



TRANSDUCTORES Y SENSORES 2021

Ing. Biomédica
Ing. Electrónica

Unidad V : Sensores de Presión



FCEFN - UNC - Ing. Gabriel Gómez (ggomez@unc.edu.ar)



Temario:

Conceptos físicos

Unidades y escalas

Tipos de sensores

Calibración

Aplicaciones

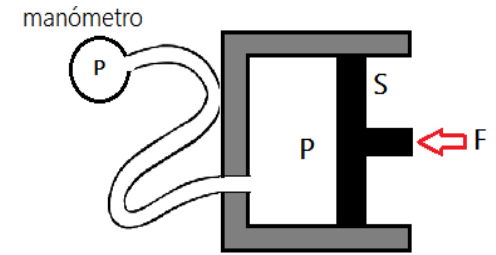
Principales fabricantes



CONCEPTOS FÍSICOS



Conceptos físicos de presión



La presión es independiente de la forma del contenedor. Si no hay circulación de fluido la presión se mantiene constante, por lo tanto, presión en el manómetro es la misma que en el pistón.

La presión es el efecto macroscópico del impacto de cada una de las moléculas contra el contenedor o recipiente.

Según la teoría cinética de los gases, en un gas ideal $P = nmv^2 / 3V$
o sea que la presión es proporcional a la velocidad media de las moléculas

- Los sólidos transmiten fuerzas, los fluidos (líquidos y gases), presiones**
- Cuando los fluidos se encuentran con un sólido, se producirá una fuerza y la definición clásica de Presión como Fuerza por unidad de superficie.

$$P = \frac{F}{S} \quad \left[\frac{N}{m^2} = Pa \right]$$

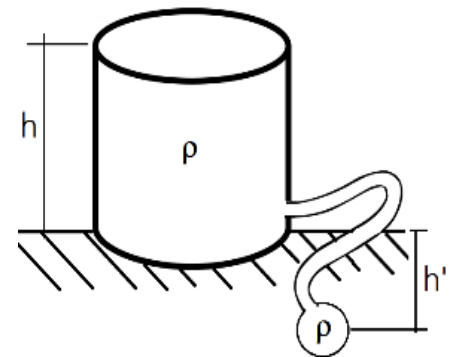


Conceptos físicos de presión

Si el fluido está sometido a la acción de la gravedad, podemos definir una presión hidrostática debido al efecto acumulado de una columna de fluido respecto del punto de referencia o medición

En ese caso, la presión varía linealmente con la altura.

En la figura: $P = \rho h + \rho h' = \rho(h + h')$



Eso origina otro grupo de unidades:

Presión atmosférica: 760 mmHg (Torr) $\leftrightarrow$ 1 atm

■ Ecualización de presiones

¿Quién no se ha sumergido en una piscina hasta una profundidad en que nos duelen los oídos ? Ello sucede porque en el exterior se ha sumado la presión hidrostática a la atmosférica, que es la que aún tenemos en nuestros pulmones si aguantamos la respiración.

Nuestro organismo, en condiciones normales, “ecualiza” la presión de ambos lados mediante la trompa de Eustaquio

■ Los sensores de P relativa o de gauge, siempre tienen alguna vía de ecualización de manera de tener la $P_{\text{atmosférica}}$ o ambiental de ambos lados del diafragma.



Ecualización de presiones

¿Qué pasaría en un submarino si queremos accionar un brazo hidráulico a gran profundidad ?

De no haber ecualización, la bomba hidráulica debería bombear a la presión de trabajo MAS la hidrostática del lugar, que puede ser muy superior.



Y ahora algunas definiciones importantes

Si consideramos el funcionamiento de un sensor de presión como un pistón donde un diafragma separa dos regiones de presiones diferentes, podemos definir Presión...

- Absoluta: medimos respecto del vacío (pej en altímetros)
- Relativa: respecto de la ambiente (atmosférica la mayoría de las veces)
- Diferencial: diferencia entre dos presiones
- Diferencial sellada: diferencia respecto de una referencia sellada

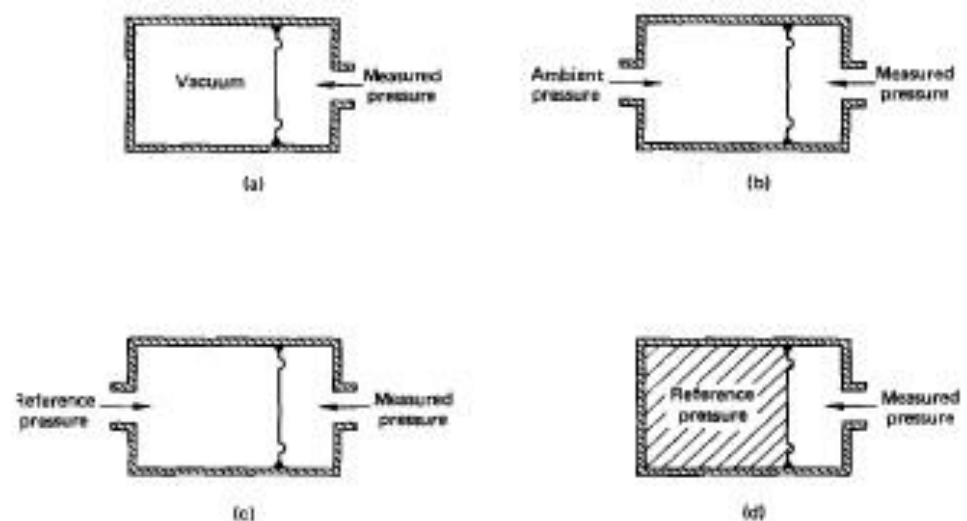


FIGURE 15-2. Pressure reference configurations: (a) absolute pressure; (b) gage pressure; (c) differential pressure; (d) differential pressure, sealed reference.

- Un manómetro usualmente mide la presión relativa o de gage respecto de la presión ambiente, normalmente la atmosférica



UNIDADES Y ESCALAS



Unidades de presión: Derivadas de $P=F/S$

La mala noticia es que todas las unidades se usan, según la aplicación, ergo hay que conocerlas

Unidades derivadas de $P=F/S$

- El SIMELA define el Pascal: $1 \text{ Pa} = \text{Newton}/\text{m}^2$
- Como es una unidad muy pequeña, se define $1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa}$
- Si $F = m \cdot a$, $1 \text{ Kgf} = 9,8 \text{ N}$, de ahí $1 \text{ kg}/\text{cm}^2 = 980.000 \text{ Pa}$
- Si $1 \text{ lb (pound)} = 0,450 \text{ Kg}$ y $1'' (\text{inch}) = 2.54 \text{ cm}$, entonces la muy usada psi (pound per square inch) o libra por pulgada cuadrada
- Será $1 \text{ kg}/\text{cm}^2 = 14.28 \text{ psi}$



Unidades de presión: hidrostáticas

La clave es recordar que: $1 \text{ Atm} = 760 \text{ mmHg}$

Si $\delta_{\text{Hg}} = 13,59 \text{ g/cm}^3$ y $\delta_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ g/cm}^3$

Entonces:

$1 \text{ Atm} = 10,30 \text{ m de agua}$ y también $1 \text{ Atm} = 0,97 \text{ kgf/cm}^2$



OJO: no tentarse a redondear demasiado y perder el concepto de donde vienen las conversiones de unidades.

Conversiones de unidades

$$1 \text{ bar} \leftrightarrow 100 \text{ kPa} \quad 1 \text{ kgf} \leftrightarrow 9,8 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ lb} \leftrightarrow 4,44 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad 1 \text{ in} \leftrightarrow 2.54 \text{ cm}$$

$$\delta_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ g/cm}^3 \quad \delta_{\text{Hg}} = 13,59 \text{ g/cm}^3$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} \rightarrow \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$760 \text{ mmHg} = 13,59 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot \frac{1}{1000} \frac{\text{kg}}{\text{g}} \cdot \frac{760 \text{ mm}}{10 \frac{\text{mm}}{\text{cm}}} = 1,03 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$1 \text{ mmHg} \rightarrow \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$1 \text{ mmHg} = \frac{1,03 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}{760 \text{ mmHg}} = 1,36 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \rightarrow \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{\frac{1}{9.8} \text{ kgf}}{(100 \text{ cm})^2} = 1,02 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Conversiones de unidades

$$\text{PSI} = \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \rightarrow \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{\text{lb}}{\text{in}^2} = \frac{0.45 \text{ kgf}}{(2.54 \text{ cm})^2} = 0.07 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{mmH}_2\text{O} \rightarrow \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$1 \text{ mmH}_2\text{O} = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot \frac{1}{1000} \frac{\text{kg}}{\text{g}} \cdot \frac{1}{10} \frac{\text{mm}}{\text{cm}} = 1 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa} \rightarrow \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa} = 100 \text{ k} \cdot 1.02 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 1.02 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Tabla de conversiones

	kfg/cm ²	Pa	atm	bar	mmHg	mmH ₂ O	PSI
kgf/cm ²	1	98.039,20	0,97	0,98	735,3	10.000	14,28
Pa	$1,02 \cdot 10^{-5}$	1	$9,9 \cdot 10^{-6}$	$10 \cdot 10^{-6}$	$7,5 \cdot 10^{-6}$	0,102	$1,46 \cdot 10^{-4}$
atm	1,03	100.980,40	1	0,9991	760	10.300	14,7
bar	1,02	100.000	0,99	1	750	10.200	14,56
mmHg	$1,36 \cdot 10^{-3}$	133,33	$1,32 \cdot 10^{-3}$	$1,33 \cdot 10^{-3}$	1	14	0,02
mmH ₂ O	$1 \cdot 10^{-4}$	9,8	$9,7 \cdot 10^{-5}$	$9,8 \cdot 10^{-5}$	0,073	1	$1,42 \cdot 10^{-3}$
PSI	0,07	6.862,70	0,068	0,069	51,41	700	1



¿Como indicamos la referencia que se toma para indicar la presión?





- **Presión absoluta.** Cuando la presión se mide en relación con un vacío perfecto, se llama presión absoluta (**a**). La letra “**a**” en la unidad se utiliza para dejar en claro que la presión es relativa a un vacío en lugar de la presión atmosférica ambiental. Dado que la presión atmosférica al nivel del mar es de alrededor de 101.3 kPa (14.7 psi), esto se agregará a cualquier lectura de presión realizada en el aire al nivel del mar.





• **Presión manométrica.** Cuando la presión se mide en relación con la presión atmosférica, se denomina presión manométrica (**g**). El término presión manométrica se aplica cuando la presión en el sistema es mayor que la presión atmosférica local, p_{atm} . La última escala de presión se desarrolló porque casi todos los manómetros registran cero cuando están abiertos a la atmósfera. Las presiones de los manómetros son positivas si están por encima de la presión atmosférica y negativas si están por debajo de la presión atmosférica.





Process Conditions

Process temperature ⓘ

Measurement range ⓘ

Static pressure ⓘ

Important for your Application

From to °C ▼

From to bar_a ▼

From to bar ▼

- bar_a
- bar
- bar_g
- kg/cm2
- kPa
- kPa_a
- kPa_g
- mbar
- mbar_a
- mbar_g
- MPa
- MPa_a
- MPa_g
- N/m2
- N/m2_a
- N/m2_g
- atm
- atm_a
- atm_g
- g/cm2

Installation

Process connection ⓘ

Diaphragm ⓘ

☐ None diaphragm seal

☐ Local display ⓘ

Measurement Performance

Accuracy ⓘ

Turndown ⓘ

Dashboard

Product Results

- Recommended
- Suitable (34)
- Restricted
- Not suitable

Principles results

- Gauge pressure (2)
- Absolute and gauge pressure (13)
- Hydrostatic pressure (7)
- Pressure switch (3)
- Differential pressure (9)

Your Parameters

- > Industry requirements (0)
- > Device requirements (0)

Ejemplo selección de unidades de presión – Endress Applicator



• **Presión atmosférica.** La presión atmosférica es la presión en el aire circundante en – o “cerca” de – la superficie de la tierra. La presión atmosférica varía con la temperatura y la altitud sobre el nivel del mar. La **presión atmosférica estándar** se aproxima a la presión promedio al nivel del mar en la latitud 45° N. La **presión atmosférica estándar** se define al nivel del mar a 273° K (0° C) y es:

• ***101325 Pa***

• ***1.01325 bar***

• ***14.696 psi***

• ***760 mmHg***

• ***760 torr***





Ejemplo 1:

Un neumático de automóvil inflado hasta 2.5 atm (36.75 psig) por encima de la presión atmosférica local (digamos 1 atm o 14.7 psia localmente), tendrá una presión absoluta de $2.5 + 1 = 3.5$ atm ($36.75 + 14.7 = 51.45$ psia o 36,75 psig).

Ejemplo 2:

Las turbinas de vapor de condensación (en centrales nucleares) expulsan vapor a una presión muy por debajo de la atmosférica (por ejemplo, a 0,08 bar u 8 kPa o 1,16 psia) y en un estado parcialmente condensado. En unidades relativas es una presión manométrica negativa de aproximadamente -0.92 bar, -92 kPa, o -13.54 psig.





TIPOS DE SENSORES DE PRESIÓN

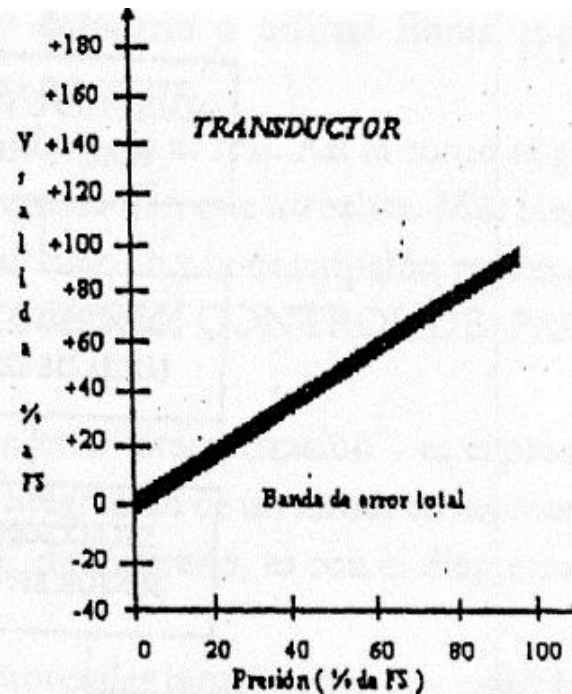
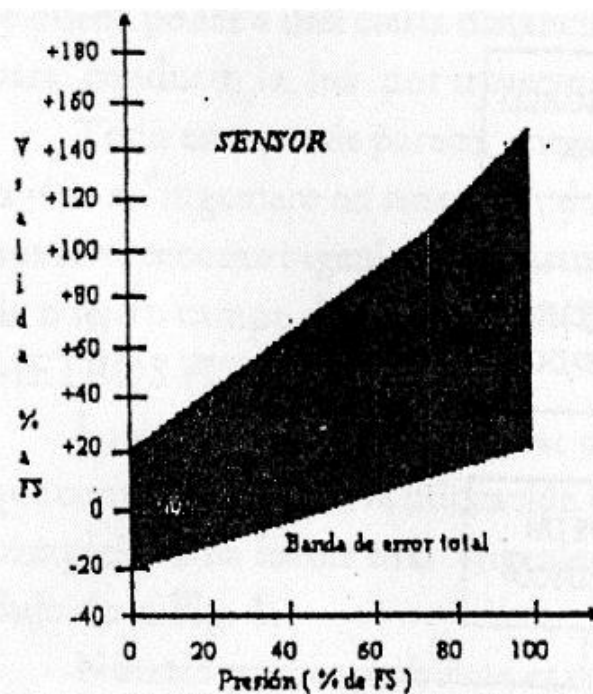


A menudo, las palabras **sensor** y **transductor** se utilizan como sinónimos; sin embargo, la palabra *sensor* sugiere la ampliación de los sentidos para obtener un conocimiento de cantidades físicas que por su naturaleza o magnitud no pueden ser percibidas directamente.

Transductor, en cambio, sugiere que la señal de entrada y la de salida son de distinto tipo.

También es posible diferenciar a los transductores y sensores de manera más técnica. **El sensor es el elemento primario o básico** en el que alguna característica eléctrica (por ej. su resistencia) varía en relación con la magnitud física a medir). El sensor así descrito raramente es utilizado, salvo en aplicaciones del tipo todo-nada o donde no se requiere precisión.





Sensor Típico	Parámetros	Transductor Típico
$\pm 50\%$	Sensibilidad	$\pm 1\%$
$\pm 20\%$	Balance de Cero (nulo)	$\pm 1\%$
$\pm 0.5\%$	No linealidad y Histéresis	$\pm 0.5\%$
$\pm 10\%$	Coefficiente Térmico de Presión	$\pm 0.5\%$
$\pm 5\%$	Coefficiente Térmico de Cero	$\pm 0.5\%$
a ser calibrado	Banda Total de Error	1.5% RSS

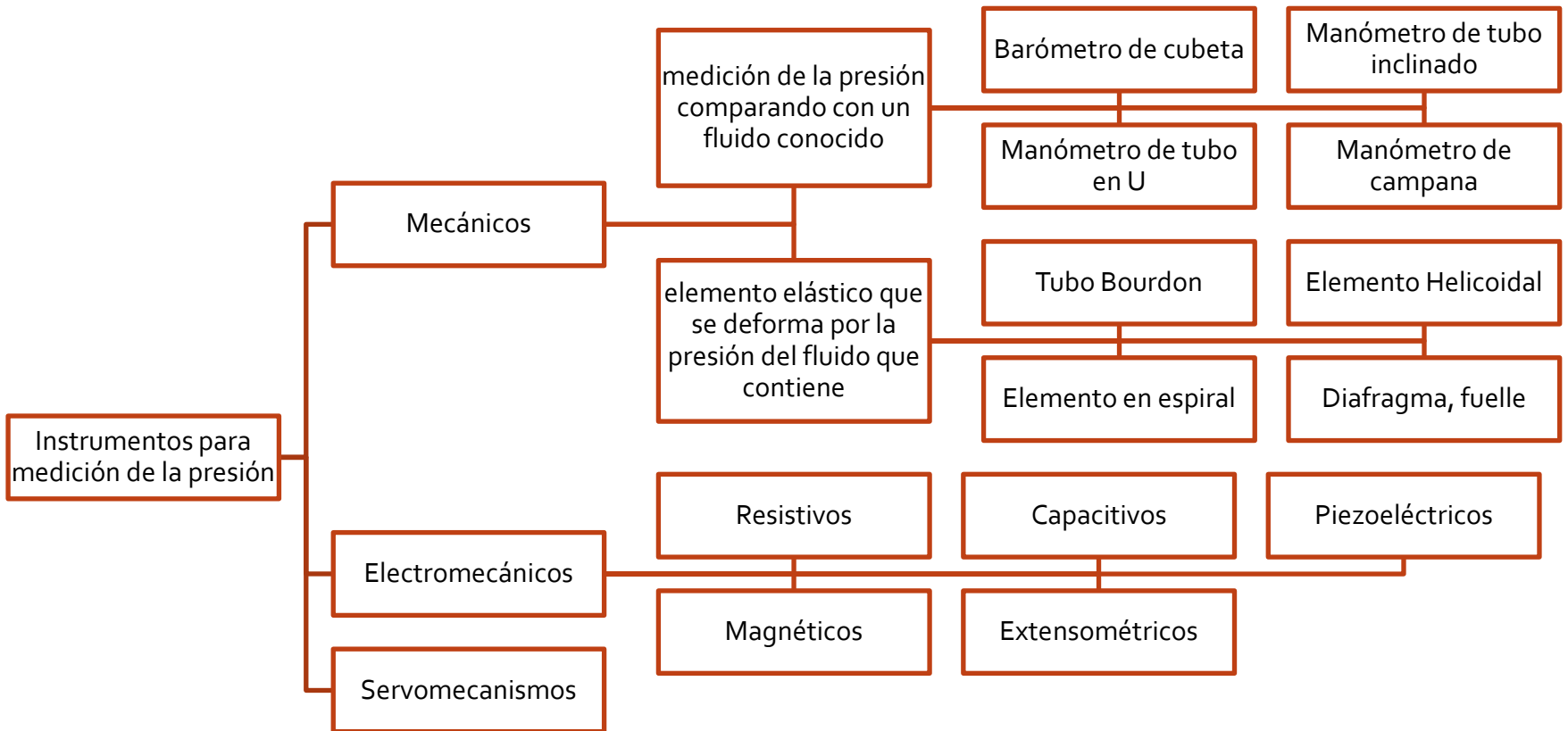
Sensores vs transductores

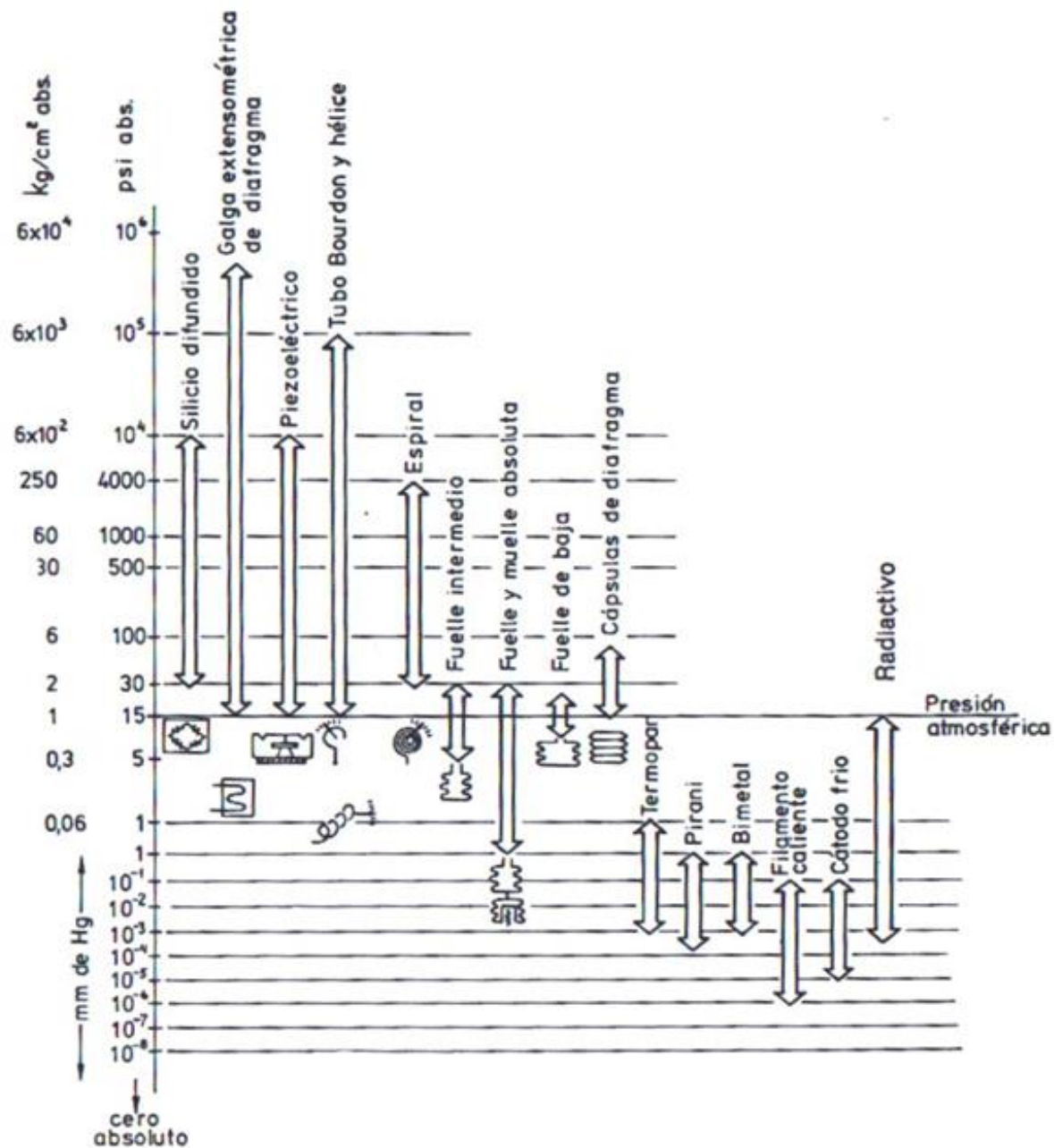
Para lograr un transductor, se utilizan uno o más elementos sensores y se les agrega todos los elementos necesarios para compensar las imprecisiones, con el fin de obtener una señal calibrada con la suficiente precisión para permitir intercambiabilidad y asumir la función de transferencia ideal:

$$\textit{Salida (mA, V o R)} = K * \textit{Entrada (magnitud física)}$$



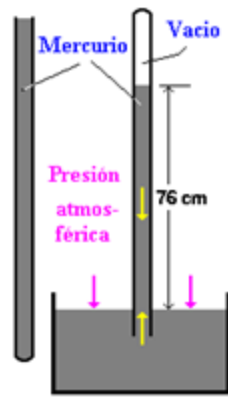
Panorama sensores de presión



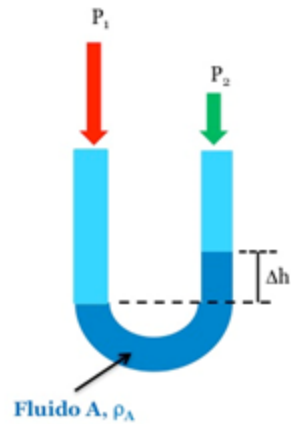


Instrumentos de presión y campo de aplicación.

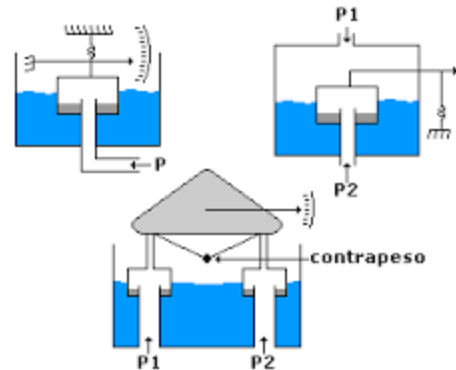
Algunos sistemas de medición de presión



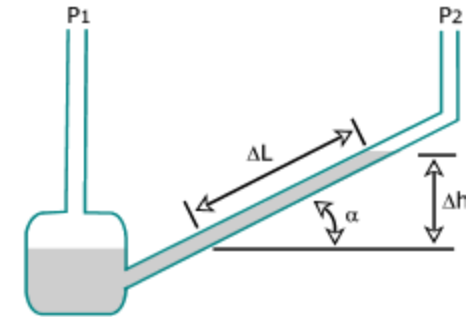
Barómetro de cubeta



Manómetro de tubo en U



Manómetro de Campana



Manómetro de tubo inclinado

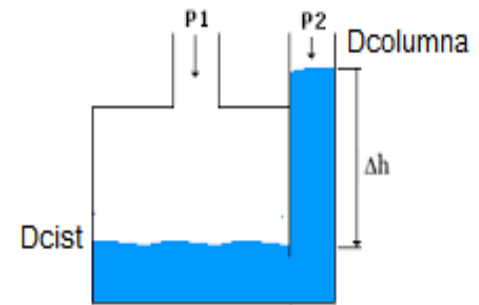


Algunos sistemas de medición de presión

En el caso del manómetro de tubo en U, se calcula la presión a partir de la ecuación: $P_1 = \rho g \Delta h + P_2$, donde P_2 suele ser la presión atmosférica.

En el caso de una cisterna, se pueden medir presiones relativas positivas y negativas mediante la ecuación:

$$P_1 - P_2 = \rho g \Delta h \left(1 + \left(\frac{D_{colum}}{D_{cist}} \right)^2 \right)$$



La misma ecuación se aplica en el caso del tubo inclinado, con la corrección de la altura debido al ángulo ($\sin \alpha$).





El verdadero sensor es el diafragma

Los transductores de presión están formados básicamente de dos partes principales: el sensor, que es un elemento elástico que sirve para convertir la presión en desplazamientos o movimientos, y la segunda parte, que se encarga de convertir dichos desplazamientos o deformaciones en señales eléctricas a través de transductores



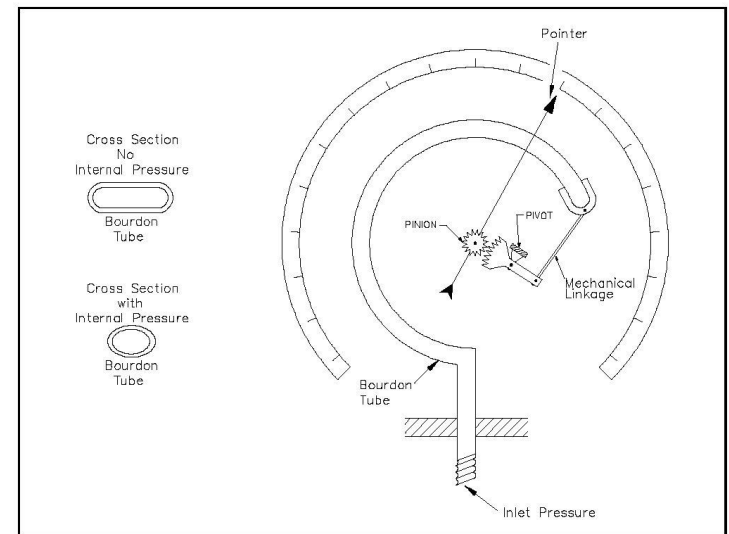
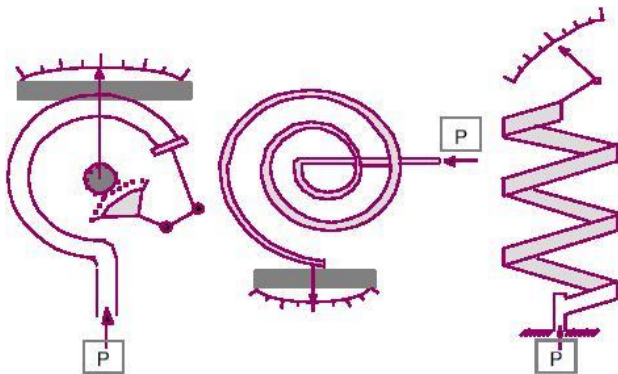
Los sensores de presión utilizan un elemento deformable (diafragma). El mismo debe ser más delgado que el contenedor y se debe cuidar que el fluido no dañe al diafragma y viceversa. En caso de ser necesario, se utiliza un fluido intermedio o membrana intermedia para separar al sensor del fluido corrosivo o dañino

Algunos sistemas de medición de presión

Tubo de Bourdon:

Es un tubo curvo aplanado de bronce o acero. A medida que se aplica presión en su interior debido a un fluido, el tubo se deforma.

El mismo principio se aplica a los elementos espiral y helicoidal, siendo estos más sensibles, ya que se obtiene una mayor longitud de desplazamiento de la aguja indicadora.



Distintos tipos de diafragma

Los diafragmas pueden ser:

- a) Planos: no se deforman uniformemente
- b) Esféricos: se deforman uniformemente
- c) Catenario
- d) Cabeza tambor
- e) Anular (a nivel)
- f) Anular (empotrado)

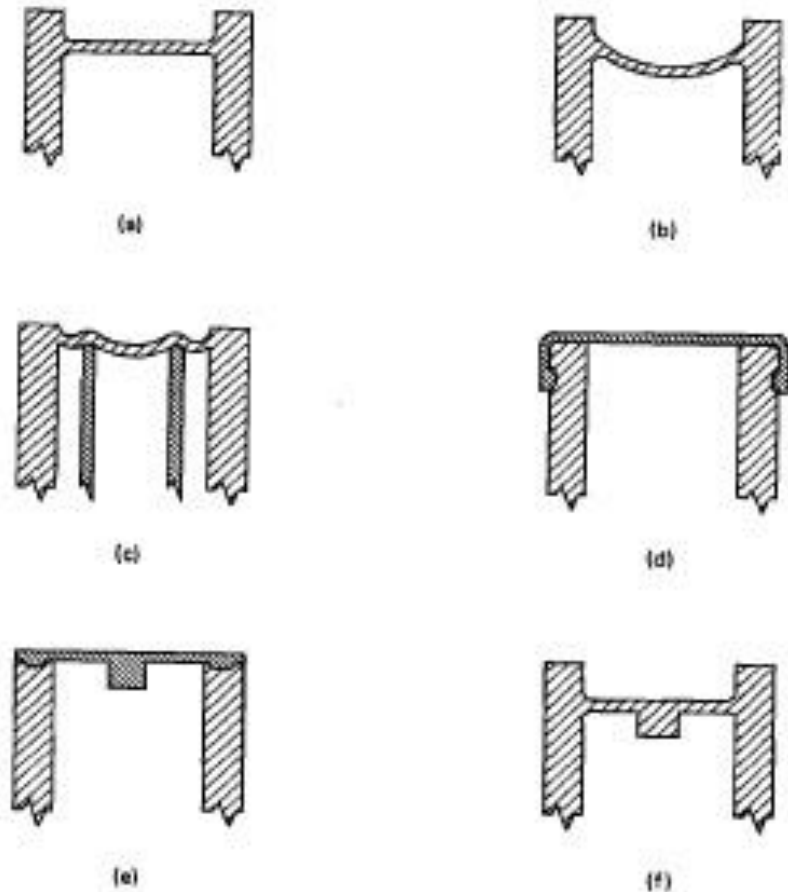


FIGURE 15-3. Flat diaphragms: (a) flat diaphragm; (b) spherical diaphragm; (c) catenary diaphragm; (d) drumhead diaphragm; (e) annular diaphragm (flush); (f) annular diaphragm (recessed).

Mas diafragmas y otros sistemas

- El diafragma corrugado es mas sensible que el plano porque ofrece mayor superficie
- Por la misma razón, el doble corrugado o cápsula tiene mayor sensibilidad que el corrugado simple
- Y por lo mismo, el de tipo fuelle (bellows) tendrá una sensibilidad mucho mayor

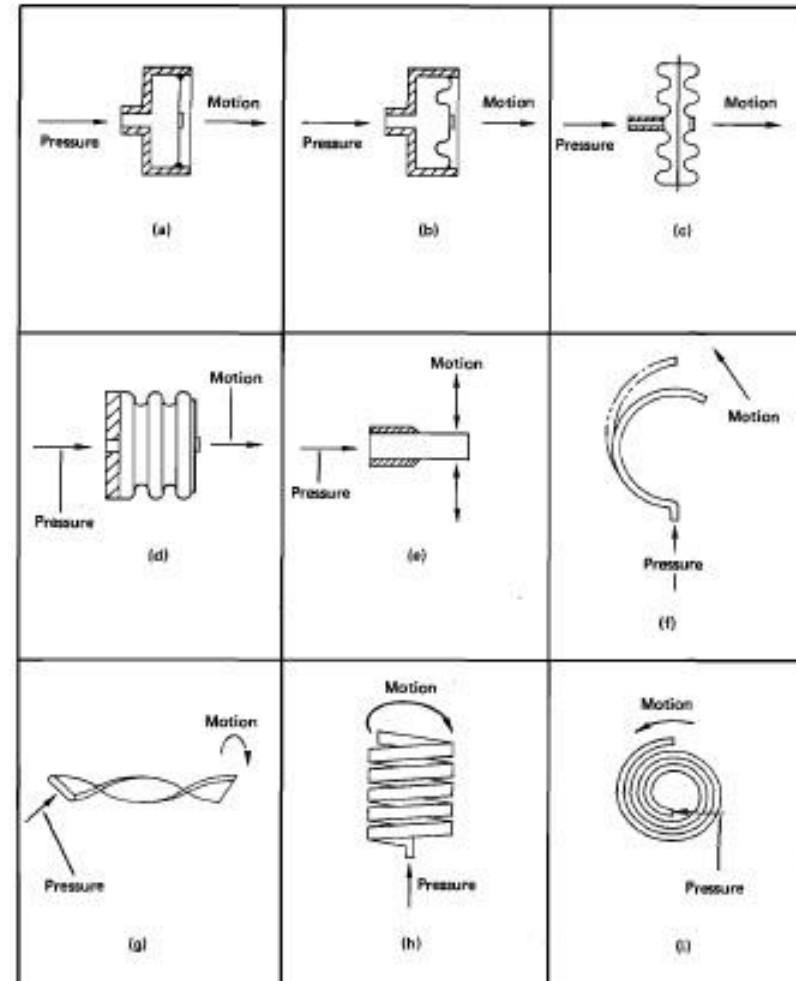


FIGURE 15-1. Pressure-sensing elements: (a) flat diaphragm; (b) corrugated diaphragm; (c) capsule; (d) bellows; (e) straight tube; (f) C-shaped Bourdon tube; (g) twisted Bourdon tube; (h) helical Bourdon tube; (i) spiral Bourdon tube.



Un fabricante puede ofrecer un mismo tipo de elemento básico que lo convierten en sensor de todos los tipos anteriormente descritos según el encapsulado

PRESSURE PACKAGING OPTIONS

4-PIN



BASIC ELEMENT
CASE 344-15
SUFFIX A/D



GAUGE PORT
CASE 344B-01
SUFFIX AP/GP



GAUGE VACUUM PORT
CASE 344D-01
SUFFIX GVP



DUAL PORT
CASE 344C-01
SUFFIX DP



AXIAL PORT
CASE 344F-01
SUFFIX ASX/GSX



MEDICAL CHIP PACK
CASE 423-04



AXIAL VACUUM PORT
CASE 344G-01
SUFFIX GVSX



STOVEPIPE PORT
CASE 344A-01
SUFFIX GVS



STOVEPIPE VACUUM PORT
CASE 344E-01
SUFFIX AS/GS

6-PIN



BASIC ELEMENT
CASE 867-08



GAUGE PORT
CASE 867B-04



GAUGE VACUUM PORT
CASE 867D-04



DUAL PORT
CASE 867C-05

|| Clasificación de los sensores de presión:

Por el tipo de presión que miden:

1. Sensor de presión diferencial
2. Sensor de presión absoluta o de vacío
3. Sensor de presión relativa





1. Sensor de presión diferencial

Es una medida de la *diferencia de presión entre dos valores de presión o dos puntos de presión en el sistema*, por lo que se mide en qué medida los dos puntos se diferencian entre sí, no en su magnitud con respecto a la presión atmosférica u otra presión de referencia, como el vacío absoluto.

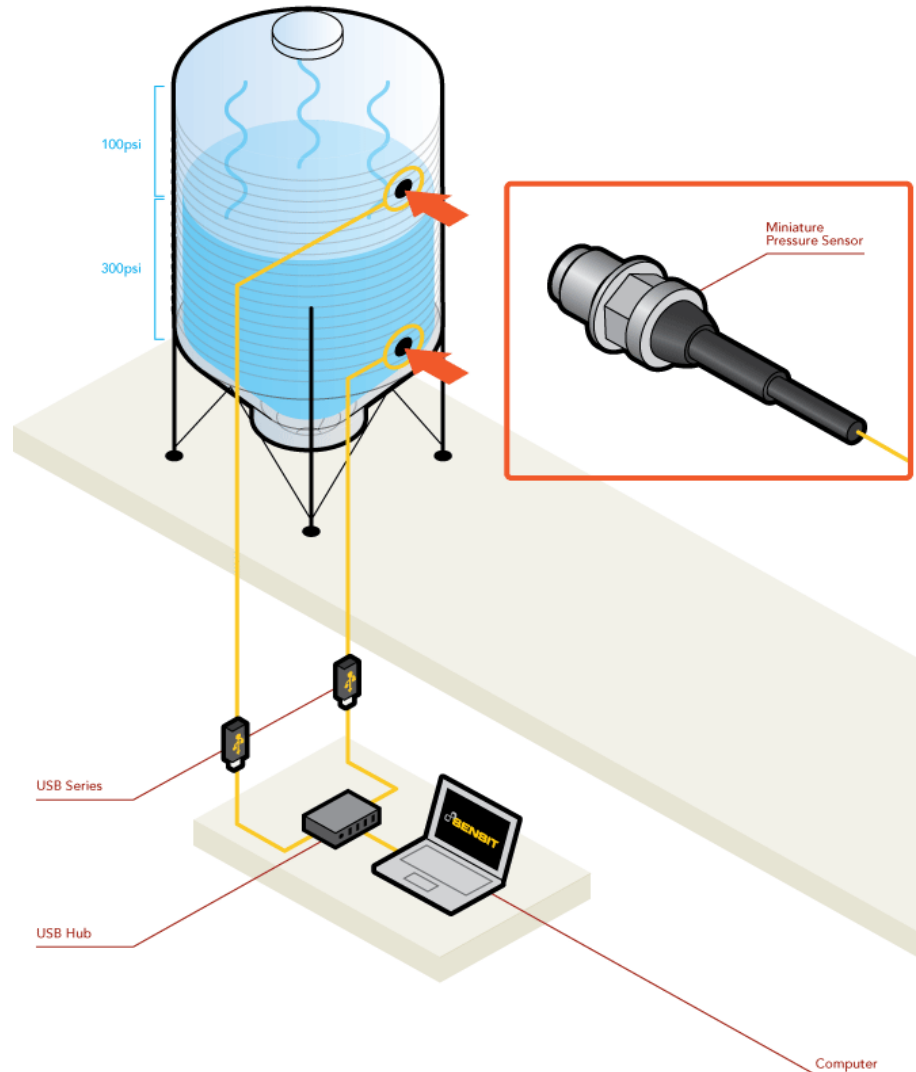
Esto es diferente de un sensor de presión estática o absoluta que mediría la presión usando un solo puerto y, por lo general, los sensores de presión diferencial están empaquetados con dos puertos a los que se pueden unir y conectar tuberías al sistema en dos puntos de presión distintos desde donde la presión diferencial se puede medir y calcular.

Este método de medición de la presión se usa típicamente para medir el flujo de un líquido o un gas en tuberías o conductos.





Medición de presión diferencial



Medición del nivel del tanque mediante sensor de medición de presión diferencial.



2. Sensor de presión absoluta o de vacío:

Este sensor mide la presión absoluta, que se define como la presión medida en relación con un vacío sellado perfecto. Los sensores de presión absoluta se utilizan en aplicaciones donde se requiere una referencia constante. Estas aplicaciones requieren referencia a una presión fija, ya que no pueden simplemente referirse a la presión ambiental circundante. Por ejemplo, las *aplicaciones industriales* de alto rendimiento como la supervisión de bombas de vacío, la medición de la presión de líquidos, el envasado industrial, el control de procesos industriales y la *inspección aeroespacial* y de *aviación* utilizan esta técnica. Cuando se trata de medir la presión del aire, específicamente para aplicaciones como *mediciones barométricas para el clima o en altímetros*, un sensor de presión absoluta es el dispositivo de elección.

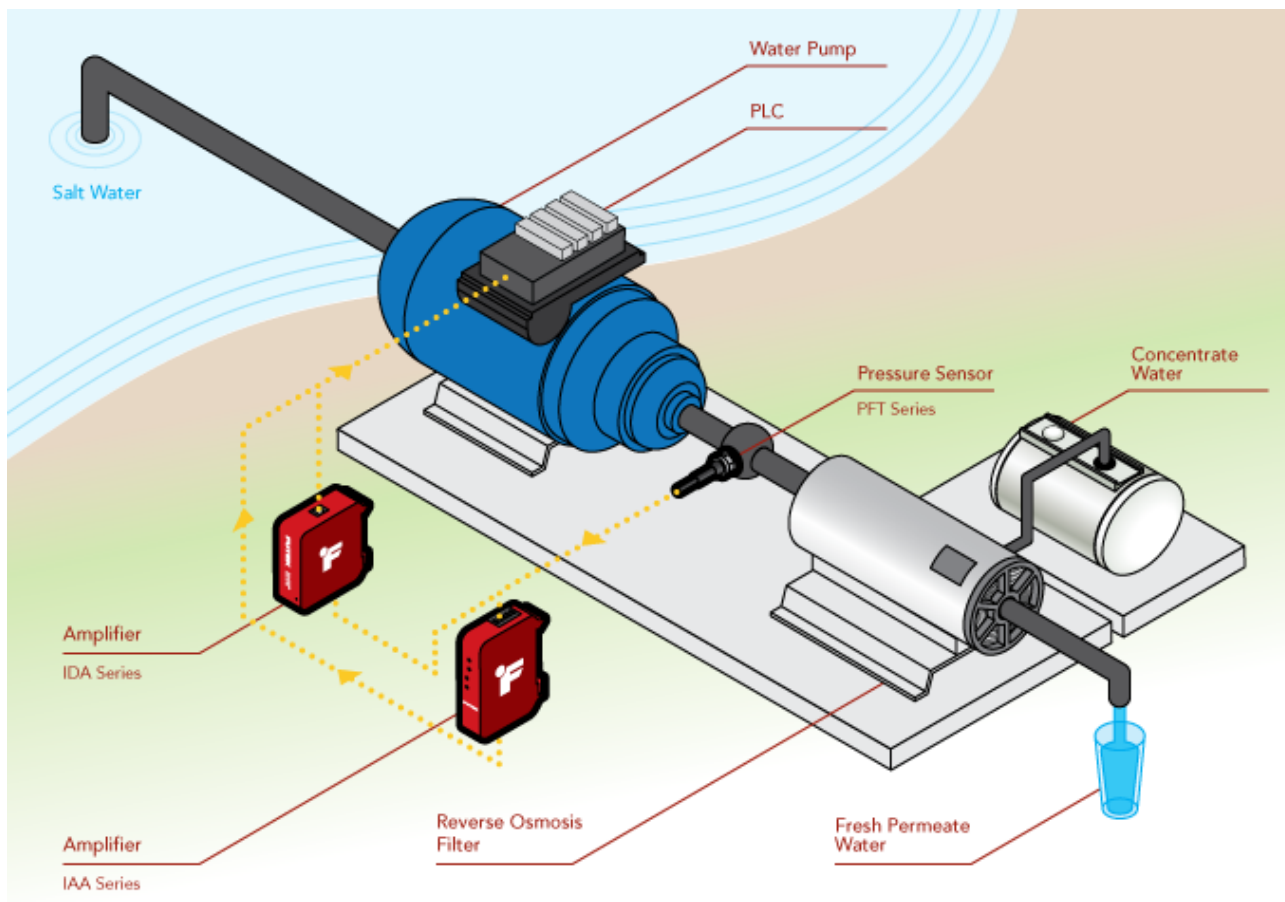




3. Sensor de presión relativa o manométrica:

la presión manométrica es simplemente un caso especial de presión diferencial con presiones medidas de manera diferencial, pero *siempre en relación con la presión ambiental local*. En el mismo sentido, la presión absoluta también se puede considerar una presión diferencial donde la presión medida se compara con un vacío perfecto. Los cambios de la presión atmosférica debido a las condiciones climáticas o la altitud influyen directamente en la salida de un sensor de presión manométrica. Una presión manométrica superior a la presión ambiental se denomina presión positiva. Si la presión medida está por debajo de la presión atmosférica, se denomina presión manométrica negativa o de vacío.





Medición de presión mediante un sensor de presión en un sistema de bombeo de agua



Clasificación de los sensores de presión:

Por su tecnología:

1. Piezoeléctricos
2. Piezorresistivos (strain gauges – galgas extensiométricas)
3. Capacitivos
4. Resonantes
5. Electromagnéticos
6. Ópticos
7. Otros (potenciométricos, servoasistido, térmicos, de ionización)



1. Piezoeléctricos

1. Piezoeléctrico

El material piezoeléctrico es un cristal que produce una tensión diferencial proporcional a la presión aplicada en sus caras. Se utiliza Cuarzo, sal de la Rochelle, titanio de bario, turmalina etc. Este material acumula cargas eléctricas en ciertas áreas de su estructura cristalina cuando sufren una deformidad física por acción de una presión. La piezoelectricidad fue descubierta por Pierre y Jacques Curie en 1880.

La relación entre la carga eléctrica y la presión aplicada al cristal es prácticamente lineal:

1. Piezoeléctricos

$$q = Sq \times Ap$$

p : presión aplicada,

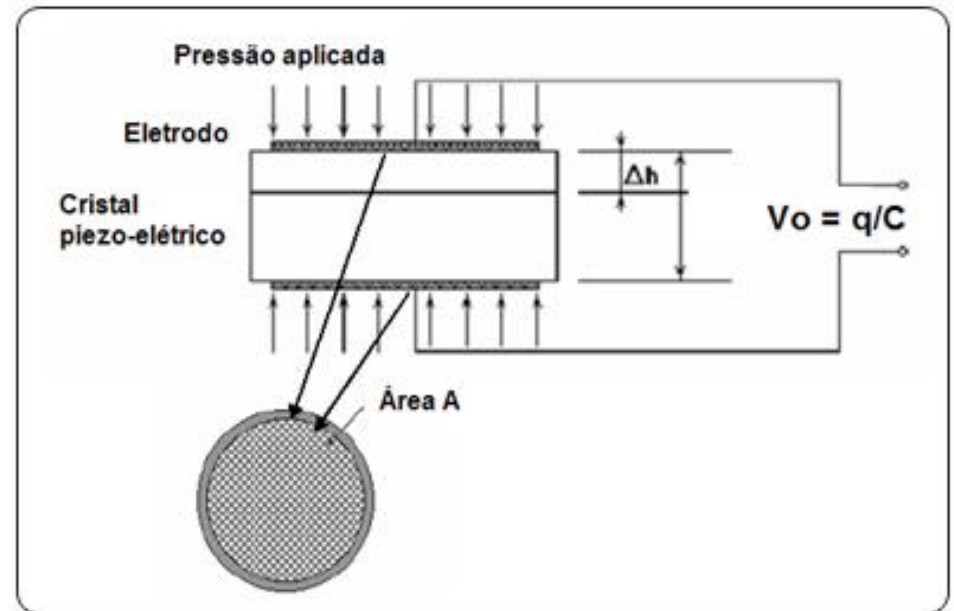
A : área del electrodo,

Sq : sensibilidad,

q : carga eléctrica,

C : capacidad del cristal,

V_o : tensión de salida





1. Piezoeléctricos

Tenga en cuenta que el *efecto piezoeléctrico* es diferente del *efecto piezorresistivo*. Aunque ambas terminologías están asociadas a los efectos de la presión aplicada sobre los materiales (*piezo* se deriva de la palabra griega para presión física), el efecto piezorresistivo está relacionado con el cambio en la resistencia eléctrica, mientras que el efecto piezoeléctrico está relacionado con la producción de potencial eléctrico (voltaje carga) en el material.

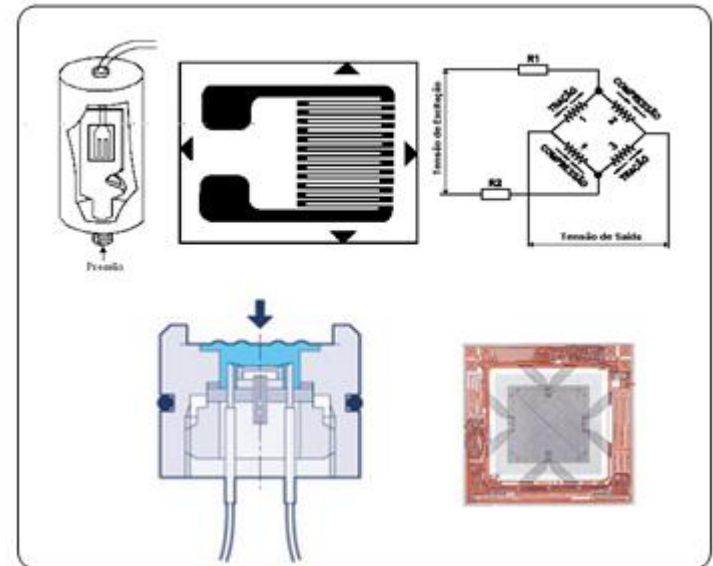
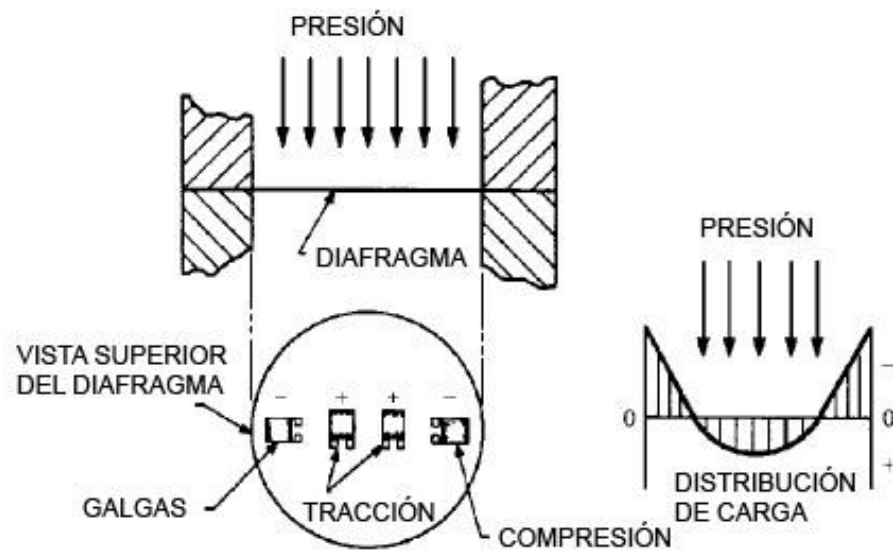
2. Piezorresistivos

2. Piezorresistivos (galgas extensiométricas / strain gauges)

Utilizan un diafragma acoplado a strain gauges conectados a un puente de Wheatstone completo. Al deformarse el diafragma, varía la resistencia del strain gauge, pero no es sencillo lograr que los 4 sg tengan la misma deformación, $2 +$ y $2 -$

Son de las más usadas, las hay de strain gages pegadas sobre diafragma metálico (para fluidos “complicados”, altas presiones y temperaturas) y de estado sólido, muy baratas pero frágiles al fluido (usualmente aire o a lo sumo agua), la T y para bajas presiones. Son usualmente bastante imprecisas como elemento básico por lo que necesitan compensación si pretendemos precisión.

2. Piezorresistivos



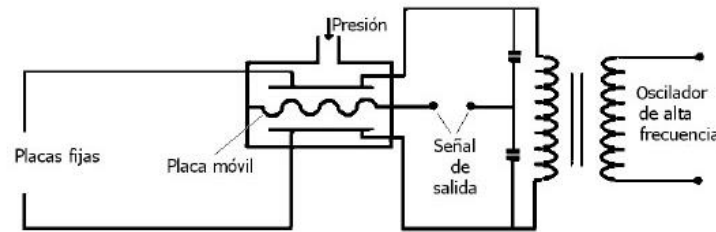
3. Capacitivos

3. Capacitivos

Se basan en la variación de capacidad que se produce debido al desplazamiento de una de las placas de un condensador por la aplicación de una presión.

La placa móvil se encuentra ubicada entre dos placas fijas. El diafragma, al deformarse, cambia la distancia entre las placas, modificando las capacidades:

$$C = \varepsilon \frac{A}{d}$$

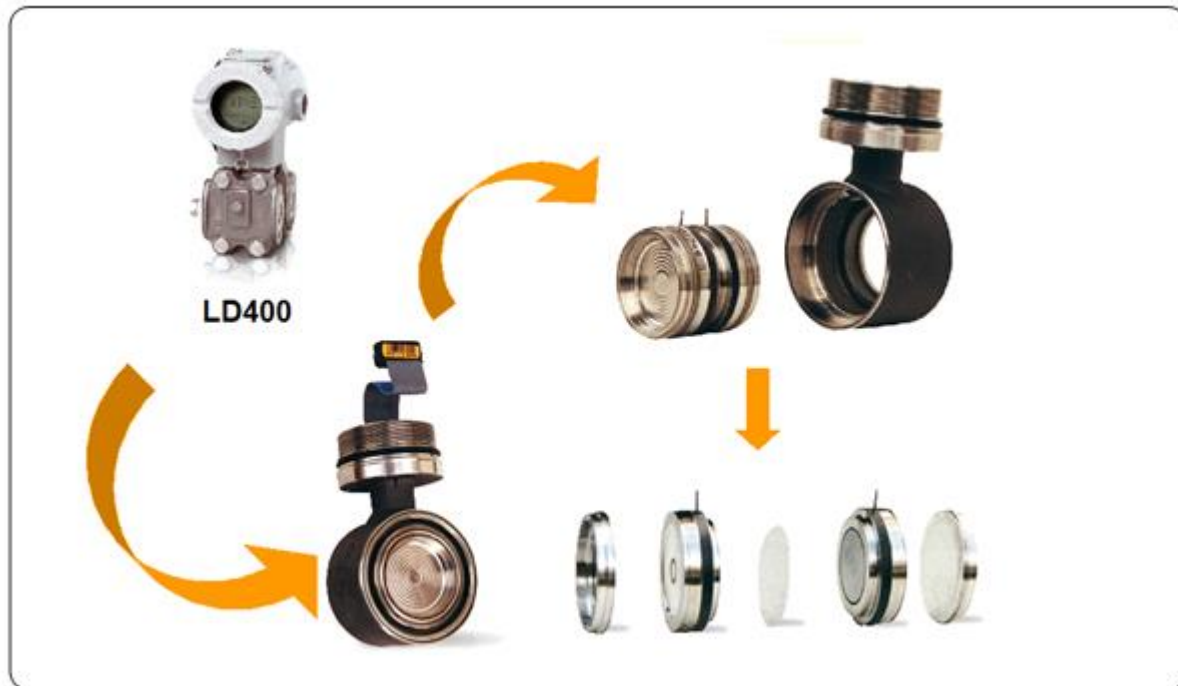


De esta forma, una capacitancia aumenta y la otra disminuye, obteniendo el doble de la señal y cancelando efectos indeseables (sensor diferencial).

Son sensores pequeños y robustos. La señal que producen es débil y requiere ser amplificada, con riesgo de inducir ruido en la medición. Además, son sensibles a las variaciones de temperatura y a las vibraciones.

3. Capacitivos

Las tecnologías comunes utilizan diafragmas de metal, cerámica y silicona. La capacitancia se puede calibrar para proporcionar una lectura de presión precisa.



Ejemplo de construcción de sensor capacitivo.

4. Resonantes

4. Resonantes

Poseen en general el principio de la tecnología conocida como “vibrating wire”.

A diferencia de las tecnologías anteriores, cuyo principio de funcionamiento se basa en la deflexión de un cuerpo de medición, los sensores de presión resonantes utilizan los cambios en la frecuencia de resonancia en un mecanismo de detección para medir el esfuerzo provocado por la presión aplicada. Dependiendo del diseño de estos sensores, el elemento resonante puede estar expuesto al medio. En tal caso, la frecuencia de resonancia depende de la densidad del medio. En algunos casos, estos sensores son sensibles a los impactos y las vibraciones.

4. Resonantes

Un resorte de hilo magnético es anejado al diafragma que, al ser sometido a un campo magnético y ser recorrido empieza a oscilar. La frecuencia de oscilación es proporcional al cuadrado de la tensión (expansión/compresión) del hilo.

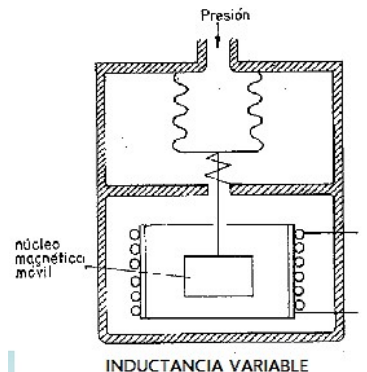
En el sensor de *Silicio Resonante* se usa el silicio para resonar con diferentes frecuencias que son funciones del tipo $1/f^2$ de la expansión/compresión. El sensor es formado por una cápsula de silicio ubicada en un diafragma que vibra al aplicarse un diferencial de presión y la frecuencia de vibración depende de la presión aplicada.

5. Electromagnéticos

5. Electromagnéticos

Miden el desplazamiento de una membrana utilizando distintos principios de medida: cambios en la inductancia (reluctancia), LVDT, efecto Hall o corrientes parásitas.

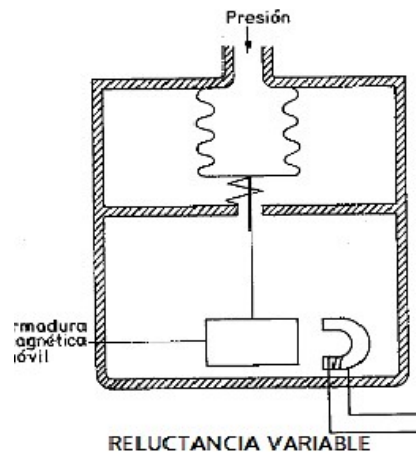
LVDT (lineal variable diferencial transformer): al desplazarse el núcleo del transformador por la deformación del diafragma varía el nivel de acoplamiento entre el primario y el secundario.



5. Electromagnéticos

Reluctancia variable

Se componen de un imán o electroimán permanente y un núcleo ferromagnético móvil. Este se desplaza por la deformación de un diafragma, variando la reluctancia del circuito magnético y, por ende, la inductancia de una bobina.



6. Ópticos

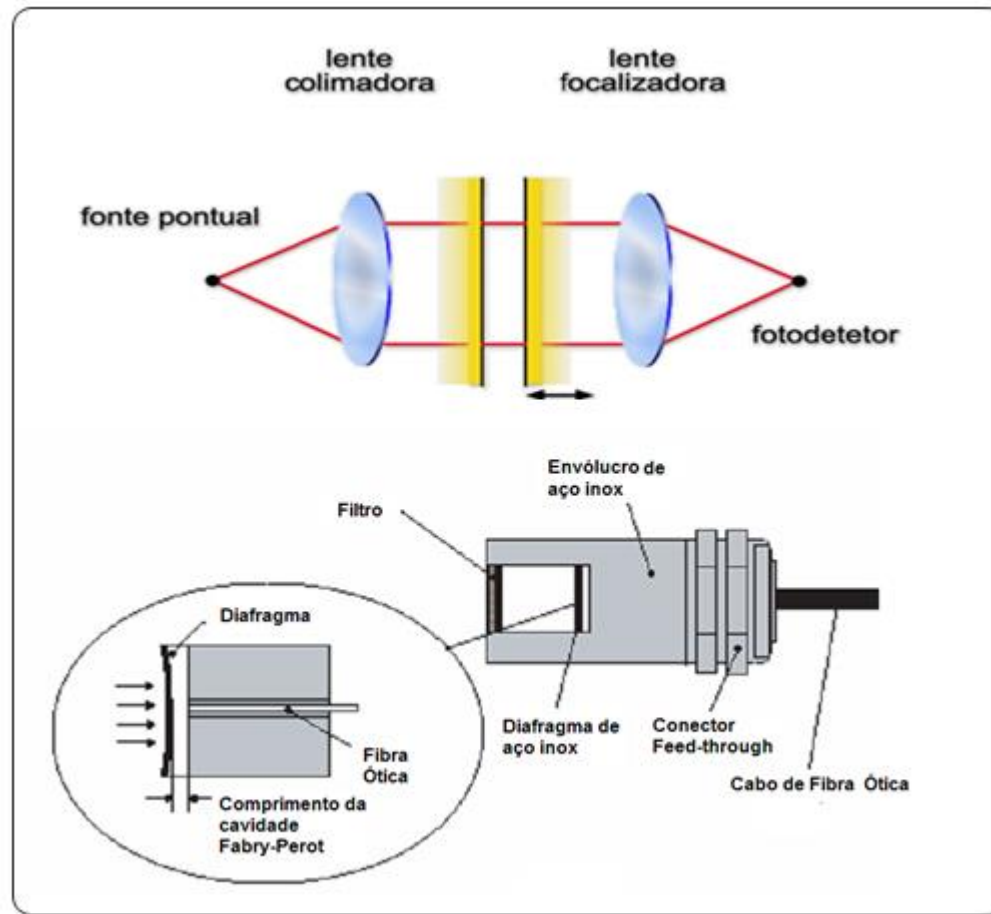
6. Ópticos

Los sensores a fibras ópticas son compactos y presentan sensibilidad comparable a los similares convencionales. Los sensores de presión son contruidos con una membrana móvil en una de las extremidades de la fibra. Algunas ventajas de estos sensores son: alta sensibilidad, tamaño reducido, flexibilidad y resistencia, poco peso, larga vida útil, larga distancia de transmisión, baja reactividad química del material, son ideales para funcionar en ambientes de alta tensión, inmunidad electromagnética, señales multiplexados, o sea, una única fibra puede producir docenas de instrumentos, y puede medir vibración, presión, temperatura, flujo multifásico, deformación, etc.

6. Ópticos

Una técnica utilizada en la construcción de sensores ópticos es el Interferómetro Fabry-Perot, un dispositivo usado por lo general en mediciones de larguras de ondas con alta precisión, donde esencialmente dos espejos parcialmente reflectores de vidrio o cuarzo se alinean y se obtiene el contraste máximo y mínimo de franjas entre ellos por variación mecánica. Esta variación de distancia también podría generarse por presión y, con eso, tendríamos un sensor de presión.

6. Ópticos



Sensor de Presión con el Principio de Fabry-Perot.

7. Otros

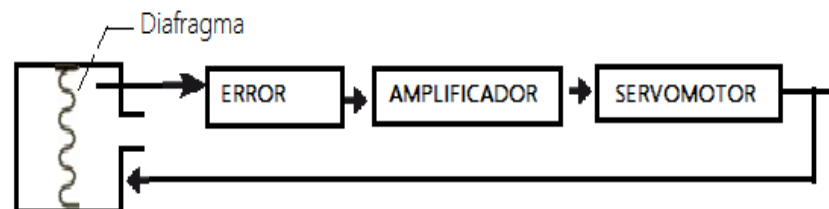
7. Potenciométricos

La variación del movimiento de un elemento mecánico (tubo de Bourdon, diafragma, fuelle) se combina con la variación de la resistencia de un potenciómetro. Son sensores simples, con salidas de señal que no requieren amplificación y, al ser la salida potenciométrica, puede ser lineal o logarítmica. Como desventaja, son sensibles a las condiciones ambientales tales como vibraciones y cambios de temperatura, y sufren desgaste debido al rozamiento. Están limitados a señales que varían muy lentamente por ej. profundidad de agua en un dique o puerto

7. Otros

7. Sensor de presión servoasistido

El diafragma al deformarse por la presión genera una señal de error. Esta señal se amplifica y, según el valor de la misma, actúa un posicionador que vuelve el diafragma a su posición original. Se busca que el diafragma no se desplace, sino que se mide la energía necesaria para evitar el desplazamiento del mismo. Son muy precisos, pero son costosos ya que trabajan junto a un sistema de control.





7. Otros

7. Térmicos

Miden la presión a partir de los cambios en la conductividad térmica de un gas que se producen como resultado de variaciones en la densidad. Un ejemplo típico de este tipo de sensores es el vacuómetro *Pirani*.





7. Otros

7. De ionización

Miden las variaciones en el flujo de partículas de gas cargadas (iones) causados por cambios en la densidad. Un ejemplo común de este tipo de sensores son los transductores de cátodo caliente y de cátodo frío.



Especificaciones de sensores

La natural variabilidad y falta de precisión en la fabricación de strain gauges (dispersión de valores) y su instalación (dificultad en lograr que las 4 midan la misma deformación por pares $\pm\Delta x$) traen, en promedio, una dispersión de performance que está lejos de la función de transferencia ideal: $Y = kX$.

En la práctica ello se traduce en una importante dispersión en las especificaciones de cada sensor básico sin compensar según puede verse en la Tabla 2 o gráficamente en la fig 5 a la derecha. Observamos no solo offset (señal de salida con entrada nula) sino también dispersiones en la sensibilidad de hasta un 40%. Ello torna impracticable el reemplazo directo de un sensor por otro del mismo tipo obligando a calibración y ajustes uno por uno. El fabricante puede hacer ese proceso, por un costo, y ofrecer el mismo sensor pero compensado con mejor performance

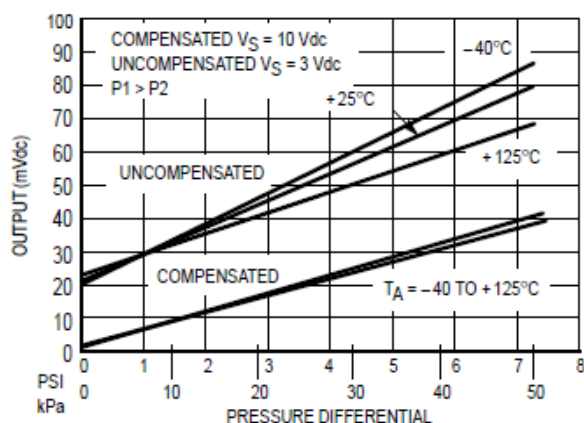


Figure 5. Typical-Output Voltage versus Pressure and Temperature for Compensated and Uncompensated Devices

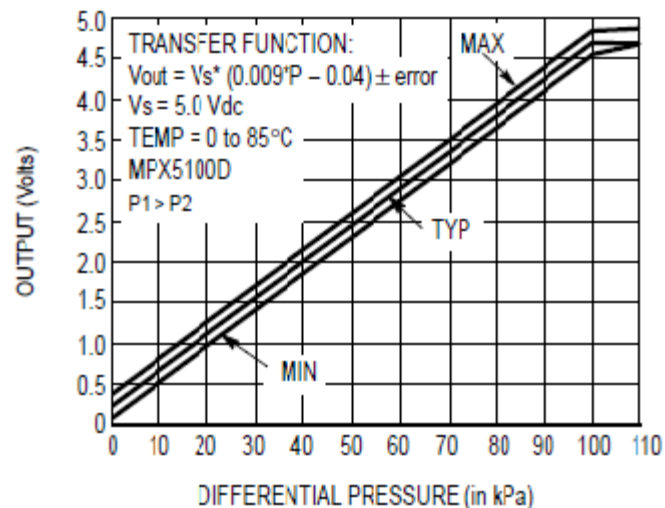


Figure 6. Signal Conditioned MPX5100

Compensated vs uncompensated sensors

PRESSURE SENSOR PRODUCTS

Table 2. Uncompensated

Device Series	Max Pressure Rating		Over Pressure (kPa)	Offset mV (Typ)	Full Scale Span mV (Typ)	Sensitivity (mV/kPa)	Linearity % of FSS ⁽¹⁾ (Min) (Max)	
	psi	kPa						
MPX10D	1.45	10	75	20	35	3.5	-1.0	1.0
MPX50D	7.3	50	200	20	60	1.2	-0.25	0.25
MPX100D,A	14.5	100	200	20	60	0.6	-0.25	0.25
MPX200D,A	29	200	400	20	60	0.3	-0.25	0.25
MPX700A	100	700	2800	20	60	0.086	-1.0	1.0
MPX700D	100	700	2800	20	60	0.086	-0.50	0.50

Table 3. Compensated and Calibrated (On-Chip)

MPX2010D	1.45	10	75	±1.0	25	2.5	-1.0	1.0
MPXT2010D	1.45	10	75	±1.0	25	2.5	-1.0	1.0
MPX2050D	7.3	50	200	±1.0	40	0.8	-0.25	0.25
MPX2052D	7.3	50	200	±1.0	40	0.8	-0.55	0.25
MPX2100A	14.5	100	400	±2.0	40	0.4	-1.0	1.0
MPX2100D	14.5	100	400	±1.0	40	-0.4	-0.25	0.25
MPX2200A	29	200	400	±1.0	40	0.2	-1.0	1.0
MPX2200D	29	200	400	±1.0	40	0.2	-0.25	0.25
MPX2700A	100	700	2800	±2.0	40	0.057	-1.0	1.0
MPX2700D	100	700	2800	±1.0	40	0.057	-0.5	0.5

Al compensar se logra minimizar rasgos no deseados como el offset y la dispersión de sensibilidad a cambio de una disminución de la salida o ganancia, pero el sensor sigue siendo el mismo, como se ve en la capacidad de sobrepresión (presión fuera del rango que puede soportar excepcionalmente sin alterar características)

Signal conditioned (on chip) sensors

¡¡Recomendamos fuertemente que “visiten” catálogos de fabricantes para familiarizarse con las hojas de datos y sus especificaciones !!

Table 6. Signal Conditioned (On–Chip)

Device Series	Max Pressure Rating		Over Pressure (kPa)	Full Scale Span V (Typ)	Sensitivity (mV/kPa)	Accuracy (0–85 °C) % of V _{FSS}
	psi	kPa				
MPX4100A	15.2	105	400	4.59	54	±1.8
<i>MPXS4100A</i>	15.2	105	400	4.59	54	±1.8
MPX4101A	14.8	102	400	4.59	54	±1.8
MPX4115A	16.7	115	400	4.59	45.9	±1.5
<i>MPXS4115A</i>	16.7	115	400	4.59	45.9	±1.5
MPX4250A	36.2	250	400	4.69	20	±1.5
MPX5010D	1.45	10	75	4.5	450	±5.0
<i>MPXL5010</i>	1.45	10	75	4.5	450	±5.0
MPX5050D	7.3	50	200	4.5	90	±2.5
MPX5100A	16.6	115	400	4.5	45	±2.5
MPX5100D	14.5	100	400	4.5	45	±2.5
MPX5500D	72.5	500	2000	4.5	9.0	±2.5
MPX5700D	100	700	2800	4.5	6.4	±2.5
MPX5999D	150	1000	4000	4.5	4.5	±2.5

El acondicionamiento de señal se puede incorporar durante la fabricación obteniendo no solo una performance ideal sino una salida en alto nivel, lista para “interfasear” a los sistemas de adquisición y control

Pressure switches

- Un **switch de presión** es un sensor de todo/nada que típicamente también puede ser actuado e interrumpir un contacto eléctrico.
- También son conocidos como **presostatos**
- Se utilizan como sensores/interruptores en variedad de aplicaciones hidráulicas desde aplicaciones industriales con presiones moderadamente altas como por ej. la secuenciación de máquinas hidráulicas
- También se utilizan en aplicaciones de todo tipo con presiones tan bajas que se especifican habitualmente con unidades de columna de agua como pej el que “avisa” que se ha llenado el lavarropas y actúa una válvula solenoide que interrumpe la entrada de agua
- Se especifican por la presión de actuado con su tolerancia
- Visitar: <https://www.se.com/us/en/product-subcategory/80789-pressure-switches-and-pressure-sensors/>



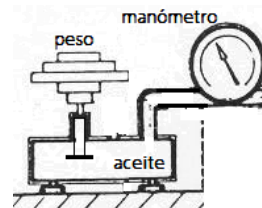
CALIBRACIÓN

Calibración de sensores de presión

Contrastación: comparación de la exactitud del sensor con un instrumento mejor, o un elemento tomado de referencia. El equipo a usar se llama **Comparador**

Calibración: Registro de un fenómeno que por naturaleza es más preciso que nuestro requerimiento de precisión. Ello se hace con la Balanza de peso muerto o Dead Weight Tester - DWT

Un DWT consiste en un recipiente con aceite hidráulico y dos salidas, una para el sensor a calibrar y la otra es un pistón al que se van agregando pesos, ambos calibrados con gran precisión.





<https://blog.beamex.com/how-to-calibrate-pressure-gauges>





APLICACIONES



El *segmento piezorresistivo* dominó el mercado en 2020 y representó más del 26.0% de participación de los ingresos globales. Los sensores de presión piezorresistivos se utilizan en una amplia gama de aplicaciones aeroespaciales e industriales debido a su robustez, tiempo de respuesta rápido y alta frecuencia. A menudo se utilizan para medir la presión dinámica en la combustión, turbulencia y explosión del motor. El menor consumo de energía y la sensibilidad de los sensores los hacen útiles también para aplicaciones médicas. En aplicaciones médicas, los sensores de presión piezorresistivos se utilizan para la monitorización en tiempo real del pulso arterial de la piel.





Se prevé que el *segmento electromagnético* registre el crecimiento más rápido durante el período de pronóstico. Se prevé que beneficios como la alta eficiencia, el bajo costo y la idoneidad de las aplicaciones eléctricas impulsarán el crecimiento del segmento. Según las estadísticas proporcionadas por Home Appliance World, los consumidores de todo el mundo gastaron USD 1,26 billones en la compra de electrodomésticos en 2020. Por lo tanto, las crecientes ventas de electrodomésticos están impulsando el crecimiento del segmento en los días actuales.





El creciente uso de sensores de presión en *electrodomésticos* como refrigeradores y lavadoras está impulsando la demanda de sensores de presión. Un sensor de presión juega un papel vital en la refrigeración, ya que proporciona la retroalimentación que necesita la bomba utilizada para disminuir la presión en el compartimiento. Simultáneamente, los sensores de presión se utilizan en lavadoras para regular la cantidad de agua necesaria para lavar la ropa, lo que reduce significativamente el desperdicio de agua. Así, el creciente uso de electrodomésticos como refrigeradores, lavadoras y televisores está impulsando la demanda de sensores de presión en la actualidad.





Los sensores de presión se utilizan cada vez más en los *automóviles eléctricos* para controlar la presión de los fluidos críticos de un vehículo, como el aceite de la caja de cambios y la transmisión, el aceite del motor y el aceite hidráulico. Por tanto, las crecientes ventas de coches eléctricos están impulsando el crecimiento del mercado. Según la organización IEA, las ventas de autos eléctricos ascendieron a 2,1 millones en 2019. Los autos eléctricos representaron el 2,6% de las ventas mundiales de automóviles y el 1% del stock mundial de automóviles en 2019. Avances tecnológicos en la electrificación de autobuses, vehículos de dos ruedas , y los camiones están impulsando significativamente la demanda de vehículos eléctricos.





Principales aplicaciones por industria:

- Automotriz
- Salud
- Industria
- Servicios
- Aviación
- Gas y petróleo
- Marítimo
- Electrónica de consumo
- Otros (alimentos y bebidas, pulpa y papel, telecomunicaciones)





Principales tipos de aplicaciones

- Sensores a bordo de automóviles
- Dispositivos biomédicos
- HVAC (Heat, Ventilation and Air Conditioning)
- Control de procesos
- Ensayos y mediciones
- Otros

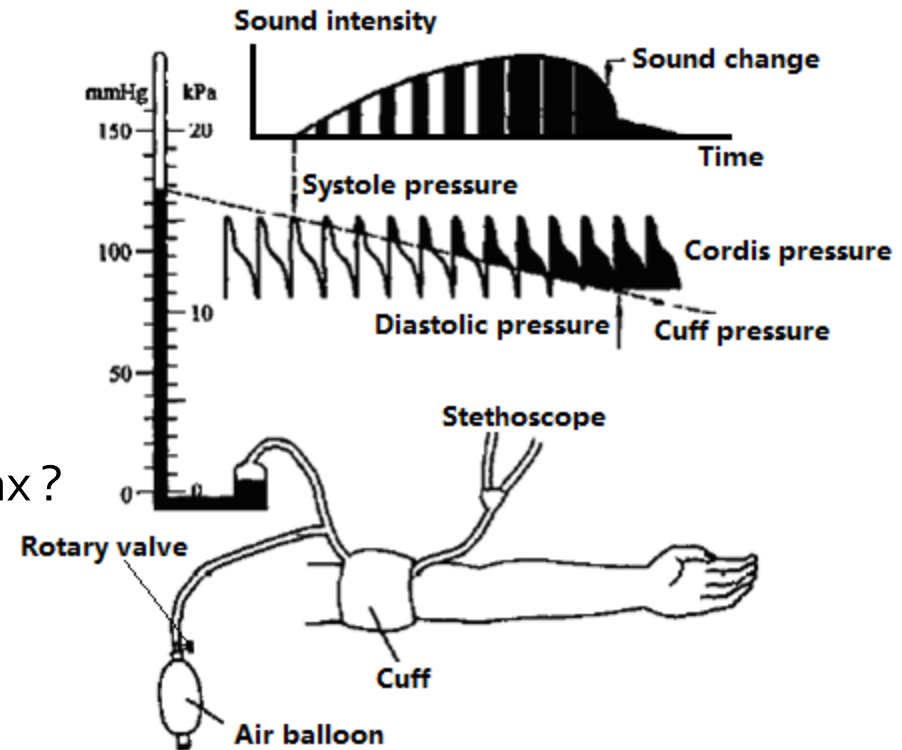




Aplicaciones en salud

Medición de presión arterial

- ◆ ¿Es invasiva o no invasiva?
- ◆ ¿En qué unidades se mide?
- ◆ Cuales son los valores típicos/min/max?



Medición de presión arterial invasiva

- ◆ Se puede hacer externa, en pacientes canalizados donde el sensor consta de una parte en contacto con la sangre descartable, y otra sin contacto que transmite la presión al resto del sistema.



Algunos links interesantes

- [Avnet Abacus](#)
 - [Merit Sensors](#)
 - [Servoflo Corporation](#)
 - [Amphenol Advanced Sensors](#)
- 



PRINCIPALES FABRICANTES

■ Fabricantes de sensores

- [Analog devices](#)
- [Continental AG](#)
- [Acuity Micro](#)
- [NXP](#) (ex Freescale, ex Motorola)
- [Omron Electronics](#)
- [Robert Bosch](#)
- [Amphenol Advanced Sensors](#)
- [TE Connectivity SMI Pressure sensors](#)
- [Bourns](#)
- [Panasonic](#)



Para aplicaciones industriales

- [Emerson](#)
- [Siemens](#)
- [Endress+Hauser](#)
- [Rockwell Automation](#)
- [Festo](#)
- [Vega](#)
- [WIKA](#)
- [IFM](#)





Fabricantes argentinos:

- [Weisz](#)
- [Ingeniero Capino](#)
- [Bruno Schillig](#)





Calibración de presión

- [Ametek](#)
- [Fluke](#)
- [GMS Instruments](#)
- [Aschcroft](#)



|| Selector para aplicaciones industriales:

Endress+Hauser (Applicator):

www.endress.com

Siemens:

www.pia-portal.automation.siemens.com

Yokogawa:

www.yokogawa.com/selection-tool/

Emerson:

www.emerson.com



BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA



- Handbook of transducers, Cap 15, H. Norton
- [OMEGA Web Technical Reference](#)

