. Muchos especialistas consideran que los sensores tendrán un papel trascendental en la construcción de un planeta más inteligente y con mejor perspectiva de sostenibilidad, porque harán posible la cuantificación de cómo se utilizan los bienes naturales y el monitoreo de la disposición de los desechos; esto conllevará a una mejor distribución de los recursos tan útiles, pero - a la vez - muy limitados.

Para una correcta descripción y caracterización de los sensores, se efectuó una aproximación a la bibliografía existente sobre los mismos; se realizó una búsqueda minuciosa en diferentes textos vinculados estrechamente al tema, seleccionando muchos de ellos en el idioma inglés por ser el preferido para la producción científica. En este proceso se han encontrado muchos, así como variados tipos y categorías de sensores.

Se presenta y documentan los diferentes tipos de sensores, describiendo los mecanismos de interacción con las magnitudes físicas, así como la descripción relativa a funcionamiento.

**Palabras clave:** Sensores, principio de transducción, tipología de sensores, categoría de sensores

#### Abstract

Sensors are key elements in current technological development, considered as valuable as computers were in their time. They have become indispensable measurement tools for technological advances, widely used in various aspects of human life. Sensors have increased our understanding of the world, providing a macroscopic view of human interactions with the ever-changing environment.

Many experts believe that sensors will play a crucial role in building a smarter and more sustainable planet. They enable the quantification of natural resource usage and monitoring waste disposal, leading to a better distribution of these valuable yet limited resources.

To accurately describe and characterize sensors, an approach to existing literature on the subject was taken. A thorough search was conducted in various texts closely related to the topic, with a preference for English-language sources, given its prominence in scientific production. This process revealed numerous types and categories of sensors.

This work presents and documents different types of sensors, describing their mechanisms of interaction with physical quantities and providing relative operational descriptions.

**Keywords:** Sensors, transduction principle, sensor typology, sensor categories.

## 1. Introducción

El proceso de cuantificación ha sido una tarea realizada en cada etapa del desarrollo y evolución humana; la medición es un proceso que se ha efectuado desde que el hombre mismo es hombre, para este proceso ha utilizado diferentes patrones con los que busca comparar y verificar que el intercambio de bienes se realizara sobre la base de lo equitativo y justo. (Morris & Langari, 2012)

Es en este desarrollo del proceso de medición y la creación de sistemas especializados que se incorpora el término sensor. En sentido estricto, el sensor es el mecanismo – activo o pasivo – dirán Vetelino & Reghu (2011), que sirve como el corazón de un sistema de medición. El sensor tendrá un doble uso; si se utiliza de forma individual, servirá para “medir” una variable con la que se esté en contacto. Pero si se usa como parte de un “sistema”, se busca que el sensor aporte “fiabilidad” en el rendimiento de un sistema mucho más grande y complejo.

Sin lugar a equivocación, a través de sensores se permite aplicar a diferentes connotaciones de la existencia, la capacidad de responder ante un impulso. A través de los sensores se capta algo de la realidad natural con la expec-

tativa de ser digitalizado; los sensores son, por tanto, los mecanismos que permiten pasar de la realidad habitual a la realidad digitalizada.

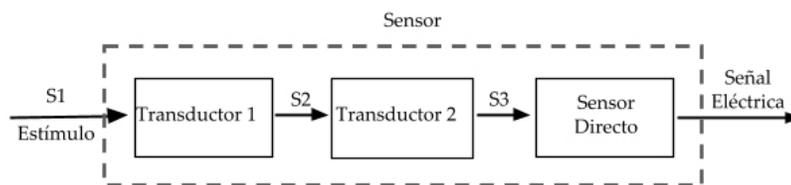
Kenny (2005) define un sensor como el dispositivo que convierte un fenómeno físico en una señal eléctrica, añadiendo que los sensores representan parte de la interfaz entre el mundo físico y el mundo de los dispositivos eléctricos.

Esta definición incluye exactamente la función de un sensor: en primer lugar, un dispositivo, resultado del ingenio y la creatividad humana; capaz de captar una variación en la realidad física y generar – a partir de este estímulo – una señal eléctrica, que puede ser interpretada, valorada, medida y procesada para desencadenar una acción específica.

Dirá Fraden (2016) que existen dos tipos de sensores: directos e híbridos. Los sensores directos convierten un estímulo en una señal eléctrica, mientras que un sensor híbrido (o simplemente sensor) necesita además uno o más transductores antes que se pueda emplear un sensor directo para generar una salida eléctrica. El sensor es siempre parte de algún tipo de sistema de adquisición de datos, esto se ejemplifica mucho mejor en el siguiente esquema:

### Figura 1

*Descripción esquemática de un sensor*



*Nota.* Adaptado de Fig. 1.2 (p. 4), Fraden, Jacob, 2016, Handbook of Modern Sensors. Springer.

## 2. Desarrollo

### 2.1. Diferentes visiones para categorización

Antes de conceptualizar los sensores es conveniente presentar la forma en la que se clasifican, pues no existe una visión única, sino que hay muchos puntos de vista para ubicarlos en una u otra categoría.

Eren (2005), explica cómo coexisten diversos enfoques para clasificar los sensores. Algunas clasificaciones dependen de las propiedades del proceso físico, otros de los principios operativos del sensor, y una más que es un híbrido de ambas.

- El primer enfoque se refiere a la naturaleza de la medida detectada, tal como la temperatura, presión, etc., que es de utilidad para los que quieren observar parámetros particulares de las variables físicas.
- El segundo enfoque, los clasifica en función de su señal de salida, si es una salida resistiva, generadora de voltaje, magnética, etc.; enfoque que será de utilidad para el diseño de sistemas de medición y proceso de las salidas, por medio de software y hardware especializado.
- El último enfoque se interesa por conocer la entrada y la salida de energía del sensor; este enfoque clasificará los sensores en: modificadores, autogeneradores y moduladores. (Eren, Sensors, 2005)

Abac de León (2015), los clasifica de la siguiente forma:

- Por su funcionamiento: Activos y Pasivos
- Por el tipo de señal eléctrica que maneja: Analógicos, Digitales, Temporales
- Por el rango de valores que proporciona: de medida (Constantes), todo o nada (Discretas)
- Por el tipo de variable física medida: Mecánica, Química, Eléctrica, Térmica, Magnética.

Patel *et al* (2020), definen un sensor pasivo como aquel que no requiere de una fuente de energía adicional, pues la señal eléctrica se produce directamente en respuesta al estímulo externo; esto implica que el sensor convierte la energía de entrada en la señal de salida. Los sensores activos requieren una fuente de energía externa para su respuesta, que es lo que se conoce como señal de excitación. Esto implica que, para producir su señal de salida, deben adoptar cambios en su señal de entrada para luego convertirla en señal eléctrica.

Corona-Ramírez & Abarca-Jiménez (2019), clasifican los sensores desde una doble perspectiva: Por el tipo de variable medida y por el principio de transducción.

Esto es una categorización más amplia y – probablemente – más específica de los sensores, partiendo de su doble visión de transducción y de variable medida.

Una categoría mucho más reciente clasifica a los sensores como inteligentes; esta surge cuando se incorporan algunos dispositivos ac-

tivos a un sensor pasivo para dotarlo de mejor calidad. Consiste en una mejora de los sensores pasivos, que pretende concederles la capacidad de detección de fallos, autocalibración y auto-test; esto permite el aumento de las capacidades en sistemas de control y la comunicación con el medio exterior. (Aguirre-Porturas, Saenz, & Oleagordia-Aguirre, 2006)

Este intento por clasificar los sensores sólo deja en evidencia que – al ser muchos y variados – es casi imposible enmarcarlos en una categoría simplista. Ubicarlos por clases es una visión reduccionista de su enorme impacto, muestra que los sensores – cual sea la visión que se utilice para clasificarlos – son una categoría en sí mismos en el mundo de la electrónica; su construcción, utilidad y aporte son muchísimos a la luz de una mera categorización.

## 2.2 Descripción de los diferentes tipos de sensores por el tipo de variable medida

### a. Sensores de posición

Edwards (2023) define los sensores de posición como el dispositivo que tiene dos funcionamientos: detectar el movimiento de un objeto o determinar su posición relativa a un punto de referencia. Su propósito básico es detectar un objeto y transmitir su posición por medio de una señal.

Cano Muñoz (2005), indica que las funciones de un sensor de posición son: control y detección de movimiento, conteo de presencia de un objeto, detección de velocidad, dirección o distancia.

Los sensores de posición detectan cualquier perturbación y convierten ese parámetro físico en una salida eléctrica que indica la posición del objetivo. (Cano-Muñoz, 2005)

Uno de los sensores de posición más elementales es el de posición lineal que utiliza un sensor potenciométrico, basado en resistencia, es ampliamente utilizado. (Edwards, 2023)

Este sensor utiliza el efecto resistivo como principio de detección, consiste en una pista resistiva que se fija en una escobilla al cuerpo cuyo desplazamiento se medirá. A medida que se desplaza, la escobilla cambia la resistencia en el extremo de la pista, así la resistencia se transforma en función de la posición de la escobilla; el cambio de resistencia por unidad de posición – en este caso – es lineal (Jain, 2023). Otros tipos de sensores de posición descrito por este autor son los sensores de capacitancia; estos miden la capacitancia entre dos placas y dependen de la permitividad del dieléctrico que está entre las placas; entra en juego el área de las placas y la distancia entre ellas. Con cualquier cambio en esas medidas puede diseñarse un sensor de movimiento por capacitancia.

Otro tipo de sensor de posición es el sensor de posición lineal magnetostrictivo. Se entiende por magnetostricción a la propiedad de los materiales ferromagnéticos y su capacidad para cambiar de forma en presencia de campos magnéticos; estos sensores basan su funcionamiento en el efecto Villary, en el que

el campo magnético intercepta la onda, y por medios electrónicos es capaz de medir el tiempo de ida y retorno de la señal, devolviendo la posición del objeto. (sensorland.com, 2023)

Los sensores de posición ultrasónicos miden la distancia y detectan la presencia de un objeto sin hacer contacto físico. Esto se logra con un eco ultrasónico, que genera y emite pulsos que se reflejan en el sensor por un objeto que está dentro del campo de visión del mismo. (Toa & Whitehead, 2021)

Los sensores de posición fotoeléctricos detectan objetos por los cambios en las condiciones de la superficie, a través de las propiedades ópticas – refracción y reflexión de la luz –este sensor tiene un emisor y un receptor de luz. Cuando la luz emitida es interrumpida, cambia la intensidad de luz que es recibida por el receptor, el cual, detecta ese cambio y lo convierte en una salida eléctrica. (OMRON Corporation, 2023)

### **b. Sensores de velocidad**

Los sensores de velocidad pertenecen a los sensores de posición, se utilizan para medir la velocidad de desplazamiento de una partícula objetivo.

El primero de estos sensores es el que proporciona una medida de velocidad lineal de un objeto, que es la tasa de cambio de la posición con respecto al tiempo – es una cantidad vectorial –. La magnitud de la velocidad se cuantifica con respecto a un objeto de referencia. Un ejemplo clásico es el velocímetro

de un vehículo (Pinney & Baker, 2014). Otro ejemplo de sensor de velocidad lineal es el LVT (linear velocity transducer); este se fundamenta en la ley de Faraday. (Fraden, 2016, p. 383)

Pinney y Baker (2014), mencionan que, además de la velocidad lineal, se puede medir la velocidad de rotación o velocidad angular de un objeto, y esta es la medida de qué tan rápido gira un objeto.

La velocidad de rotación es parte fundamental de los “sistemas a bordo” en los vehículos; funcionan brindando una medida de voltaje que corresponde a la velocidad de rotación magnética como el efecto Hall. (Variohm Eurosensor Ltd., 2019)

Normalmente, por medio de una rueda dentada que envía una señal al sensor y este calcula la velocidad de rotación del eje.

### **c. Sensores de aceleración**

La aceleración es una medida importante en cuanto a movimiento se refiere; esta se mide con acelerómetros.

Los acelerómetros más utilizados son los piezoeléctricos que son sensores capaces de medir las variaciones relacionadas, como la vibración y el impacto que el movimiento ocasiona. Algunas aplicaciones de los acelerómetros se vinculan con los discos de freno del automóvil, para medir la calidad de viaje en los ascensores; incluso, para tener una medida de la atracción gravitatoria de la tie-

rra. Aunque los más utilizados son los acelerómetros piezoeléctricos, también se pueden encontrar tecnologías piezorresistivas, capacitivas y servo. (Aszkler, 2005)

Los acelerómetros también pueden clasificarse dependiendo si se construyen con componentes mecánicos, que se relacionan con la fuerza de restauración y distorsión de los resortes, las leyes del movimiento, o la dinámica de los fluidos; o si sus componentes son eléctricos o dependen de fuerzas magnéticas. (Eren, 2014)

#### d. Sensores de nivel

Se define nivel como la altura de llenado de un líquido o cualquier material que se contenga en un tanque o depósito, cuya relación con la superficie se mide en relación con un plano de referencia que, generalmente, es el fondo del contenedor. Esta medida se toma con la finalidad de evitar el sobrellenado. (Brundi, 2014)

La detección confiable del nivel es muy importante en muchos procesos de manufactura. Hay muchas tecnologías disponibles, entre las cuales se pueden mencionar:

- **Láser:** usa un haz de luz en la superficie para determinar la velocidad y determinar la distancia en función del tiempo en que tarda en volver la luz a la señal.
- **Microonda:** igual que el láser, pero en lugar de enviar un haz lumínico, utiliza microondas y de igual forma calcula el tiempo de retorno.

- **Diapasón:** se introduce en el material a ser medido, y se registra la variación en la vibración del diapasón, la cual es convertida en señal eléctrica para conmutar.

- **Ultrasónicos:** determina el nivel a través de la duración e intensidad del eco producido por pequeñas ráfagas de energía.

- **Prisma óptico:** detecta las variaciones de luz infrarroja dentro de un prisma, midiendo la cantidad de luz recibida.

- **Presión:** hace una comparativa entre la presión del líquido en el fondo del contenedor, respecto a la presión atmosférica; así determina el nivel de los líquidos.

- **Capacitancia:** utiliza una sonda y detecta los cambios de nivel en el contenedor.

- **Flotador:** utiliza un flotador en la superficie de los líquidos para activar o desactivar el circuito magnético. (Allied Electronics, Inc., 2016)

#### e. Sensores de humedad

Se establece una diferencia entre la humedad (humidity) que se vincula al valor de agua (Fontes, 2005, p. 282), y la humedad (moisture) que hace referencia a la cantidad de agua contenida en los cuerpos como resultado de la absorción o adsorción; y que puede ser cuantificada y eliminada sin alterar las propiedades químicas del elemento (Fraden, 2016, p. 508). Normalmente se hace uso de estos sensores para medir la humedad en el suelo, siendo de gran utilidad en la agricultura.

En el primero de los casos, humedad como vapor, se mide en una triple perspectiva como humedad absoluta, punto de rocío y humedad relativa. Para la humedad absoluta suele usarse una combinación de dos termistores (resistencias que se excitan con temperatura) conectados en puente. La ventaja de utilizar termistores es que no habrá alteraciones en la medición ni por temperatura ni por contaminación. Para el punto de rocío, suele usarse sensores capacitivos de película delgada, los cuales son funcionales incluso a temperaturas cercanas a los 40 °C. La humedad relativa (RH) se mide utilizando sensores resistivos y capacitivos basados en polímeros. (Fontes, Humidity Sensors, 2005)

Soloman (2010), enumera algunos tipos de sensores de humedad, entre los que se destacan:

- **Sensores de desplazamiento:** estos dispositivos utilizan un mecanismo para medir la expansión o contracción de los materiales ante los cambios en la humedad relativa (RH).
  - **Sensores de óxido de aluminio:** constituye un capacitor al conectarse al sustrato a medir. El vapor de agua penetra y es absorbido, el número de moléculas de agua determina la impedancia eléctrica del condensador, la cual es proporcional a la presión del vapor de agua.
  - **Higrómetro electrolítico:** electroliza el vapor de agua en hidrógeno y oxígeno. La cantidad de corriente eléctrica que se utiliza para separarlos es proporcional al número de moléculas de agua presentes en la muestra.
  - **Higrómetro de espejo enfriado, también llamado, higrómetro de condensación:** a pesar de representar un costo más alto se utilizan por su calibración y precisión, se utiliza para medir el punto de rocío por medio de un espejo chapado en oro o rodio, que es controlado por un enfriador termoeléctrico iluminado por un LED de alta densidad.
- Para medir la humedad (moisture), particularmente en el suelo, se utilizan los siguientes sensores:
- **TDR (Time domain reflector):** formado por dos o más varillas paralelas que se insertan en el suelo. Por medio de una onda
  - **Sensores de polímero a granel:** consisten en placas a base de electrodos en miniatura recubiertas con macropolímeros sensibles a la humedad.
  - **Sensores de polímero resistivo:** el material sensible se prepara mediante polimerización en una solución a base de amonio cuaternario; la humedad se mide por el cambio de resistencia entre el ánodo y el cátodo del sensor.
  - **Sensores de polímero capacitivos:** perfectos para soportar altas temperaturas, aproximadamente desde los 185 °C hasta los 2100 °C.

electromagnética se mide la velocidad y la fuerza de esta onda, mientras viaja de una varilla a la otra, midiendo así su contenido de humedad.

- **FDR (Frequency domain reflector):** reflector de dominio de frecuencia; utiliza el mismo suelo a manera de condensador, almacenando una carga eléctrica que pasa a través de electrodos, midiendo los cambios de frecuencia y capacitancia. Esto implica que mientras mayor sea la frecuencia, mayor es la humedad del suelo.
- **Reflectómetro de dominio de amplitud:** mide la impedancia de una señal de transmisión entre sondas receptoras. Esta impedancia implica la constante dieléctrica y la conductividad del suelo.
- **Transmisión de fase:** son dos anillos metálicos por los cuales pasa una onda electromagnética; detecta el cambio de frecuencia en la onda que está estrechamente vinculada con el contenido de humedad del suelo.
- **TDT (Time domain transmisión):** funciona igual que un TDR, pero difiere en que la varilla está conectada a la fuente desde el inicio al final, midiendo el tiempo de propagación de la onda entre la varilla.
- **Tensiómetro:** es un tubo de vidrio con agua conectado a un indicador de vacío. A medida que aumenta la humedad en el suelo el vacío disminuye.
- **Sensores de matriz granular:** está formado por electrodos de cuarzo en una solución de yeso, se cargan los electrodos

y se mide la resistencia eléctrica, a medida que aumenta la humedad en el suelo, disminuye la resistencia. (Sample, James, Jeb, & Barlow, 2016)

#### f. Sensores de temperatura

La temperatura se define como un grado de calor o frío comparada con una escala específica; se puede asociar a la cantidad de energía térmica de un objeto y se relaciona con la energía molecular, de ahí que los sensores de temperatura detectan los cambios en los parámetros físicos como la resistencia o voltaje de salida asociado a un cambio en la temperatura. (Fontes, 2005)

Maxim integrated, en su tutorial de Sensores de temperatura, explica cómo dentro de la electrónica moderna se reconocen cinco tipos de sensores de temperatura de uso más frecuente: termopares, detectores de temperatura por resistencia (RTD), termistores, sensores de circuitos integrados de temperatura local y sensores de temperatura por diodo térmico remoto.

- Los termopares se utilizan mucho en los equipos industriales y automóviles; son autoalimentados, es decir, no requieren excitación y son funcionales en un rango de temperatura hasta los 2000 °C.
- Los RTD (Detector de temperatura por resistencia) son sensores que basan su funcionamiento en la resistividad eléctrica de los metales; son resistencias construidas con alambre de platino, esto por su estabilidad química y su respuesta lineal a los cambios de temperatura.

- Los termistores, comunmente están contruidos con polímeros o cerámica, lo que los hace menos costosos que los RTD; aunque algunas veces eso los hace menos precisos. Al ser resistencias, esta disminuye a medida que aumenta la temperatura.
- Los sensores de circuitos integrados de temperatura local utilizan las propiedades físicas de los transistores como elemento de detección.
- Los sensores de temperatura de diodo térmico remoto emplean un transistor BJT externo como elemento de detección, aunado con los circuitos de acondicionamiento de señal para la medición de la temperatura. (Maxim integrated, 2017)

#### g. Sensores de fuerza y deformación

Los sensores de fuerza son los que transforman las fuerzas mecánicas en una señal de salida, cuyo valor representa la magnitud de la fuerza. Entre estas fuerzas mecánicas se pueden mencionar peso, tensión, compresión, torsión, deformación, estrés o presión. Tienen un gran uso en la industria y se caracterizan porque pueden medir fuerzas desde unos cuantos gramos hasta cientos de toneladas. (Industrial Quick Search, 2023)

Sumi y Thangavel (2017), delimitan las tecnologías en sensores de fuerza en función del comportamiento del elemento de detección, acotándolos a: capacitivos, inductivos piezoeléctricos y piezorresistivos.

- Los sensores de fuerza capacitivos son aquellos cuya capacitancia varía en fun-

ción de la fuerza o presión aplicada. Normalmente se construye con dos placas metálicas en paralelo separadas por dieléctricos; al aplicarse una fuerza a la placa exterior la distancia entre ambas placas disminuye lo que produce un cambio en la capacitancia. Este tipo de sensores también es utilizado en medidas de desplazamiento y presión.

- Los sensores inductivos funcionan por el cambio de inductancia al medir una magnitud. Algunos cambian propiedades tales como la autoinducción, la inductancia mutua o la producción de corriente de Foucault. Son adecuados principalmente para fuerzas pequeñas.
- Los piezoeléctricos funcionan cuando se aplica tensión o fuerza mecánica a algunos materiales produciendo un voltaje. Estos ofrecen varias ventajas, entre ellas: respuesta de alta frecuencia, alta respuesta transitoria, pequeños en tamaño y de construcción robusta.
- Los piezorresistivos cambian – o deforman – al recibir una fuerza externa, lo que hace que su resistencia disminuya. (Sumi & Thangavel, 2017)

#### h. Sensores de flujo y presión

El objetivo de medir el flujo es cuantificar la tasa de flujo de los materiales, es un requisito común en la industria de procesos. El material que se busca medir puede encontrarse en estado sólido, líquido o gaseoso; si es sólido se cuantifica con la tasa de flujo másico, que im-

plica la masa de material que fluye por unidad de tiempo. Si el material es líquido o gaseoso se puede medir como la tasa de flujo de masa o la tasa de flujo volumétrica; esta última es igual al volumen que fluye por unidad de tiempo. De estas medidas se prefiere el volumen de masa, ya que el volumen es variable, mientras que la masa se mantiene constante. (Morris & Langari, 2012)

Dice Hennessy (2005), en el caso de medir el flujo de líquidos se mide la velocidad del fluido en la tubería y se multiplica por el área de su sección transversal del tubo. Para esta medición, los instrumentos más utilizados son anemómetros térmicos, sistemas de medición diferencial, sensores de desprendimiento de vórtice, sensores de flujo de desplazamiento positivo, sensores de flujo basados en turbinas, sensores de flujo magnéticos y sensores de flujo ultrasónico.

- **Los anemómetros térmicos o de alambre caliente** se fundan en el principio que la cantidad de calor que un fluido extrae del sensor caliente se relaciona con la velocidad del mismo. Estos sensores – en ocasiones – usan un segundo sensor sin calentar para compensar las variaciones de temperatura.
- **Los sistemas de medición de presión diferencial** se usan tanto para flujos de aire como para líquidos; son los más utilizados principalmente para líquidos. El funcionamiento se basa en la presión diferencial de los caudalímetros y el concepto que la caída de presión es proporcional al cuadrado del caudal.

- **Los sensores de flujo de desplazamiento positivo** se usan cuando se requiere una gran precisión. Son útiles para medir líquidos viscosos; pueden estar contruidos a partir de engranajes y lobulados; medidores de disco nutante, medidores de paletas rotativas o medidores de pistón oscilante. Se crean a partir de piezas metálicas, y el problema de su aplicación radica en su costo que suele ser elevado.

- **Medidores tipo turbina:** usan la relación que la cantidad de líquido que fluye es directamente proporcional a la velocidad de giro del rotor de la hélice, contando los pulsos eléctricos. Se caracterizan por su precisión especialmente con fluidos de baja viscosidad.

- **Caudalímetros másicos:** Basan su funcionamiento en el principio de Cariolis; miden la tasa de flujo de masa directamente, como la masa no cambia es un medidor lineal. No requiere compensación de temperaturas oscilantes ni de condiciones de presión, es esencialmente útil para medir líquidos con viscosidad variable a las temperaturas y presiones.

- **Sensores de flujo electromagnético:** su funcionamiento se basa en la ley de Faraday, que indica que se inducirá un voltaje cuando un conductor se mueva por medio de un campo magnético. El líquido es el conductor y el campo magnético se crea por bobinas energizadas; el voltaje producido es proporcional al caudal. Se usan cuando se requiere alta calidad en la me-

dición y bajo mantenimiento, aunque son costosos tienen muchísimas ventajas, entre ellas: pueden medir materiales complejos y corrosivos, lodo y medir flujo inverso.

- **Sensores de flujo ultrasónico:** se dividen en sensores Doppler y sensores de tiempo de viaje. Los Doppler miden los cambios de frecuencia causados por el flujo que es proporcional a la velocidad del líquido. Los medidores de tránsito, en un ángulo de 45° con respecto a la dirección del líquido, permiten obtener una relación de diferencia de tiempo que es proporcional al flujo; una limitante de estos es que los líquidos deben estar libres de partículas sólidas o gases que dispersan las señales auditivas. (Hennessy, 2005)

#### i. Sensores de luz, color y visión

Los sensores de luz – fotosensores – se utilizan en gran variedad de aplicaciones, sobre todo en aquellas en las que la detección de luz es un factor importante. Entre estas aplicaciones se mencionan: la medicina, comunicación óptica, monitoreo ambiental, instrumentos de análisis, control industrial, domótica, agricultura, y muchísimas aplicaciones más.

Obagade (2022) explica cómo los fotosensores son dispositivos electro-ópticos que responden a la energía de la luz para cambiar sus características eléctricas de acuerdo al cambio en la intensidad o frecuencia de la luz. Se basan en el principio fotoeléctrico para convertir la energía de la luz en señal eléctrica, que puede ser corriente o voltaje.

Entre los fotosensores más utilizados se encuentran:

- **Fotorresistores:** son resistencias cuyas propiedades cambian a la exposición lumínica, se conocen como LDR (Light Dependent Resistor). Su resistencia cae de mega ohmios ( $M\Omega$ ) a unos pocos ohmios ( $\Omega$ ) bajo la luz brillante; su resistencia disminuye a medida que aumenta el nivel de intensidad de la luz. Se utilizan por su bajo coste, se construyen de sulfuro de cadmio (CdS), seleniuro de cadmio (CdSe), sulfuro de plomo (PbS), seleniuro de plomo (PbSe) y arseniuro de galio (GaAs).
- **Fotodiodo:** son dispositivos de unión PN. Se construyen con una pequeña ventana transparente que permite la incidencia de la luz, reduciendo la zona de depleción. Pueden funcionar en modo fotovoltaico o como fotoconductor.
- **Fototransistor:** es un semiconductor de fotounión que funciona igual que el diodo en polarización inversa. Puede funcionar como amplificador de emisor común o de colector común que pasa de un estado bajo a uno alto con la presencia lumínica. (Obagade, 2022)

En cuanto a los sensores de color, se puede decir que el color de un objeto tiene mucha información; lamentablemente se ve afectado por la radiación de la luz, los reflejos, la posición de la luminaria, la orientación del observador y – en este caso – el rendimiento del sensor. El método estándar para medir el color

es la medición triestímulo, esto se hace por medio de algún instrumento espectrofotométrico. (Xiong, Shen, Yang, Lee, & Wu, 2018)

Los sensores RGB detectan los tres colores primarios – rojo (R), verde (G) y azul (B) – al recibir la luz ambiental mediante un fotodiodo. Cuando un objeto se irradia con la luz, el color de la luz reflejada cambiará en función del color del objeto (ROHM Semiconductor, 2023).

Por lo general, para obtener los valores de triestímulo de color, se requieren al menos tres fotodiodos y los tres filtros correspondientes; esto hace que la estructura y los circuitos de detección se vuelvan complejos y, en consecuencia, costosos. (Xiong, Shen, Yang, Lee, & Wu, 2018)

#### j. Sensores de gas

Los sensores de gas se usan para detectar concentraciones de gases inflamables, explosivos o tóxicos, así como para monitorear la contaminación ambiental. (Nikolic, Milovanovic, Vasiljevic, & Stamenkovic, 2020).

Entre los tipos de sensores de gases más utilizados se mencionan: Sensores catalíticos, sensores electroquímicos, sensores infrarrojos, sensores semiconductores y sensores de ondas acústicas. (Yunusa, Hamidon, Kaiser, & Awang, 2014)

- **Sensores de gas catalíticos:** detectan vapores y gases combustibles; por medio de un pelistor, que es un pequeño filamento de platino recubierto de una base cerámica aluminosa y por una dispersión catalítica de paladio o rodio en sustrato de torio. Esto forma una bobina de alambre que al ser

excitada por un voltaje constante alcanza temperaturas muy altas. Este dispositivo se conecta a una resistencia equilibrada y por medio del principio del puente de Wheatstone, detecta cualquier cambio en la resistencia. Este cambio es interpretado como una señal positiva de la presencia de un gas combustible. (Ríos Arocha, 2013)

- **Sensores electroquímicos:** consta de al menos dos electrodos: uno se conecta a un electrolito y el otro a una corriente eléctrica externa. Los electrodos tienen propiedades catalíticas, permitiendo reacciones químicas que alteran el flujo de electrones. Este tipo de sensores necesitan poca energía por lo cual se consideran muy seguros. (Dräger Safety AG & Co. KGaA, 2009)

- **Sensores infrarrojos:** se utilizan para la detección de hidrocarburos. Funciona con un principio óptico fotométrico; consiste en un cristal piroeléctrico encapsulado que convierte la energía en un voltaje medible. Al contrario de los detectores electroquímicos y catalíticos, los infrarrojos no entran en contacto con los gases a detectar, por lo que son más durables y se prefieren en las aplicaciones de procesos industriales. (Dräger Safety AG & Co. KGaA, 2009)

- **Sensores semiconductores:** incorporan material semiconductor como el silicio y electrolitos sólidos. Se compone de un receptor y un transductor; el receptor contiene un material que, al interactuar con un

- gas, induce un cambio en sus propiedades (función de trabajo, constante dieléctrica, potencial de electrodo, masa, etc.) o emite calor o luz. El transductor transforma dicho efecto en una señal eléctrica (Yamazoe & Shimano, 2020).
- **Sensores acústicos:** utiliza una onda mecánica o acústica. A medida que esta se propaga a través o sobre la superficie del material, cualquier cambio en la ruta de propagación afecta su velocidad y amplitud. Estos cambios se perciben por el cambio en la frecuencia o fase del sensor, y luego se relacionan con la presencia de gas (Yunusa, Hamidon, Kaiser, & Awang, 2014).
- k. Sensores de pH**
- La medición de la acidez de un material es de gran utilidad para conocer las propiedades y características químicas del mismo, con la finalidad de controlar y prevenir las reacciones químicas no deseadas y optimizar las que sean beneficiosas. (Khan, Mukherjee, Shoukat, & Huang, 2017)
- Dirá Khan *et al* (2017), que entre los métodos más utilizados para la detección de acidez (pH) se encuentran los siguientes:
- **Papel tornasol:** compuesto por papel de celulosa de madera y tinte tornasol que se extrae de los líquenes. Este responderá cambiando de color ante la presencia de una base o un ácido. Tiene la gran ventaja de ser un indicador natural y basta con ponerlo en contacto con la solución para determinar si es base, neutro o ácido. (Vedantu.com, 2023)
  - **Sensores ISFET:** se basa en la utilización de un transistor de efecto de campo sensible a iones (ISFET). La compuerta del transistor (gate) se conecta en contacto directo con la solución. Al contar con un electrodo de referencia se tiene la capacidad de proporcionar voltaje polarizado; este electrodo se construye normalmente de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), además cuenta con una capa de aislamiento comúnmente de óxido de tantalio ( $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ). Con el voltaje aplicado al electrodo de referencia se crea la relación entre el drenaje y la fuente del ISFET, con esto se obtiene una corriente dinámica cuando cambia el pH de la solución. (Ma, Peng, Mao, Lin, & Yu, 2022)
  - **Sensores de fibra óptica:** consta de dos partes básicas: la capa sensible al pH y el dispositivo de lectura (medidor de pH). En el medidor se instala un led y un fotodiodo que excitará los compuestos en el sensor, detectando la emisión de luz, que será transmitida por la fibra óptica al indicador. Si el indicador de pH pasa a un estado alto de acidez, se extingue su intensidad lumínica y solo medirá la intensidad del indicador de referencia. Por el contrario, si el pH se vuelve más ácido, el indicador emitirá luz brillante indicando la presencia de acidez. (PyroScience, 2023)
  - **Sensores fluorométricos:** son indicadores de pH fluorescentes que se utilizan para

medir la acidez intercelular. Utiliza las propiedades ópticas de algunos colorantes orgánicos, se prefiere para que reacciones a ácidos débiles que tienen diferentes propiedades espectrales y ópticas (Khan, Mukherjee, Shoukat, & Huang, 2017).

- **Sensores magnetoelásticos:** se fundamenta en la conversión de energías magnéticas y elásticas; se provee un campo eléctrico que se aplica a una bobina que provoca la inducción de campo magnético, el sustrato vibra con una frecuencia determinada, la cual se verá afectada por el cambio en la acidez. La masa del material sensible cambia por la hinchazón o contracción del material, causando un cambio en la frecuencia de la vibración. Así se puede calcular el grado de pH, ya que, si la masa aumenta, la frecuencia de vibración disminuye; igual que si la masa decrece la frecuencia aumentará. (Khan, Mukherjee, Shoukat, & Huang, 2017)
- **Electrodo de vidrio:** se considera que posee las mejores características técnicas de medición de todos los sensores de pH; consta de un electrodo de medición que es una membrana de vidrio muy delgada, fabricada especialmente para medir la acidez. Tiene la capacidad de reaccionar a la humedad de forma que genera una capa muy fina e invisible que contiene agua en la superficie; esa capa se utiliza como barrera selectiva que intercambia iones H<sup>+</sup> con la solución a medir. (Testo Argentina S.A., 2018)

- **Sensores potenciométricos:** interactúa con base a una diferencia de potencial entre un electrodo de referencia y otro de trabajo; se utilizan en aplicaciones clínicas, dermatológicas y biológicas, pues tienen una fuerte afinidad química con la superficie del electrodo durante la etapa de electropolimerización. (Khan, Mukherjee, Shoukat, & Huang, 2017)

## I. Biosensores

Se consideran biosensores a los dispositivos que convierten una respuesta biológica en una señal eléctrica. Funcionan acoplado un elemento de detección biológica con un sistema detector mediante transductores. Es necesaria la presencia de una porción orgánica o biológica que será representada por algo electrónico. (Malhotra, Verma, Tyagi, & Kumar, 2017)

Koyun *et al*, (2012) indican que un biosensor está compuesto por dos elementos básicos:

- Un biorreceptor, que es el elemento biológico (enzima, sonda, anticuerpo, etc.) que entrará en contacto con la muestra, y
- El transductor que convertirá la señal – eminentemente química biológica – en una señal eléctrica, la cual se considera que es directa o inversamente proporcional a la concentración de la sustancia objetivo.

Kharayat (2020), clasifica los biosensores en las siguientes categorías:

1. Biosensores electroquímicos
2. Biosensores óticos o visuales

3. Biosensores de silicio, vidrio y cristal de cuarzo
4. Biosensores basados en nanomateriales
5. Biosensores fluorescentes genéticamente codificados o sintéticos

Es claro que el diseño, desarrollo y utilización de los biosensores relaciona más disciplinas como son la biología, la química, la física y la electrónica; teniendo muchas aplicaciones en ambientes muy diversos y para diferentes propósitos.

#### m. Sensores de corriente

Corona-Ramírez y Abarca-Jiménez (2019), describen el sensor de corriente como aquel que relaciona la corriente eléctrica y el cambio de voltaje. Se utilizan para implementar sistemas de control para conocer el consumo de potencia en un conjunto de circuitos. Los tres grandes principios en los que se basa la construcción de sensores de corriente son: la Ley de Ohm, el efecto Hall y los transformadores; los dos primeros son de mucha utilidad cuando se enfoca en corrientes pequeñas, el tercero – basado en transformadores – se utiliza en aplicaciones industriales, lo que implica grandes niveles de corriente.

- **Sensores basados en la ley de Ohm:** esta ley establece que la caída de voltaje a través de una resistencia es proporcional a la corriente que fluye; tienen como ventaja que son mucho más baratos y mucho más confiables – por la simplicidad de su principio de funcionamiento. (Ziegler, Wood-

ward, Iu, & Borle, 2009)

- **Sensores basados en el efecto Hall:** son sensores en estado sólido; se basa en el efecto Hall que consiste en la conversión de un campo magnético en un voltaje equivalente. Este efecto propone que, si una corriente fluye a través de un conductor con la presencia de un campo magnético, se ejercerá una fuerza transversal que pretende poner en equilibrio el efecto en el campo y con esto se produce voltaje. Este diseño se caracteriza por la alta sensibilidad y bajo ruido; son ideales para ser usados en aplicaciones en las que las formas de onda son pequeñas. (Ikeda & Masuda, 2016)
- **Sensores basados en transformadores:** se utilizan para medir grandes corrientes; el mejor representante de este tipo de sensores es la bobina de Rogowski, que forma un circuito en torno a la corriente a ser medida. El funcionamiento de la bobina se basa en la ley de inducción electromagnética de Faraday. La bobina rodea al conductor creando un campo magnético, induce una FEM cuya magnitud es proporcional a la tasa de cambio de corriente en el conductor. (Unigal, 2023)

### 2.3. Descripción de los diferentes tipos de sensores por su principio de transducción

#### a. Piezorresistivos

La piezorresistividad se define como la relación que existe entre la resistencia eléctrica y la deformación. Por ejemplo, un material en

estado de reposo, sus átomos se encuentran en equilibrio, pero si en un instante dicho material se deforma; los átomos representan un movimiento relativo, modificando su resistividad. (Corona-Ramírez & Abarca-Jiménez, 2019, p. 3)

Los transductores piezorresistivos se basan en la idea que una entrada mecánica, aplicada a una estructura mecánica de algún tipo (una viga, una placa o un diafragma) hará que la estructura experimente tensión mecánica. La deformación resultante hace que cambie la resistencia eléctrica de los piezorresistores, lo que permite utilizar el transductor como dispositivo de detección. (Adams & Layton, 2009)

Recientemente se ha conocido de sensores piezorresistivos construidos en capas de diamante nanocrystalino dopado con boro. Estos se vuelven atractivos debido a su naturaleza piezorresistiva. Las películas de diamante crystalino con biocompatibles y resultan útiles en el campo médico. (Venkatanarayanan & Spain, 2014)

## b. Capacitivos

Los sensores capacitivos se basan en cambios en la capacitancia en respuesta a variaciones físicas. Los sensores capacitivos son dispositivos sin contacto que producen mediciones de alta resolución de la posición y/o cambio de posición; se usan en una amplia variedad de aplicaciones tales como montaje de equipos, unidades de disco, medición de espesor, dispositivos semiconductores, mecanizado y,

en algunos casos, en mediciones de densidad. Para citar un ejemplo, los micrófonos capacitivos detectan las variaciones de espacio entre las placas como consecuencia de la presión acústica, con esto convierten las señales audibles en variaciones de capacitancia. (Eren, *Capacitive sensors: displacement, humidity, force*, 2014)

Morris y Langary (2012) explican que los sensores capacitivos constan de dos placas metálicas paralelas en las que el dieléctrico entre las placas es aire o algún otro medio. La distancia entre las placas puede ser fija o variable; los dispositivos capacitivos en los que la distancia entre placas es variable se utilizan principalmente como sensores de desplazamiento. El movimiento de la placa capacitiva móvil en relación con una fija cambia la capacitancia. Cuando la distancia entre las placas es fija, la variación de la capacitancia se logra cambiando la constante dieléctrica del material entre las placas, la capacitancia en este tipo de sensores queda definida por:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

Entre las aplicaciones se pueden mencionar el sensor de humedad capacitivo y el sensor de nivel de líquido (aplicación con distancia fija); en este último, el dieléctrico es en parte aire y en parte líquido según el nivel del líquido en el que se inserta el dispositivo. (Morris & Langary, 2012)

### c. Piezoeléctricos

El efecto piezoeléctrico es la generación de carga eléctrica por un material cristalino al someterlo a tensión. El efecto existe en los cristales naturales, como el cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) y las cerámicas artificiales polarizadas y algunos polímeros, como el PVDF. A diferencia de la piezorresistividad que se manifiesta por el cambio de una resistencia cuando se presiona; la piezoelectricidad se manifiesta por una carga eléctrica en la superficie en respuesta a la presión. (Fraden, 2016)

Las propiedades piezoeléctricas se clasifican en inversas y directas, se utilizan mucho en transductores electromecánicos; estos convierten la energía eléctrica en mecánica y viceversa. Al ser usado en modo pasivo, solo recibe señales por lo que las propiedades piezoeléctricas directas del material se utilizan para obtener un voltaje de estrés externo. Algunas aplicaciones de esta construcción son los hidrófonos, micrófonos, pastillas de fonógrafo, encendedores de gas, medidores de tensión dinámicos y sensores de vibración. (Safari, Janas, Bandyopadhyay, & Kholkin, 2014)

### d. Ultrasónicos

Los sensores ultrasónicos son sensores que convierten señales ultrasónicas en otras señales de energía (generalmente señales eléctricas). El ultrasonido es una onda mecánica con una frecuencia de vibración superior a 20 KHz. Tiene las características de alta frecuencia, longitud de onda corta, pequeño fe-

nómeno de difracción, especialmente buena directividad, que puede convertirse en rayos y propagarse direccionalmente. El ultrasonido tiene una gran capacidad para penetrar líquidos y sólidos, especialmente en sólidos que son opacos a la luz solar. Cuando la onda ultrasónica golpea la impureza o la interfaz, producirá un reflejo significativo para formar un eco y puede producir un efecto Doppler cuando golpea un objeto en movimiento. (Hunan Rika Electronic Tech. Co., Ltd, 2021)

Entre los transductores ultrasónicos se mencionan:

Transductores duales: se construye de dos cristales alojados en el mismo compartimento, aunque separados por una barrera acústica, uno de los cristales genera ondas sonoras y el otro actuará como receptor, la transmisión y la recepción se cruzan en “v” creando un efecto de pseudoenfoco que mejora la resolución focal.

- **Transductores de contacto:** se utiliza en mediciones que implican contacto directo, se recomienda mucho para usos industriales, en la medición de espesores, detección de delaminaciones, inspección de placas, y también para la medición de velocidad.
- **Transductor de haz angular:** consta de un solo elemento con cuña, genera una onda transversal refractada. Este se recomienda para probar la integridad de soldaduras y para la detección y dimensionamiento de grietas.

- **Transductor de línea de retardo:** se diseñó para ser usado con un retraso de tiempo en la generación de la onda de sonido, así como en la recepción de las ondas reflejadas, esto ayuda a mejorar la resolución en contacto con la superficie. Se utiliza para medir materiales delgados, inspeccionar pequeños defectos al contacto directo y para aplicaciones de altas temperaturas.
- **Transductor de inmersión:** ha sido diseñado para operar bajo el agua, permite un acoplamiento uniforme y rápido para el escaneo rápido de piezas. Se usan para detección de fallas a alta velocidad, análisis de materiales y pruebas de transmisión directa. (Chandler, 2023)

#### e. Magnéticos

Los sensores magnéticos son dispositivos de conversión de energía que fundamentan su funcionamiento en campos magnéticos estáticos, transitorios o de baja frecuencia. La entrada principal de un sensor magnético puede ser un parámetro mecánico como la posición o la velocidad, aunque probablemente necesite una energía de entrada eléctrica y/o magnética. La energía de entrada se convierte en energía de campo magnético y su salida será una señal eléctrica. (Brauer, 2014)

Hoy en día, el sensor magnético con la mayor sensibilidad es el dispositivo superconductor de interferencia cuántica (SQUID). Este sensor consta de un anillo superconductor, y uno o dos contactos Josephson. Otro sensor

magnético se basa en el principio “fluxgate” – compuerta de flujo – que consta de un núcleo magnético suave, rodeado por una bobina de excitación y detección. Mientras que la bobina de excitación conduce periódicamente al núcleo a la saturación. El componente de campo en la dirección del núcleo se puede medir con la señal de salida de la bobina de detección. Además, existen los sensores magnetorresistivos que cambian su resistencia eléctrica bajo la influencia de un campo magnético. (Husstedt, Ausserlechner, & Kaltenbacher, 2012)

Brauer, enumera las aplicaciones más comunes de sensores magnéticos:

- Sensores de proximidad para determinar la presencia y ubicación de objetos
- Micrófonos que detectan el movimiento del aire (ondas de sonido).
- Transformadores diferenciales variables lineales para determinar la posición del objeto.
- Sensores de velocidad para frenos antibloqueo y control de estabilidad en automóviles.
- Sensores de posición o velocidad de efecto Hall.
- Sensores magnetorresistivos de posición o de campo. (2014)

#### f. Fotoeléctricos

Los sensores fotoeléctricos detectan objetos, cambios en las condiciones de la superficie y

otros elementos a través de una variedad de propiedades ópticas. Consta de un emisor y un receptor de luz. Cuando la luz emitida es interrumpida o reflejada por el objeto de detección; cambia la cantidad de luz que llega al receptor al ser detectado lo convierte en una salida eléctrica. La fuente de luz para la mayoría de los sensores fotoeléctricos es la luz infrarroja o visible (generalmente en la gama RGB). (OMRON Corporation, 2023)

Esta fuente de luz en el emisor es un LED modulado resistente a las vibraciones. Este haz se enciende con altas corrientes durante intervalos de tiempo breves, para generar un pulso de alta energía y proporcionar largas distancias de exploración o penetración en entornos severos. La pulsación implica un bajo consumo de energía. (Cano Muñoz, 2005)

Indica Cano-Muñoz (2005), que el receptor contiene un fototransistor que produce una señal cuando la luz incide sobre él. El fototransistor tiene una buena coincidencia espectral con el LED, una respuesta rápida, estabilidad a temperaturas variadas y un amplio rechazo al ruido.

### g. Electroquímicos

Una definición de sensores electroquímicos es proporcionada por Wen (2016):

Es un analizador que responde a un analito en particular de manera selectiva y reversible y transforma la cantidad química de entrada, que va desde la concentración de un

componente de muestra específico hasta un análisis de composición total, en una señal eléctrica analítica. La información química puede originarse a partir de una reacción química por un biomaterial, un compuesto químico o una combinación de ambos adheridos a la superficie de un transductor físico hacia el analito. (párr. 1)

Vetelino y Reghu (2011), indican que los sensores electroquímicos se pueden dividir en tres tipos generales:

- **Conductimétricos:** que son aquellos cuya respuesta se relaciona con la medida de resistencia eléctrica, impedancia o admitancia.
- **Potenciométrico:** son aquellos que se relacionan con la medición de voltaje.
- **Amperométrico:** se fundamenta en la medición de corriente eléctrica.

Estos sensores responden básicamente a un entorno químico. Este entorno químico puede incluir un mensurando, que puede estar en una fase líquida, gaseosa o sólida. Los mensurados típicos pueden incluir compuestos químicos como gases ( $O_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ , etc.), protones (pH), humedad o cantidades biológicas como glucosa, colesterol, enzimas, anticuerpos, proteínas, etc. Es importante resaltar que, dado que hay una gran cantidad de aplicaciones biológicas para estos sensores en humanos, animales y plantas, los investigadores que trabajan en

los campos de la biología y la medicina a menudo se refieren a estos sensores como sensores bioelectroquímicos. (Vetelino & Reghu, 2011)

## 2.4 Resumen de las categorías de sensores

### Figura 2

Resumen de las categorías de sensores

Sensores			
Tipo de variable medida	Posición	Velocidad	
	Nivel	Aceleración	
	Humedad		
	Temperatura		
	Fuerza y deformación		
	Flujo y presión		
	Luz, color y visión		
	Gas		
	pH		
	Biosensores		
Corriente		Ley de Ohm	
		Efecto Hall	
		Transformadores	
Principio de transducción	Piezorresistivos		
	Capacitivos		
	Piezoeléctricos		
	Ultrasónicos		Duales
			De contacto
			Haz angular
		Línea de retardo	
		Inmersión	

## 3. Conclusiones

La medición y cuantificación de los fenómenos físicos se ha actualizado por medio de la aplicación de componentes especializados

que le otorgan “precisión” y “exactitud”; sirven para este propósito los sensores, que captan de la realidad las magnitudes que pueden ser fácilmente dimensionadas por medio de técnicas y procesos informáticos.

Existen muchas visiones y principios a partir de los cuales se establece un estudio y categorización de los sensores. En este caso se presenta un ordenamiento que parte de: la variable física captada entre los cuáles se ubican (posición, nivel, humedad, temperatura, fuerza, etc.); y por el tipo de transductor utilizado. El transductor se constituye el medio por el cual los sensores entran en contacto con las realidades medibles; son el mecanismo perfecto para relacionarse con las magnitudes físicas y – al ser constitutivos de los sensores híbridos – aportan la información útil. Esto evidencia un universo de posibilidades para la construcción de sensores; entre estos transductores se encuentran: potenciómetros, acelerómetros piezoeléctricos, rayos láser, diapasones, prismas ópticos, capacitores, termistores, reflectómetros, diodos térmicos, anemómetros térmicos, caudalímetros, fotorresistencias, fotodiodos, fototransistores, pelistores, etc. Un sinfín de posibilidades que al ser utilizados brindan información útil sin la intervención, sesgos y/o interpretaciones humanas.

La actualización tecnológica implica, ineludiblemente, la utilización de sensores; su conocimiento, profundización y estudio trasciende la teorización, conceptualización y caracterización; son un desafío para los especialistas de la ciencia y la tecnología. Por ello es necesario profundizar en su conocimiento y proponer estrategias de aplicabilidad para que la academia desarrolle competencias de construcción, replicación, adaptación y utilización de este recurso tan valioso e importante.

Queda en evidencia que el presente documento apenas resulta un micro esbozo de los conceptos fundamentales de los sensores. La información técnica sobre ellos es tan profunda y extensa, que cada una de las clasificaciones y los sensores mismos necesitan ser estudiados a profundidad y presentada a detalle. Un estudio como el que se presenta está limitado ante la ingente cantidad de data que existe acerca de los sensores; será pertinente, necesario y urgente, desarrollar otras investigaciones enfocadas a la especialización de cada uno de los sensores para lograr conocimiento específico y comprensible de su funcionamiento y construcción.

Se advierte un reto académico para incorporar la temática en las carreras y asignaturas correspondientes, con la finalidad de ampliar el conocimiento conceptual, teórico y práctico sobre la operabilidad; comportamiento y funcionalidad de los sensores en áreas concretas de la salud, la agricultura y la ingeniería. La profundización implicará el respaldo matemático-físico y técnico de cómo los sensores realizan la tarea de medición, qué es específicamente lo que capta un sensor, cómo se establece la comunicación para proporcionar la medida captada, y cuáles son los componentes estructurales que hacen posible la cuantificación del fenómeno al que se está aproximando.

Con el presente documento se consiguió una aproximación documental que necesita evolucionar hacia una realidad práctica, con esto se lograría especializar y focalizar el conocimiento

to. Para lograr esta tarea será necesario segmentar el objeto de estudio. Esta segmentación puede atender a cualquiera de las perspectivas que se han realizado en este documento para conceptualizar los sensores; puede fraccionarse el estudio por la variable física medida o por el instrumento de transducción utilizado. Cualquiera que sea la categoría seleccionada, implicará llegar a la especificidad de un sensor, permitiéndose mayor detalle y profundidad en su comportamiento, estructura y funcionalidad y ampliaría mucho más las técnicas que relaciona aplicabilidad, uso y construcción.

#### 4. Referencias

- Abac-de-León, J. A. (2015). *Propuesta de aplicaciones de sensores para la industria y características de los sensores*. [Trabajo de Graduación]. Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Adams, T. M. & Layton, R. A. (2009). Piezoresistive transducers. En T. M. Adams, & R. A. Layton, *Introductory MEMS*. doi:[https://doi.org/10.1007/978-0-387-09511-0\\_8](https://doi.org/10.1007/978-0-387-09511-0_8)
- Aguirre-Porturas, Í.; Saenz, M. C. & Oleagordia Aguirre, Í. J. (2006). Sensores Inteligentes: Estado del Arte. *XIII Seminario Anual de Automática, Electrónica industrial e instrumentación SAAEI2006*.
- Allied Electronics, Inc. (2016). *thinkallied.com*. Recuperado el 19 de enero de 2023, de [us.rs-online.com](http://us.rs-online.com)
- Aszkler, C. (2005). Acceleration, shock and vibration sensors. En J. Wilson, *Sensor Technology Handbook* (págs. 137-159). Newnes.
- Brauer, J. R. (2014). *Magnetic actuators and sensors*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Brundi, D. (2014). Level Measurement. En J. G. Webster, & H. Eren, *Measurement, instrumentation, and sensors handbook* (págs. 18-1 - 18-18).
- Cadence Design Systems. (2023). *Cadence System Analysis*. Recuperado el 21 de marzo de 2023, de <https://resources.system-analysis.cadence.com>
- Cano-Muñoz, A. (2005). Position and Motion Sensors. En J. Wilson, *Sensor Technology Handbook*. Newnes.
- Chandler, R. (2023). *Olympus*. Recuperado el 06 de marzo de 2023, de [www.olympus-ims.com](http://www.olympus-ims.com)
- Corona-Ramírez, L. G. & Abarca-Jiménez, G. S. (2019). *Sensores y actuadores: Aplicaciones con Arduino* (Segunda ed.). Grupo Editorial Patria. Obtenido de <https://elibro.net/es/ereader/unicaes/121284>

- Dräger Safety AG & Co. KGaA. (2009). *Introducción a los sistemas de detección de gases*. Madrid. Obtenido de [www.draeger.com](http://www.draeger.com)
- Edwards, E. (2023). *Thomas for industry*. Recuperado el 10 de enero de 2023, de <https://www.thomasnet.com>
- Eren, H. (2005). Sensors. En R. C. Dorf, *The Engineering handbook* (págs. 158-1 - 158-31).
- Eren, H. (2014). Accelerations, vibration, and shock measurement. En J. Webster, & H. Eren, *Measurement, instrumentation, and sensors handbook* (págs. 36-1 - 36-34).
- Eren, H. (2014). Capacitive sensors: displacement, humidity, force. En J. G. Webster, *Measurement, instrumentation and sensors handbook*.
- Eren, H. (2014). Measurements, Instrumentation and Sensors. En J. G. Webster, & H. Eren, *Measurement, instrumentation and sensors handbook*.
- Fontes, J. (2005). Humidity Sensors. En J. Wilson, *Sensor Technology Handbook*.
- Fontes, J. (2005). Temperature sensors. En J. Wilson, *Sensor Technology Handbook*.
- Fraden, J. (2016). *Handbook of Modern Sensors. Physics, Designs, and Applications*. Springer. doi:10.1007/978-3-319-19303-8
- Harman, G. (2005). Piezoresistive pressure sensing. En J. Wilson, *Sensor technology* (págs. 411-432). Newnes.
- Hennessy, W. (2005). Flow and level Sensors. En J. Wilson, *Sensor Technology handbook*.
- Hunan Rika Electronic Tech. Co., Ltd. (2021). *Rika Sensors*. Recuperado el 16 de marzo de 2023, de [www.rikasensor.com](http://www.rikasensor.com)
- Husstedt, H.; Ausserlechner, U. & Kaltenbacher, M. (2012). Accurate scanning of magnetic fields. En K. Iniewski, *Optical, acoustic, magnetic and mechanical sensor technologies* (págs. 213-241). Boca Raton: CRC Press.
- Ikeda, K. & Masuda, H. (2016). Tecnología en sensores de corriente altamente estables, alta precisión y banda ancha. *Instrumentos de Medida*.
- Industrial Quick Search. (2023). *Force Sensors*. Recuperado el 23 de enero de 2023, de IQS Directory: <https://www.iqsdirectory.com/articles/load-cell/force-sensors.html>
- Jain, P. (2023). *Engineers Garage*. Recuperado el 10 de enero de 2023, de <https://www.engineersgarage.com/position-sensor-types-of-position-sensor/>
- Kenny, T. (2005). Sensors Fundamentals. En J. Wilson, *Sensor technology handbook*. Newnes.

- Khan, M.; Mukherjee, K.; Shoukat, R. & Huang, D. (2017). A review on pH sensitive materials for sensors and detection methods. *Microsystem Technologies*, 23, 34–38. doi:10.1007/s00542-017-3495-5
- Kharayat, B. (2020). Biosensors and its applications. *Just Agriculture, the future of agri innovation*, 1(1), 93-99. www.justagriculture.in
- Koyun, A.; Ahlatcioglu-Özerol, E. & İpek, Y. (2012). Biosensors and their principles. En *A Roadmap of Biomedical Engineers and Milestones* (págs. 115-142). doi:10.5772/48824
- Ma, X.; Peng, R.; Mao, W.; Lin, Y. & Yu, H. (2022). Recent advances in ion-sensitive field-effect transistor for biosensing applications. *Electrochemical Science Advances*. doi:https://doi.org/10.1002/elsa.202100163
- Malhotra, S.; Verma, A.; Tyagi, N. & Kumar, V. (2017). Biosensors: principle, types and applications. *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education*, 3(2), 3639-3644.
- Maxim integrated. (2017). *maximintegrated.com*. Recuperado el 22 de enero de 2023, de maximintegrated.com
- Morris, A. S. & Langari, R. (2012). *Measurement and Instrumentation*. Theory and application. Academic Press.
- Nikolic, M. V.; Milovanovic, V.; Vasiljevic, Z. Z. & Stamenkovic, Z. (2020). Semiconductor gas sensors: material, technology, desing and application. *Sensors*, 20(22). doi:https://doi.org/10.3390/s20226694
- Obagade, T. A. (2022). Comparative analysis of photoelectric characteristic of photosensor: a case of study between photoresistor, photodiode and phototransistor. *IOSR Journal of Applied Physics*, 14(3), 1-12. doi:10.9790/4861-1403020112
- OMRON Corporation. (2023). *OMRON Industrial Automation*. Recuperado el 15 de enero de 2023, de https://www.ia.omron.com/support/guide/43/introduction.html
- Patel, B.; Sinha, G. & Goel, N. (2020). *Advances in Modern Sensors*. doi:10.1088/978-0-7503-2707-7ch1
- Pinney, C. P. & Baker, W. E. (2014). Velocity Measurement. En J. G. Webster, & H. Eren, *Measurement, instrumentation, and Sensors Handbook* (págs. 31-1 - 31-13).
- PyroScience. (2023). *PyroScience Sensor technology*. Recuperado el 2 de marzo de 2023, de https://www.pyroscience.com
- Ríos-Arocha, E. F. (2013). *Sensores Catalíticos*. Universidad especializada de las Américas.

- ROHM Semiconductor. (2023). *Rohm.com*. Recuperado el 01 de febrero de 2023, de <https://www.rohm.com/>
- Safari, A.; Janas, V. F.; Bandyopadhyay, A. & Kholkina, A. (2014). Piezoelectric sensors and transducers. En J. Webster, & H. Eren, *Measurement, instrumentation and sensors handbook*. CRC Press.
- Sample, D.; James, O. J.; Jeb, F. & Barlow, S. (2016). *Understanding soil moisture sensors: A fact sheet for irrigation professionals in Virginia*. doi:10.13140/RG.2.2.33633.51048
- Sensorland.com. (2023). *sensorland*. Recuperado el 11 de enero de 2023, de <https://www.sensorland.com/HowPage024.html>
- Soloman, S. (2010). *Sensors Handbook*. McGraw Hill.
- Sumi, P. P. & Thangavel, R. (2017). A survey on force sensors and its applications. *International Journal of Advance research in Science and engineering*, 6(1), 61-69.
- Testo Argentina S.A. (2018). *Academia Testo*. Recuperado el 05 de marzo de 2023, de [acadmiatesto.com.ar](http://acadmiatesto.com.ar)
- Toa, M. & Whitehead, A. (2021). *www.ti.com*. (T. Instrument, Ed.) Obtenido de <https://www.ti.com>
- Unigal. (2023). *Concepto de bobina de Rogowski y su funcionamiento*. Recuperado el 16 de marzo de 2023, de [unigal.mx](http://unigal.mx)
- Variohm Eurosensor Ltd. (2019). *Variohm Eurosensor*. Recuperado el 16 de 01 de 2023, de <https://www.variohm.com/>
- Vedantu.com. (2023). *Vedantu*. Recuperado el 01 de marzo de 2023, de [Vedantu.com](http://Vedantu.com)
- Venkatarayanan, A. & Spain, E. (2014). Review of recent developments in sensing materials. *Comprehensive materials processing*, 47-101. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.01303-0>
- Vetelino, J. & Reghu, A. (2011). *Introduction to sensors*. CRC Press.
- Walt, K. (2005). Sensor Systems. En J. Wilson, *Sensor Technology* (págs. 15-20).
- Wen, W. (2016). Introductory Chapter: What is chemical sensor? En *P.i. Sensors*. doi:10.5772/64626
- Xiong, N. N.; Shen, Y.; Yang, K.; Lee, C. & Wu, C. (2018). Color sensors and their applications based on real-time color image segmentation for cyber physical systems. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 1-16. doi:<https://doi.org/10.1186/s13640-018-0258-x>
- Yamazoe, N. & Shimanoe, K. (2020). Semiconductor gas sensors. En *R. Jaaniso, & O. K. Tan*.



- Yunusa, Z.; Hamidon, M. N.; Kaiser, A. & Awang, Z. (2014). Gas Sensors: A Review. 168. 61-75. *Sensors and Transducers*, 168(4), 61-75. Obtenido de [www.sensorsportal.com](http://www.sensorsportal.com)
- Ziegler, S.; Woodward, R.; Iu, H. & Borle, L. (2009). Current sensing techniques: A review. *Sensors Journal, IEEE*, 354-376. doi:10.1109/JSEN.2009.2013914