

Sensores y acondicionadores de señal.

Caso práctico

Adrián trabaja en una empresa de montajes eléctricos industriales y ha decidido matricularse en el Ciclo Formativo de Gestión del Agua de la FPaD (Formación Profesional a Distancia) ya que abandonó sus estudios al finalizar bachillerato porque le apetecía trabajar. Ahora busca obtener una titulación aprovechando los conocimientos adquiridos de su experiencia laboral.

Tamara es una estudiante del Ciclo Formativo de Automatización y Robótica Industrial, que realizó el módulo de Formación en Centros de Trabajo en una consultoría de ingeniería, al finalizar sus estudios la contrataron debido a que consiguieron un "gran proyecto".

El proyecto que han encargado al estudio en el que trabaja **Tamara** tiene como objeto la actualización de los equipos de medida y la elaboración de un nuevo SCADA para el control de una planta potabilizadora de agua, procedente de un manantial, para el abastecimiento de un ayuntamiento.

Tamara y **Adrián** son amigos, se conocieron en el instituto y ahora van a estudiar juntos de nuevo, pero esta vez a distancia, para adquirir conocimientos en las tecnologías de Gestión del Agua y así poder ser más resolutivos en sus respectivos trabajos.

Tamara, como ya tiene cierta experiencia en la gestión de proyectos, será una de las responsables de coordinar a los diversos suministradores que se subcontraten desde su empresa para poder llevar a cabo el proyecto, ya que en éste deberán participar empresas con conocimientos en diversas tecnologías.



En cualquier proceso de control y regulación es necesario medir magnitudes físicas, químicas o biológicas. Esta medición será procesada y convertida en señal eléctrica (fácilmente tratable). De todo esto surgen los sensores, transductores, acondicionadores y transmisores.

SENSOR

Elemento que se encuentra en contacto directo con el proceso a medir. Convierte la magnitud física a medir en otra (eléctrica o no) que posteriormente el transductor es capaz de convertir en una señal susceptible de medida.

La señal física puede ser temperatura, caudal, nivel, velocidad, aceleración, fuerza, etc. La señal del sensor puede ser tensión, intensidad, resistencia, tiempo, frecuencia, etc.



Sensor



Sonda

Licencia: [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Los sensores suelen estar protegidos por vainas metálicas a la que se le pone unos bornes de conexión. Este conjunto se llama **sonda**.

ACONDICIONADOR

Debido a que la señal de salida del sensor, normalmente, no tiene las características apropiadas para su medida directa, se adecua la señal por medio de un acondicionador (amplificación, conversión, linealización, filtraje, compensación de perturbaciones, etc.). Esto se realiza con Amplificadores Operacionales (A.O.).

El acondicionador convierte la señal del sensor en una señal de tensión o intensidad normalizada. Señal normalizada de tensión es la de 0 a 10V. Señal normalizada de intensidad es la de 4 a 20mA. Estas son las más utilizadas, pero nos podemos encontrar con otras.



Licencia: [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



[Ministerio de Educación y Formación Profesional](#). (Dominio público)

Materiales formativos de FP Online propiedad del Ministerio de Educación y Formación Profesional.

[Aviso Legal](#)

1.- Características de los sensores

Caso práctico

Adrián: "¿Para qué vamos a proyectar el sistema de control de la planta?"

Tamara: "Para supervisar los parámetros básicos del proceso de la potabilizadora."

Adrián: "Entonces tendremos que medir muchas variables."

Tamara: "En efecto, lo primero que tenemos que hacer es medir."

El comportamiento de un sensor o un acondicionador se refleja en las hojas de características que da el fabricante. Entre las características más importantes podemos destacar las siguientes:

Campo de medida

Conjunto de valores de la magnitud medida para los que da señal de salida el dispositivo con una cierta precisión.

Alcance (span)

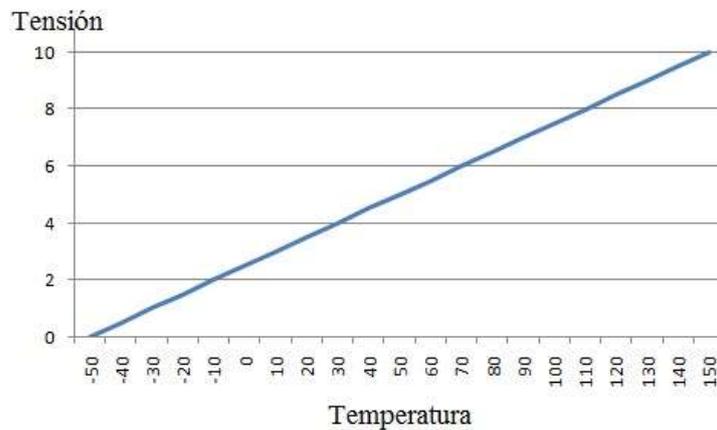
Es la diferencia entre los valores máximo y mínimo del campo de medida.

Sensibilidad

Es la relación entre el incremento producido a la salida del dispositivo y el incremento de la magnitud aplicado a la entrada. Si el sensor es lineal, su sensibilidad será constante en todo su campo de medida. Si no lo es, su sensibilidad dependerá del punto donde se esté efectuando la medida.

Curva característica

Es la representación gráfica que relaciona la señal obtenida a la salida en función de la magnitud de entrada. Lo ideal es que sea una línea recta (comportamiento lineal) dentro de todo el campo de medida. Sin embargo, la mayoría de los sensores disponibles tienen un comportamiento no lineal en mayor o menor medida.



Licencia: [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Resolución

Es la mínima variación detectable (a la salida) de la magnitud de entrada.

Error de medida

Se define como la razón entre el error total y el rango completo de medida. Se suele expresar en tanto por ciento. El error total es la diferencia entre el valor leído y el valor real.

Existen errores no atribuibles al transductor, denominados errores sistemáticos. Se pueden producir por vibraciones, caídas de tensión de alimentación, errores en la instalación, errores en la calibración, etc.

Existen otro tipo de errores, los cuales dependen del comportamiento del transductor tales como:

Error de cero (offset): se produce cuando la magnitud a medir es nula y la señal proporcionada por el transductor no lo es.

Error de linealidad: cuando la curva característica no es una línea recta.

Error de Histéresis: ocurre cuando la característica del transductor, obtenida dando valores crecientes no coincide con la obtenida dando valores decrecientes.

Error de Repetibilidad: cuando en un transductor se realiza una misma medida múltiples veces, en iguales condiciones, puede ocurrir que la señal de salida del mismo sea diferente.

Precisión (Error combinado): es el valor cuadrático medio de los errores de linealidad, histéresis y repetibilidad. Se mide en tanto por ciento sobre el fondo de escala.

$$\text{Precisión} = \sqrt{(\text{Error de linealidad})^2 + (\text{Histéresis})^2 + (\text{Repetibilidad})^2}$$

Respuesta temporal

Es interesante especificar la respuesta temporal del transductor a un escalón. Nos da una idea de cuanto tiempo le cuesta al transductor medir bien la magnitud física.

Condiciones de trabajo

Es necesario especificar las condiciones de trabajo de un transductor tales como humedad, vibraciones, ruido, interferencias electromagnéticas, temperaturas, presiones, etc., para su correcto funcionamiento.

Ejercicio Resuelto

Mirar en Internet las características de sensor de presión **mpx 2200ap** y deducir las siguientes características:

- ✓ Campo de medida;
- ✓ Alcance;
- ✓ Sensibilidad;
- ✓ Curva característica;
- ✓ Error de linealidad;
- ✓ Histéresis por variación de presión;
- ✓ Salida deseada;
- ✓ Tiempo de respuesta;
- ✓ Condiciones de trabajo.

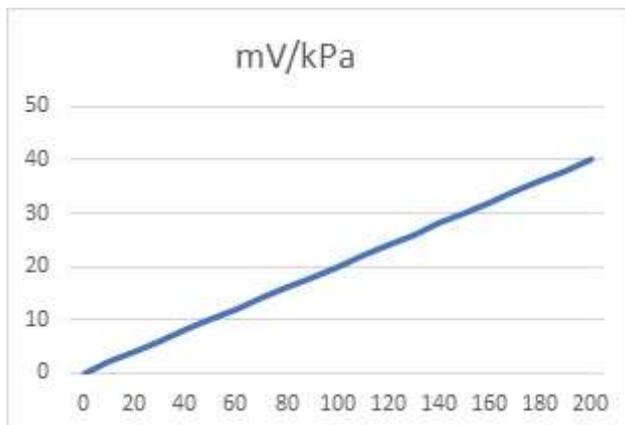
Mostrar retroalimentación

Campo de medida: 0 a 200 Kilopascales

Alcance (span): 200 kPa

Sensibilidad: 0.2 mV/kPa

Curva característica:



Licencia: [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Error de linealidad: $\pm 0,25$ %VFSS

Error de Histéresis: $\pm 0,1$ %VFSS

Tiempo de respuesta: 1 mSeg

Condiciones de trabajo: Presión máxima 800 kPa, Temperatura entre -40 y 125°C

2.- Efectos físicos utilizados en los transductores

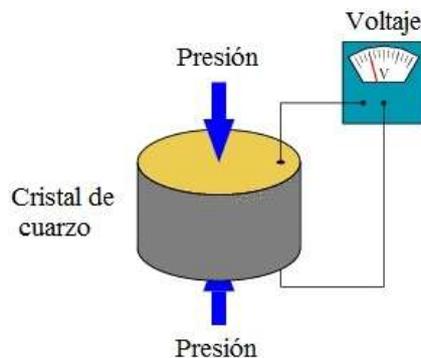
Caso práctico

Tamara: ¿Recuerdas en qué se basan los diferentes sensores para captar las diferentes magnitudes físicas?. No estaría mal dar un repaso a estas nociones básicas, para tener una idea del funcionamiento interno de los mismos.

Adrián: Si, nos vendrá bien conocer su funcionamiento interno.

EFECTO PIEZOELECTRICO

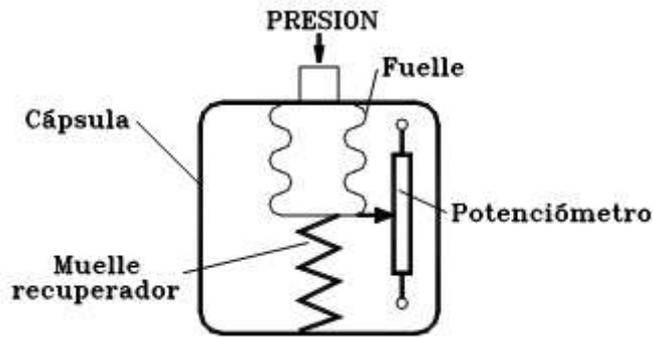
A determinados cristales sometidos a una presión, experimentan un cambio en su estructura cristalina que modifica su distribución de carga, manifestándose externamente como una tensión eléctrica.



Licencia: [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

EFECTO RESISTIVO

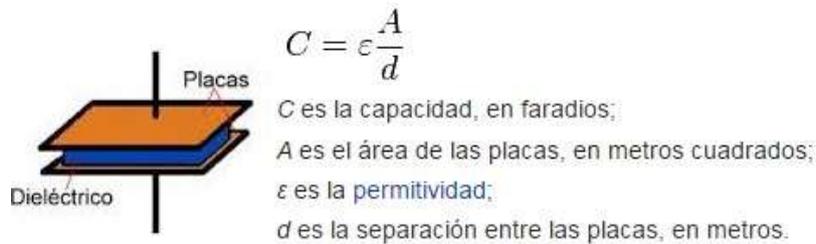
La resistencia eléctrica (R) de un material conductor es directamente proporcional a su longitud y su resistividad e inversamente proporcional a su sección. Por lo tanto, si a un conductor le aplicamos una fuerza sufre variaciones en sus dimensiones (longitud y sección) y por tanto en su resistencia.



Licencia: [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

EFFECTO CAPACITIVO

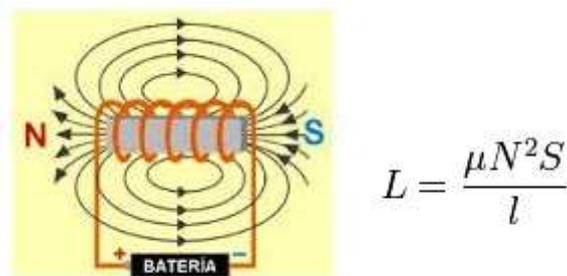
La capacidad de un condensador (C) depende de las dimensiones del mismo y del material dieléctrico entre sus placas. Si se hace variar alguna de estas características en función de alguna medida se obtienen diferentes capacidades (efecto capacitivo).



Licencia: [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

EFFECTO INDUCTIVO

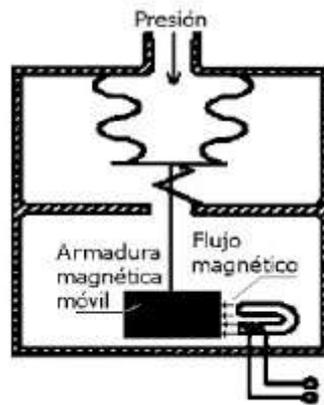
El coeficiente de autoinducción de una bobina (L) depende de su forma constructiva y de la naturaleza del núcleo. Si hacemos que éste cambie de posición en función de la medida tomada, cambiará el valor de L.



Licencia: [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

EFFECTO RELUCTIVO

La reluctancia es la “Resistencia” al paso del campo magnético en un circuito magnético. Si alguna magnitud física hace variar la reluctancia, este cambio de magnitud se puede cuantificar en función del cambio de la reluctancia.



Licencia: [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

EFECTO FOTOVOLTAICO

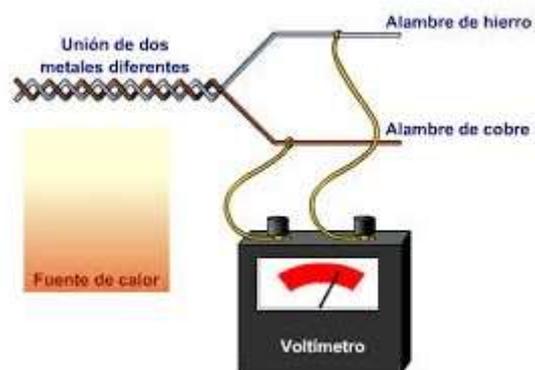
Ciertos materiales semiconductores sensibles a la luz son capaces de cambiar sus condiciones eléctricas en función de la radiación incidente (fotodiodos y fototransistores).



[Mcmartin](#) (Dominio público)

EFECTO TERMOELECTRICO

Si la unión de dos materiales metálicos distintos se calientan, se genera en los extremos del mismo una tensión que es proporcional a la temperatura.

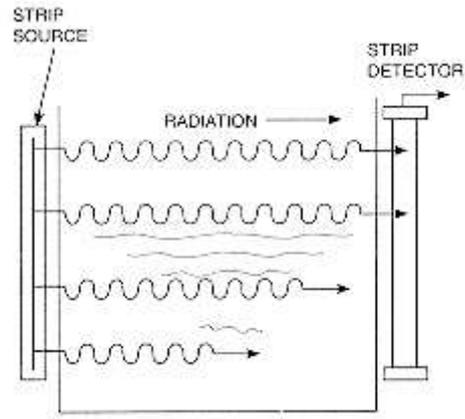


[Luis María Benítez](#) (CC BY-SA)

EFECTO RADIATIVO

Existen materiales (naturales o artificiales) que emiten radiación (a, b y g). Ésta radiación se puede medir con un detector radiactivo y si entre éste y el emisor se coloca un objeto, se produce una absorción de radiación por parte del objeto. Estudiando esta absorción de radiación se pueden determinar características del objeto (nivel, grosor, composición, humedad, etc.).

Estos sistemas trabajan con muy bajas radiaciones para no perjudicar la salud.



Licencia: [CC BY-NC-SA](#)

Citas Para Pensar

"Mide lo que sea medible y haz medible lo que no lo sea." *Galileo Galilei*

"Toda magnitud que se pueda medir, se podrá controlar."

3.- Sensores de temperatura

Caso práctico

Tamara: Debemos revisar los sensores de temperatura, algunos de ellos dan medidas con errores apreciables.

Adrián: Si, tendremos que ir con un aparato fiable y comprobar los resultados, aquellos que no midan bien, deberán ser sustituidos, para ello, deberemos conocer sus características, para adaptarlos al proceso de medida.

¿Crees que la temperatura es una variable importante en los procesos industriales? ¿Cómo podemos medirla y registrar en nuestros equipos de control? Pues efectivamente, la temperatura es una de las magnitudes que más se controla en los procesos industriales. Por ello, existen gran cantidad de tipos de sensores para monitorizar la temperatura. Su principio de funcionamiento varía de unos a otros. Los más habituales son los siguientes:

- **Termómetros bimetalicos:** están formados por dos metales con distinto coeficiente de dilatación térmico unidos firmemente y sometidos a la misma temperatura. Al cambiar la temperatura, la pieza se deformará según un arco circular uniforme. Esta deformación se aprovecha para medir la temperatura. El rango de aplicación típico es de 0 a 300°C.
Termómetros resistivos: estos dispositivos se suelen denominar RTD. Proporcionan lecturas muy precisas de la temperatura, generalmente inferiores a 0,1°C. Su funcionamiento se basa en la variación de la resistencia con la temperatura. El sensor suele ser una espira de diámetro muy pequeño construida en platino, níquel o cobre.
- **Termistores:** son resistencias que varían su valor en función de la temperatura. A diferencia de los termómetros resistivos, construidos con metales, los termistores se construyen con materiales cerámicos semiconductores. Dependiendo de estos materiales, se clasifican en PTC (coeficiente de variación positivo) o NTC (coeficiente de variación negativo).
- **Termopares:** es el más utilizado por su simplicidad, versatilidad y facilidad de uso. Es un sensor generador formado por dos conductores distintos termoeléctricamente. El principio de funcionamiento se basa en el efecto Seebeck, se produce una diferencia de potencial entre los dos conductores distintos sometidos a la temperatura.
- **Uniones semiconductoras:** basadas en la unión PN entre materiales semiconductores. La unión PN es muy sensible a las variaciones de temperatura dentro de un margen de -55°C a 150°C. La mayoría de estos sensores son transistores bipolares conectados como diodos al cortocircuitar la unión colector-base.
- **Termómetros de infrarrojos:** basados en las radiaciones térmicas. Todos los objetos emiten una radiación en función de su temperatura. Los termómetros de infrarrojos captan esa radiación en el espectro infrarrojo.
Termómetros piroeléctricos: los materiales piroeléctricos son aquellos capaces de generar una carga eléctrica como respuesta a un flujo de calor.

3.1.- Termopares

Un termopar esta formado por la unión de dos metales distintos.

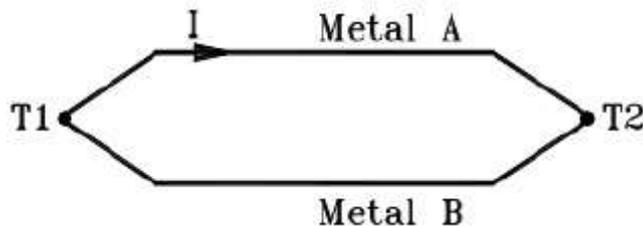
Su funcionamiento se basa en el efecto Seebeck (1821), de la circulación de una corriente en un circuito formada por dos metales diferentes cuyas uniones (unión de medida o caliente y unión de referencia o fría) se mantienen a distinta temperatura. Esta circulación obedece a dos fenómenos combinados:

1- Efecto Peltier : provoca la liberación o absorción de calor en la unión de dos metales distintos cuando una corriente circula a través de la unión.

2- Efecto Thomson : consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogéneo en el que existe un gradiente de temperaturas.

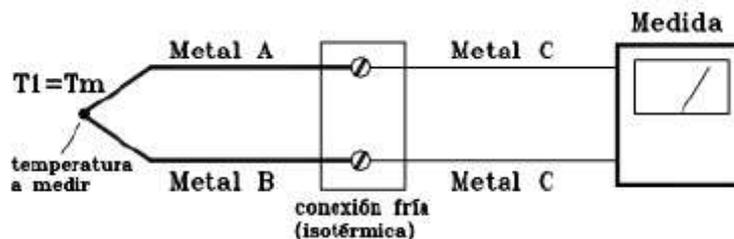
Si dos metales de diferente naturaleza se unen formando un circuito cerrado, estando sus uniones a distinta temperatura, presentarán a su vez el efecto Petier y Thomson. Por esta razón a lo largo del circuito existirá una diferencia de potencial y, por tanto, existirá una intensidad de corriente de naturaleza termoeléctrica.

Nótese que el termopar es un sensor diferencial, puesto que genera tensión sólo si existe diferencia de temperatura entre sus uniones.



Licencia: [CC BY-NC-SA](#)

Si se abre el circuito por una de las dos uniones, es posible, mediante el adecuado aparato de medida, obtener la fuerza electromotriz generada por el termopar, teniendo en cuenta que será necesario conectar un nuevo metal C, cuyas pérdidas sean mínimas, y mantener constante la temperatura T2 (unión fría o de referencia).



Licencia: [CC BY-NC-SA](#)

Cuando el circuito de control está lejos del punto de medida de temperatura se debe emplear un cable de compensación que evite que las propiedades de termopar se modifiquen.

Existen diversos tipos de termopares que se utilizan en la industria según se muestra en la tabla siguiente:

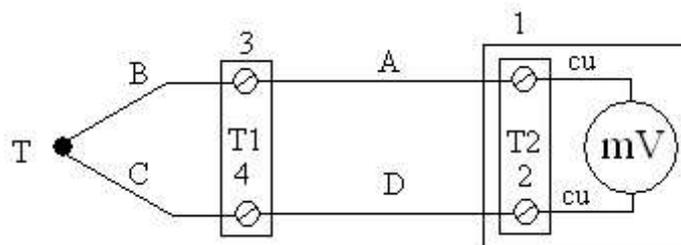
Material	Margen de temperatura (°C)	Sensibilidad (μV/°C)	Tipo
Cobre / Constantan	-270 a 400	50	T
Hierro / Constantan	-210 a 1200	55	J
Cromo / Constantan	-270 a 1000	78	E
Cromo / Aluminio	-270 a 1370	41	K
Platino-Rodio 10% / Platino	-50 a 1760	10,5	S
Platino-Rodio 13% / Platino	-50 a 1760	12	R
Platino-Rodio 30% / Platino-Rodio 6%	0 a 1820	7	B

Licencia: [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Los tipos T, J, E y K son bastante lineales, mientras que los R, S, B presentan una curva menos lineal (esto para todo el margen de temperatura de cada tipo).

Ejercicio Resuelto

Dado el termopar de la figura, con dos uniones isotérmicas, deducir lo que marcará el voltímetro si la temperatura de medida es 232°C, la T1 71°C y la T2 22°C. Siendo metal B Hierro, metal C constantan, metales A y D cobre.



Licencia: [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Mostrar retroalimentación

- La ecuación que se genera será:

$$V = V_{\text{cu}}(T_2) + V_{\text{cu}}(T_1) + V_{\text{fe}}(T) + V_{\text{cu}}(T_1) + V_{\text{cu}}(T_2) =$$

$$V_{\text{fe}}(T) + [V_{\text{cu}} - V_{\text{fe}} + V_{\text{c}} - V_{\text{cu}}](T_1) = V_{\text{fe}}(T) - V_{\text{fe}}(T_1)$$

Licencia: [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Se mira la tabla del termopar, por ejemplo en este [enlace](#) y se deduce que para 232°C la tensión es de 12.556 mV y para 71°C es de 3.703 mV. Luego lo que marcará el voltímetro será $12.556 - 3.703 = \mathbf{8.853mV}$.

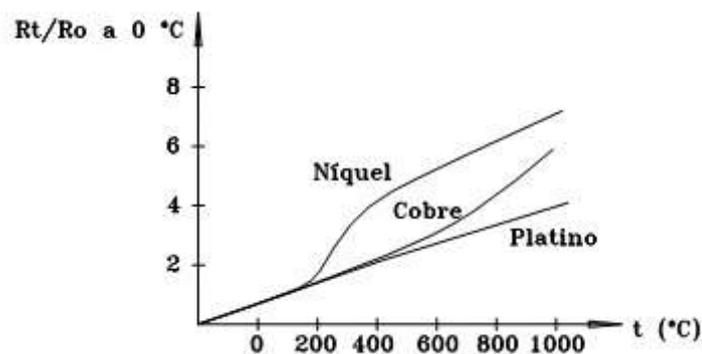
3.2.- Termorresistencias (RTD)

Los metales presentan un coeficiente de resistencia positivo, es decir, aumentan su resistencia ante incrementos positivos de la temperatura. Para que los errores de medida se minimicen, el valor de la resistencia ha de ser grande. Esto implica metales con alta resistividad. Como la resistividad de los metales es baja, debemos emplear la máxima cantidad de metal posible.

Los materiales que se usan normalmente son:

Platino (Pt-100, Pt-500, Pt-1000)

- níquel – aleaciones de níquel
- cobre
- película metálicas.



Licencia: [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El platino es el material más adecuado desde el punto de vista de precisión y estabilidad, pero es el más caro. El níquel es más barato que el platino, pero su respuesta no es lineal. El cobre es lineal, estable y barato, pero tiene baja resistividad. Las RTD de película metálica tienen respuesta rápida pero son poco estables.

La ecuación que expresa el valor de resistencia a una temperatura T en °C es:

$$R_T = R_0 (1 + \alpha T)$$

Donde

R_0 = resistencia en Ω a 0 °C.

R_T = resistencia en Ω a T °C.

α = coeficiente de temperatura.

En las termorresistencias de platino, Pt100, Pt500, Pt1000, el valor del coeficiente $\alpha = 0.00385^\circ\text{C}^{-1}$. Con este coeficiente se puede calcular el valor de la resistencia, de forma aproximada, a cualquier temperatura.

En la industria la RTD más conocida es la resistencia de platino o Pt-100 y por eso se dan algunos de sus valores de resistencia-temperatura. Se observa que a 0 °C la Pt-100 presenta 100 Ohmios.

T °C	R (Ohmios)	T °C	R (Ohmios)	T °C	R (Ohmios)
-200	18.53	100	138.50	400	247.06
-100	60.20	200	175.84	500	280.93
0	100.0	300	212.03	600	313.65

Licencia: [CC BY-NC-SA](#)

Ejercicio Resuelto

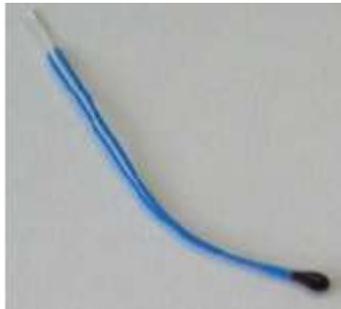
¿Cuál será el valor de la temperatura de un proceso, si el valor de la resistencia de la Pt100 es de 115.7Ω?

Mostrar retroalimentación

$$R_T = R_0 (1 + \alpha T); T = (115,7 - 100) / (100 * 0,00385) = 15,7 / 0,385 = \mathbf{40,78^\circ C}$$

3.3.- Termistores

Son semiconductores con un elevado coeficiente de temperatura, por lo que experimentan cambios muy elevados de resistencia frente a cambios térmicos. Por eso son muy sensibles, ya que mínimos cambios de temperatura que no se pueden detectar con termopares o RTD son fácilmente observables con termistores.



[Ansgar Hellwig \(CC BY-SA\)](#)

El rango de temperatura de los termistores es pequeño y oscila desde $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se fabrican de tamaño muy reducido por lo que tienen un buen tiempo de respuesta. Como inconveniente a su tamaño, son muy sensibles a errores por autocalentamiento. Al tener elevada resistencia en los márgenes de funcionamiento, la distancia de los cables de unión puede ser elevada.

Pueden ser de dos tipos:

- NTC: Coeficiente negativo de temperatura.
- PTC: Coeficiente positivo de temperatura.

TERMISTORES NTC

Tienen coeficiente de temperatura negativo que significa que al aumentar la temperatura disminuye su resistencia. El termistor tipo perla es el más utilizado para la medida de temperatura. El margen de temperaturas de trabajo está comprendido entre $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La ecuación característica de éstos sensores es:

$$R_{NTC} = R_0 e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \quad T: \text{temp. Absoluta (K)}$$

Licencia: [CC BY-NC-SA](#)

TERMISTORES PTC

Tienen coeficiente de temperatura positivo que significa que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia. El coeficiente de temperatura es en la mayoría de los casos, superior al de los NTC. El margen de temperaturas de trabajo es más estrecho y está comprendido entre $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ejercicio Resuelto

Se dispone de una NTC, cuyas características suministradas por el fabricante son:

- Resistencia a 25°C 1300 Ω
- Coeficiente B: 5450°K⁻¹
- Máxima disipación: 1W
- Rango de temperaturas: -25 a 125°C

Deducir el valor de la resistencia a 70°C.

Mostrar retroalimentación

$$R_{70^{\circ}\text{C}} = 1300 \times e^{5450 \times \left(\frac{1}{273+70} - \frac{1}{273+25} \right)} = 118\Omega$$

Licencia: [CC BY-NC-SA](#)

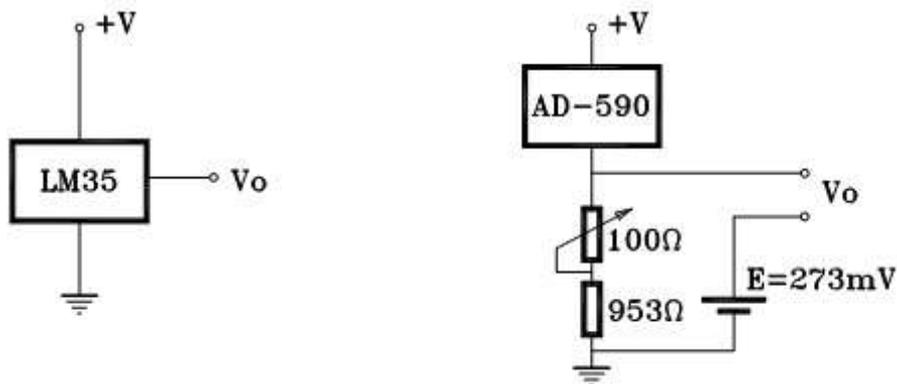
3.4- Semiconductores

Existen diodos (uniones PN) de arseniuro de galio y silicio que pueden ser utilizados como sensores de temperatura en determinados rangos. También es posible encontrar configuraciones basadas en transistores.

Entre los circuitos integrados para la medición de temperatura existen fundamentalmente de dos tipos:

- Circuitos integrados que generan en su salida un tensión proporcional a la temperatura como el LM35 cuya sensibilidad es de $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ y el LM135 con sensibilidad de $10\text{mV}/^\circ\text{K}$.
- Circuitos integrados que generan en su salida una corriente proporcional a la temperatura como el AD590 que posee una sensibilidad de $1\mu\text{A}/^\circ\text{C}$.

En las siguientes figuras se puede ver la sencillez de estos circuitos.



Licencia: [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Estos sistemas presentan ventajas en cuanto a la buena linealidad de temperatura tensión o intensidad, su nivel de salida alto y su bajo coste. Entre las desventajas se encuentran la relativa lentitud en respuesta, el autocalentamiento y su bajo margen de temperatura ($<200^\circ\text{C}$).

Autoevaluación

En un sensor LM35, conectado 24V de corriente continua, se mide la tensión a su salida, dando como resultado $0,204\text{V}$. ¿Que valor tendrá la temperatura que está midiendo?

- $2,04^\circ\text{C}$
- 204°C
- $20,4^\circ\text{C}$

No es correcta, no has interpretado bien las características del sensor.

No es correcta, no has interpretado bien las características del sensor.

Correcto. Si su respuesta es de 10mV por cada °C, con 204mV corresponden 20,4°C.

Solución

1. Incorrecto
2. Incorrecto
3. Opción correcta

4.- Sensores de presión

Caso práctico

Adrián: Nos han comentado que van a ampliar las tuberías de la acometida de agua, por la mayor demanda de suministro. En ellas es necesario colocar sensores de presión y de caudal, para conocer en todo momento sus valores. Debemos ver cuáles se van a adaptar mejor a nuestras necesidades.

Ya hemos hablado de la temperatura y de cómo podemos medirla. Otra de las magnitudes que más influyen en los procesos industriales es la presión.

La presión es la fuerza perpendicular ejercida sobre una unidad de superficie. Habitualmente, las medidas de presión que vamos a realizar son tres:

Presión absoluta: es la presión definida anteriormente. Representa la diferencia de presión entre el punto de medida y el vacío perfecto, cuya presión es nula.

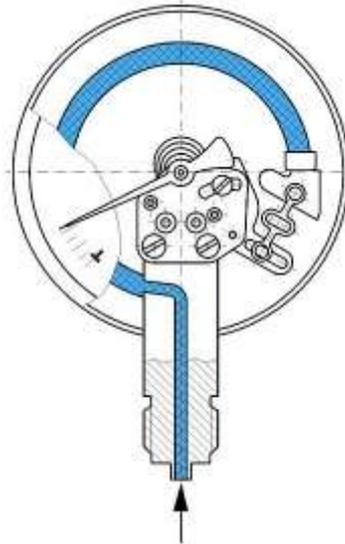
Presión relativa: es la diferencia de presión entre el punto de medida y el ambiente. La presión ambiental puede variar, pero solo interesa la diferencia de presión.

Presión diferencial: es la diferencia de presión entre dos puntos, uno de los cuales es elegido como referencia.

Dado que la presión es definida como una fuerza por unidad de superficie, la manera directa de medir la presión es aislar un área de un elemento mecánico elástico y ver la fuerza que actúa sobre él. La deformación del elemento sensor produce desplazamientos y tensiones que pueden ser utilizadas para construir un sensor de presión.

El sensor de presión más básico es el tubo Bourdon. Este dispositivo es un tubo enrollado en espiral en cuyo extremo se coloca un mecanismo que hace girar una aguja sobre una escala graduada. Este giro de la aguja es proporcional a la deformación de la espiral cuando se la somete a presión en su interior.

En la siguiente imagen puede verse el interior de un manómetro construido en base al tubo Bourdon. El tubo está sobre el exterior del aparato de medida. En la parte central están colocados los engranajes para hacer girar la aguja.



[DStaiger \(CC BY-SA\)](#)

Para desarrollar sensores más precisos se ha recurrido al efecto capacitivo. Los sensores de presión capacitivos están basados en una membrana metálica o de silicio que sirve de elemento sensor de presión y constituye uno de los electrodos del condensador. El otro electrodo, que es fijo, está formado por la deposición de una lámina de metal sobre una base de cerámica o vidrio. Al aplicar presión, la membrana se deforma con lo que varía la capacidad del condensador al variar la distancia entre los electrodos.

Aún así, el sensor de presión más habitual es el piezorresistivo. El efecto piezorresistivo provoca cambios en la resistencia eléctrica de un material cuando se ve sometido a tracciones o compresiones. Los materiales piezorresistivos pueden utilizarse para conseguir galgas planas, que incorporadas en una membrana, constituyen otro tipo de sensores de presión. Visualizando la variación de resistencia en la galga, obtenemos la variación de presión en un sistema.

Ejercicio Resuelto

En un depósito, se ha colocado un sensor de presión que da 4 a 20 mA en el rango de 0 a 200Kpa.

- Si se tiene agua en el depósito, ¿Qué altura máxima puede alcanzar?.
- Deducir la presión si en su salida hay 12mA.

Mostrar retroalimentación

Como la presión es densidad por gravedad por altura, $P=\rho \cdot g \cdot H$, se puede despejar la altura: $H=200000/(1000 \cdot 9,8)= 20,4 \text{ m}$

Deduciendo la ecuación de la recta de la respuesta del sensor, podemos relacionar la intensidad con la presión

La ecuación de una recta es $Y=m \cdot x+b$. en este caso $m=16/200$ y $b=4$. La ecuación será $I=(16/200) \cdot P+4 \text{ mA/KPa}$

Sustituyendo P, queda $P = ((12-4)*200/16) = 100 \text{ kPa}$.

5.- Sensores de caudal

Caso práctico

Adrian: ¿Sería posible saber la producción energética de una caldera o de unos paneles termosolares sabiendo el caudal?.

Tamara: Si, se necesita saber el caudal, el calor específico y la diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida. Existen aparatos que lo calculan, midiendo el caudal y las temperaturas, a través de sondas Pt100.

Los fluidos (líquidos o gaseosos) están presentes en la mayoría de procesos industriales, ya sea porque intervienen de forma directa en el proceso de producción o porque pertenecen a los circuitos secundarios necesarios.

Hay dos tipos de caudalímetros según se desee medir el volumen o la masa del fluido:

- **Caudalímetros volumétricos:** miden el volumen (litros, cm³, m³, etc.) por unidad de tiempo (segundos, minutos, horas, etc.).
- **Caudalímetros máscicos:** miden el peso (kg, toneladas, etc.) por unidad de tiempo.

De todos modos si se trata de medir un fluido no compresible, los dos tipos de caudalímetros pueden servir para la misma aplicación.

Cuando un mismo aparato de medida se puede incorporar a diferentes tamaños de tubería puede sorprender que los caudales se den en unidades de **velocidad**, pero esto es normal (para saber el caudal basta multiplicar la velocidad del fluido por la sección de la tubería).

Para medidores de caudal volumétrico los principales sistemas son presión diferencial, área variable, velocidad, tensión inducida, desplazamiento positivo, vórtice y ultrasonidos.

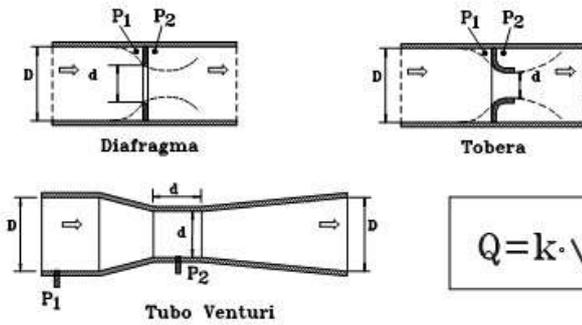
Para los máscicos se debe destacar el sistema térmico y el sistema basado en la fuerza de Coriolis.

PRESIÓN DIFERENCIAL

La fórmula del caudal para este tipo de caudalímetro se deduce de la aplicación del teorema de Bernouilli. Este teorema relaciona la energía cinética, la potencial y la presión de un fluido en diferentes puntos de la vena fluida. Mediante la interposición de un diafragma, una tobera, un tubo venturi, un tubo Pitot o un tubo Annubar, se puede relacionar el cambio de velocidad y presión que experimenta el fluido con el caudal, siempre y cuando esté bien determinada la geometría. De la aplicación de dicho teorema se deduce que para un fluido ideal incompresible, el caudal es proporcional a la raíz cuadrada de la presión diferencial (incremento o decremento de presión).

$$\frac{1}{2} \rho V_1^2 + \rho g h_1 + P_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 + P_2$$

Ecuación de Bernoulli

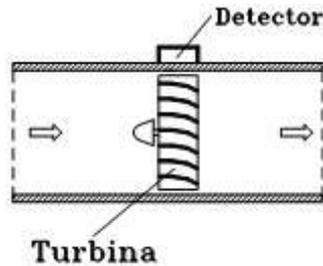


$$Q = k \cdot \sqrt{\Delta P}$$

Licencia: [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

TURBINAS

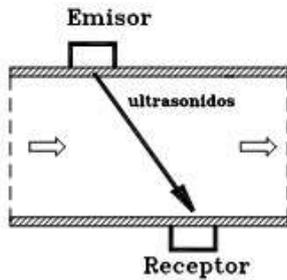
Se basan en un rotor que gira a una velocidad proporcional al caudal del fluido que pasa. Para obtener la velocidad de giro del rotor se pueden utilizar varias técnicas. Una de ellas consiste en la variación de reluctancia que experimenta un circuito magnético exterior al paso de cada una de las palas del rotor. Otra consiste en captar el campo magnético giratorio que produce un imán permanente situado en el rotor.



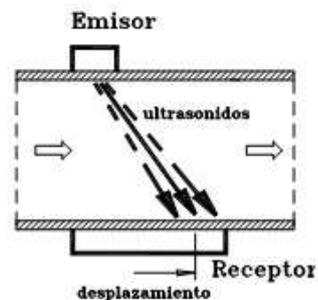
Licencia: [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

ULTRASONIDOS

Se basan en la velocidad de transmisión del sonido en el fluido que varía al cambiar la velocidad del fluido. Existen varios métodos:



Tiempo de transito



Desplazamiento

Licencia: [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Ejercicio Resuelto

Se desea calcular la potencia de una caldera de calefacción, sabiendo que genera un caudal de 30 litros por minuto, con una temperatura de entrada de 40°C y una salida de 70°C.

El calor específico del agua es $C_e = 1 \text{Kcal/L} \cdot ^\circ\text{C}$.

Mostrar retroalimentación

El calor generado por cada segundo sería: $Q = m \cdot C_e \cdot \Delta T^a$; $Q = (30/60) \cdot 1 \cdot (70-40) = 15 \text{Kcal/seg}$. Sabiendo que 1Kcal son 4184 julios, $15 \text{Kcal/seg} = 62760 \text{jul/seg} = \mathbf{62,76 \text{Kw}}$

6.- Sensores de nivel

Caso práctico

Tamara: Los sensores de nivel de los decantadores, se han quedado anticuados y no se pueden conectar al nuevo autómeta que va a gobernar el proceso. Tendremos que encontrar los adecuados al nivel de los depósitos, con salida analógica de 0 a 10 voltios, para que puedan ser conectados a las entradas analógicas del autómeta.

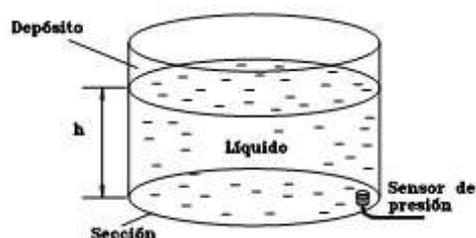
El nivel es una característica que se suele medir en muchos procesos industriales (depósitos). Se mide en unidades de distancia que son, normalmente, el metro y sus múltiplos (cm, mm). También se puede utilizar la pulgada (1pulgada = 1 inch = 25,4 mm).

Existen medidores de nivel que se utilizan para evitar sobrellenado o rebosamiento (detección de valor límite) y medidores continuos para controlar pérdidas o consumo. También es importante el tipo de material a controlar y sus características (sólido o líquido, pulvurulento o de grano grueso, transparente u opaco, si tiene material abrasivo, tiende a formar espumas, etc.). La forma del depósito, si es metálico o no, la precisión que se desea conocer el nivel son parámetros que hay que tener en cuenta.

PRESIÓN DIFERENCIAL

Se obtiene la altura que alcanza un líquido a partir de la presión existente en el fondo del depósito, que dependerá del peso específico de la sustancia y de la profundidad a que se efectúe la medida. Estos medidores presentan una elevada precisión y reproductividad y pueden utilizarse también en procesos que presenten formación de vapor o en líquidos abrasivos o agresivos. Se puede medir el nivel tanto en depósitos abiertos como cerrados.

Utilizando las fórmulas clásicas se puede establecer la relación entre la altura del depósito y la presión en el fondo del mismo. Cuando el depósito es cerrado habrá que medir además la presión interior.



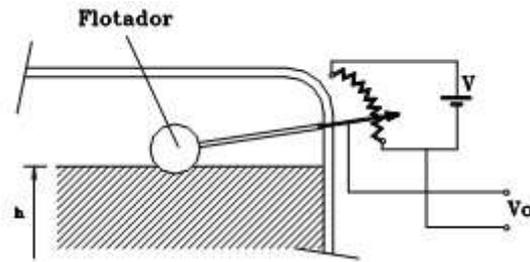
Licencia: [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

FLOTADOR

Se basa en el desplazamiento de un flotador que se mueve a través de una guía y actúa sobre un indicador. Este indicador puede ser simplemente visual o puede tener un sistema resistivo para dar una tensión proporcional a la altura. En sistemas más sofisticados se puede colocar un encoder. Este sistema no le afecta las variaciones de temperatura ni de

presión, pero si la acumulación de suciedad, turbulencias o cambios de densidad del líquido.

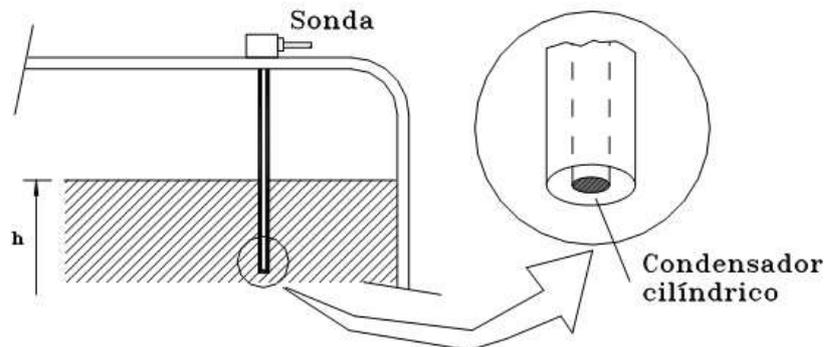
Para indicar el valor límite se puede utilizar una boya que flota en el líquido y cuando llega a una determinada altura actúa un interruptor eléctrico.



Licencia: [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

CAPACITIVOS

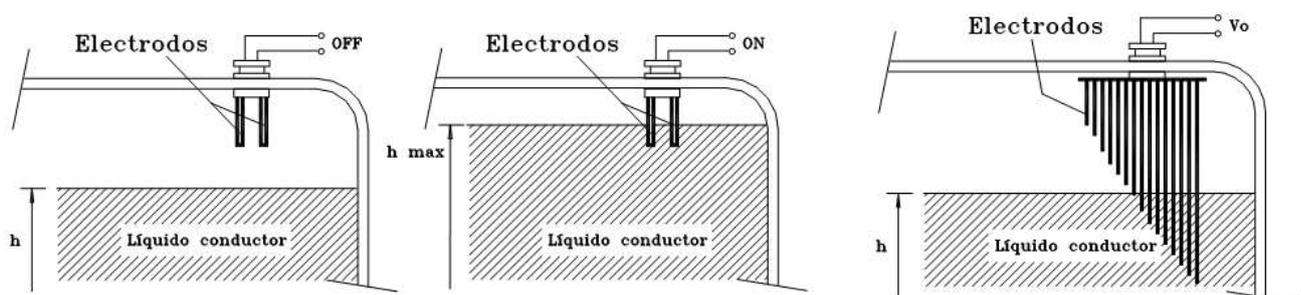
Se puede utilizar tanto para líquidos como para sólidos. Estos medidores están basados en la constante dieléctrica del material, sea porque es conductor o porque tiene una constante dieléctrica mayor que la del aire. El medidor es una sonda creada por un condensador cilíndrico. También si el deposito es metálico se puede generar el condensador entre éste y un conductor.



Licencia: [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

CONDUCTIVO

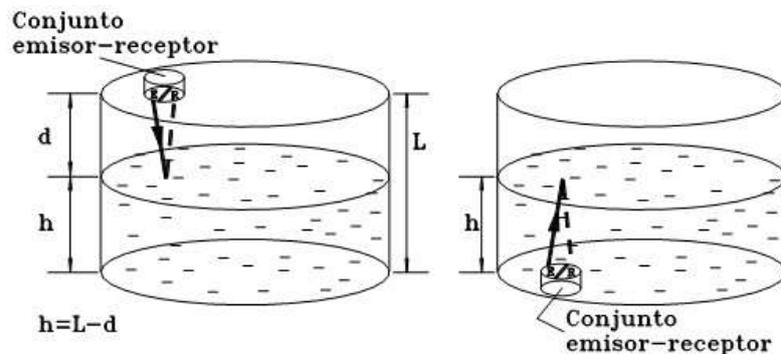
Si el líquido es conductor, un medidor muy económico es el medidor conductivo, compuesto por dos electrodos y en el que el contacto del líquido con el electrodo cierra un interruptor. Evidentemente se utiliza para la medida del valor límite. Actualmente se comercializan electrodos especialmente diseñados para utilización con líquidos agresivos.



Licencia: [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

ULTRASONIDOS

El sensor se compone de un emisor y un receptor. El emisor emite ondas ultrasónicas y el receptor las recibe. Si mediante unos circuitos electrónicos se mide el tiempo desde que el haz sale del emisor hasta que se recibe, basta con conocer la velocidad del sonido en el medio de propagación para que podamos determinar la distancia hasta la superficie.

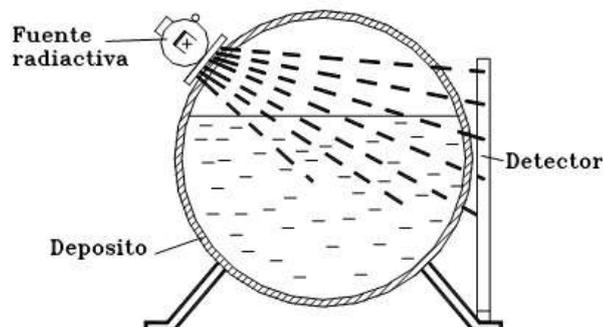


Licencia: [CC BY-NC-SA](#)

Este sistema se utiliza también con otro tipo de ondas, como las electromagnéticas (**microondas, radar, láser**, etc.). Todos ellos se basan en medir el tiempo que le cuesta al haz, desde que se emite hasta que se recibe una vez reflejado.

RADIATIVOS

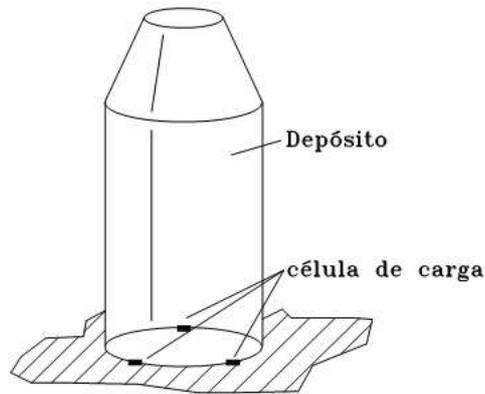
Este método se basa en la determinación del grado con el que el líquido absorbe la radiación procedente de una fuente de rayos gamma. Esta absorción es directamente proporcional al nivel del líquido e inversamente proporcional a su densidad. La radiación residual es medida con un contador de centelleo que suministra pulsos de tensión y cuya frecuencia es inversamente proporcional a la densidad.



Licencia: [CC BY-NC-SA](#)

CÉLULAS DE CARGA

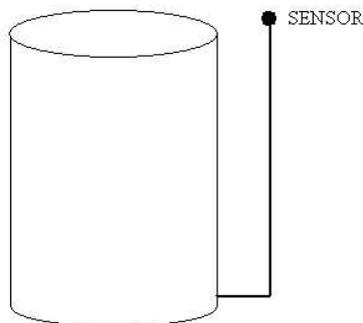
Para la determinación del nivel de un material en un silo, sea este del tipo que sea, se instalan en la superficie externa del mismo elementos de pesaje. De esta forma se determina el peso del líquido si restamos al peso anterior el peso del silo. Sabiendo el peso del líquido, la geometría del silo y las características del material podemos calcular el nivel.



Licencia: [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Ejercicio Resuelto

Un sensor de presión que da una tensión de $0,2\text{mV/kPa}$, se utiliza para medir el volumen de aceite contenido en un recipiente cilíndrico de 4 metros de alto, y 2 metros de diámetro, según el dibujo de la figura:



Licencia: [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Sabiendo que el sensor mide la presión relativa del líquido contenido en el tanque, que el aceite tiene una densidad $\rho=850\text{ Kg/m}^3$, que la presión ejercida por un líquido en la base de un recipiente es $P= \rho.g.h$ (densidad por gravedad por altura en N/m^2), y que 1Pa equivale a 1N/m^2 , y que 1 bar equivale a 100000 Pa , se pide:

- Capacidad del depósito en litros.
- Rango de funcionamiento del sensor.
- Ecuación de la tensión del sensor en función de la altura del nivel de aceite.
- Ecuación del volumen del líquido en función de la tensión de salida del sensor.
- Tensión de salida si el nivel de aceite es de 2,75 metros.

f) Volumen de aceite si el sensor entrega una tensión de 4,746mV

Mostrar retroalimentación

a) $Vol = \pi \cdot R^2 \cdot h = 12,56 \text{ m}^3 = 12566 \text{ litros}$

b) $P_{max} = \rho \cdot g \cdot h = 33,32 \text{ kPa}; 33,32 \cdot 0.2 = 6,664 \text{ mV}$

c) $vol = (12566/6,664) \cdot V \text{ litros/mV}$

d) $V = (6,664/4) \cdot h \text{ mV/m}$

e) $V = (6,664/4) \cdot 2,75 = 4,58 \text{ mV}$

f) $vol = (12566/6,664) \cdot 4,746 = 8949 \text{ litros}$

7.- Otros tipos.

Caso práctico

Adrián: ¿Cómo se mide la calidad del agua?, sin duda se necesitarán sensores específicos para medir niveles de acidez, de turbidez, de oxígeno disuelto, etc.

Tamara: En efecto, para medir la calidad del agua se emplean sensores específicos, primero para que el agua esté depurada, y luego tenga los aditivos necesarios para garantizar su salubridad.

Sensores de pH

El **pH** es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones de hidrógeno presentes en determinadas disoluciones. El pH es la unidad de medida que describe el grado de acidez o alcalinidad y es medido en una escala que va de 0 a 14.

Si una disolución presenta un nivel de pH menor que 7, se considera ácida y si presenta un nivel superior a 7 básica. En la tabla de la figura se presentan algunos ejemplos:

pH de algunas sustancias	
Sustancia	pH aproximado
Jugo de limón	2.4
Piel humana	5.5
Leche	6.5
Sangre	7.35-7.45
Detergente	10.5

Licencia: [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Los sensores de pH miden la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia (generalmente de plata/cloruro de plata) y un electrodo de vidrio que es sensible al ion de hidrógeno.

A la medida de pH le afecta la temperatura, por lo que los aparatos de medición deben llevar un sistema de compensación, que puede ser mediante una resistencia NTC.

Sensores de conductividad

La conductividad se define como la capacidad de una disolución para conducir la corriente eléctrica. Las partículas portadoras de la carga son los iones (por ejemplo, sales o ácidos en disolución).

Para medir la conductividad se utilizan dos electrodos, separados por una distancia fija, y con una superficie específica conocida. A continuación se conecta una fuente de corriente alterna a los electrodos. La corriente que se produce entre los electrodos es directamente proporcional a la conductividad de la disolución.

El sensor de conductividad eléctrica es ideal para conocer parámetros importantes que afectan el entorno de la zona de las raíces de las plantas, como la salinidad del suelo, los sistemas de agua de riego o las soluciones de fertilizantes que generan un efecto significativo en el crecimiento y la calidad de las plantas, donde la presencia de altos niveles de sal es una señal de advertencia y los niveles bajos de sal pueden conducir a deficiencias de nutrientes. La conductividad del agua puede reflejar el nivel de electrolitos presentes en el agua. Dependiendo de la concentración del electrolito, la conductividad de la solución acuosa es diferente. Es utilizado en monitoreo de la calidad del agua, la acuicultura, hidropónico y acuapónico.

La unidad en el sistema internacional es el Siemens/metro. La conductividad es la inversa de la resistividad, siendo un siemens la inversa de un ohmio. $1 \text{ S} = 1 / \Omega$

Las medidas normales en el agua se hacen con milisiemens por centímetro. El rango de funcionamiento de un sensor puede ser de 1 ms/cm a 20 ms/cm. este rango equivalente en formato resistividad a $1000\Omega/\text{cm}$ a $50\Omega/\text{cm}$.

Sensores de turbidez

Se entiende por **turbidez** o **turbiedad** a la medida del grado de transparencia que pierde el agua o algún otro líquido incoloro por la presencia de partículas en suspensión . Cuanto mayor sea la cantidad de sólidos suspendidos en el líquido, mayor será el grado de turbidez. En potabilización del agua y tratamiento de aguas residuales, la turbidez es considerada como un buen parámetro para determinar la calidad del agua, a mayor turbidez menor calidad.

La turbidez se mide en Unidades Nefelométricas de turbidez, o *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU).

El instrumento usado para su medida es el nefelómetro o turbidímetro, que mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua.

Según la OMS (Organización Mundial para la Salud), la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 2 **NTU**, y estar idealmente por debajo de 1 NTU.

Sensores de oxígeno disuelto

El agua tiene la capacidad de retener oxígeno, dependiendo de la temperatura, a menor temperatura admite más oxígeno. Estos sensores son útiles por ejemplo para acuicultura.

El nivel de oxígeno se mide en %, en función del nivel de saturación o máxima capacidad de almacenamiento de oxígeno en las condiciones en que se encuentre. También se usan las partes por millón **PPM** o **mg/l**. Los niveles de oxígeno disuelto típicamente pueden variar de 7 y 12 partes por millón

Para saber más

Puedes encontrar diferentes sensores de calidad del agua en el siguiente enlace: [Sensores de calidad del agua](#)

8.- Condiciones en la selección de instrumentación

Caso práctico

Adrián y Tamara tienen que elegir un sensor de temperatura y se hacen las siguientes preguntas:

¿Cómo medir la temperatura? ¿Qué alcance es requerido? ¿Qué exactitud de medida se necesita? ¿Qué tipo de instrumento es mejor?.

Seleccionar un sensor de temperatura puede ser sencillo y algunas veces difícil, pero hay que hacerlo bien. El objetivo es medir con exactitud y con incertidumbres aceptables.



Cuando se habla de acondicionadores de señal, se habla de electrónicas de acondicionamiento o convertidores de señal, en esencia es lo mismo, un eslabón más de la cadena de medida.

Estos acondicionadores de señal siempre son necesarios, puesto que hay sensores que pueden llevar o no electrónica incorporada, dependiendo de ésta electrónica y según el tipo de señal de salida que tenga, así como donde vayamos a conectar su señal, se ha de elegir un tipo u otro de acondicionador de señal.

Los acondicionadores de señal o electrónicas de acondicionamiento típicos son una caja que integra la electrónica y tiene sus conectores o bornas de señal de entrada, procedente del sensor, y otros para la señal de salida ya amplificada o tratada.

Otro formato, es el de los visualizadores, que en realidad son acondicionadores de señal con pantalla, donde se muestra el valor medido, en vez de sacar la señal amplificada o tratada por un conector, lo envía a la pantalla para que se pueda leer.

Hay opciones que copian la señal de pantalla a una salida analógica, por lo que tenemos el valor medido en ambos sitios.

En el siguiente vídeo se hace una explicación de estos equipos.

https://www.youtube.com/embed/unmT_kMZjuw

Introducción al Acondicionamiento de Señales

A la hora de elegir un acondicionador se deben tener en cuenta las siguiente consideraciones:

Rango de funcionamiento: Debe ajustarse a las características del proceso a medir, para aumentar la precisión en la medida. Si tenemos presiones que pueden variar de 0 a 4 bares y se dispone de acondicionadores de 0 a 5 bares ó de 0 10 bares, mejor elegir el de 0 a 5 bares.

Tipo de salida: se elegirá en función del equipo de medida, pudiendo ser analógica o digital.

Las salidas analógicas más comunes son 0-5V, 0-10V, y 4-20mA.

Las digitales pueden ser trenes de pulsos de frecuencia variable con la magnitud a medir, por ejemplo en un caudalímetro, o mediante tramas deBits a través de un protocolo de comunicaciones.

Entorno de trabajo: Condiciones ambientales como humedad, temperaturas, vibraciones, ambientes corrosivos, polvo, etc, deberán tenerse en cuenta.

Otras como **precisión requerida, robustez, durabilidad, coste**, también han de tenerse en cuenta.

En ocasiones, puede que los equipos de medida no estén bien ajustados. Los acondicionadores suelen tener dos potenciómetros de ajuste, uno para el **ajuste de cero** y otro para el **ajuste de Span** (alcance). Si se tiene un acondicionador de presión con un rango de 0 a 10 Bar y una salida de 4 a 20mA, con el ajuste de cero se consigue que con 0 Bares salgan 4mA. Con el ajuste de Span se consigue que con 10 Bares salgan los 20mA.

Si la respuesta de un acondicionador es una recta, la salida responderá a la ecuación $Y=m*X+b$, siendo Y la salida, X la entrada, m la pendiente y B el punto de corte de la recta en el eje Y cuando X vale cero. Con el ajuste de cero, se lleva el punto b a su valor correcto y con el ajuste de Span se ajusta la pendiente. Si un acondicionador está bien ajustado, responderá correctamente en todo el rango de funcionamiento.

Para saber más

Rango y **Span** pueden parecer lo mismo, pero no lo son, en ocasiones coinciden y en otras no. **Rango** es la capacidad de medida de un instrumento, entre dos valores, uno mínimo LRV (lower range value) y otro máximo URV (upper range value).

Span es la diferencia entre ambos valores. Por ejemplo si un termómetro tiene un rango de -50 a 150°C, su Span es de 200°C.

9.- Acondicionadores de señal y centrales de adquisición de datos

Caso práctico

Adrian: En la actualidad se toman datos de la composición de los reactivos en la planta de tratamiento de agua, de forma manual, cada cierto tiempo. ¿Sería posible automatizar este trabajo?.

Tamara: Si existen dispositivos registradores de datos, se llaman Data loggers.

La adquisición de datos consiste en obtener los valores de las magnitudes físicas que queremos medir. Se pueden obtener en tiempo real, por ejemplo con un **autómata** y monitorizarlas a través de una pantalla **HMI** (Human-Machine Interface) o a través de una pantalla con un Scada. Con estas variables y un programa de autómata, se pueden manejar procesos industriales.

Otra forma de obtención es mediante intervalos de tiempo, mediante equipos llamados **Data loggers**. Estos equipos permiten la conexión de uno o varios sensores y almacenar datos a intervalos de tiempo configurables. Estos datos pueden ser utilizados para analizar históricos, y programar eventos y alarmas y se pueden ver en un ordenador mediante un canal de comunicaciones específico, vía radio, telefónica, Wifi, bluetooth, ethernet, RS 485, etc. según necesidad.



[Anakwisnu \(CC BY-SA\)](#)