

# Presión

1. Introducción
2. Experiencia de Torricelli
3. Tipos de Medidores de Presión
4. Medidas de presión
5. Elementos mecánicos
6. Elementos neumáticos
7. Elementos Electromecánicos Electrónicos
8. Elementos Electrónicos de Vacío
9. Planta de Hipoclorito de sodio
10. Anexo
11. Conclusión
12. Bibliografía

## Introducción

El control de la presión en los procesos industriales da condiciones de operación seguras. Cualquier recipiente o tubería posee cierta presión máxima de operación y de seguridad variando este, de acuerdo con el material y la construcción. Las presiones excesivas no solo pueden provocar la destrucción del equipo, si no también puede provocar la destrucción del equipo adyacente y ponen al personal en situaciones peligrosas, particularmente cuando están implícitas, fluidos inflamables o corrosivos. Para tales aplicaciones, las lecturas absolutas de gran precisión con frecuencia son tan importantes como lo es la seguridad extrema.

Por otro lado, la presión puede llegar a tener efectos directos o indirectos en el valor de las variables del proceso (como la composición de una mezcla en el proceso de destilación). En tales casos, su valor absoluto medio o controlado con precisión de gran importancia ya que afectaría la pureza de los productos poniéndolos fuera de especificación.

La presión puede definirse como una fuerza por unidad de área o superficie, en donde para la mayoría de los casos se mide directamente por su equilibrio directamente con otra fuerza, conocidas que puede ser la de una columna líquida un resorte, un embolo cargado con un peso o un diafragma cargado con un resorte o cualquier otro elemento que puede sufrir una deformación cualitativa cuando se le aplica la presión.

## Presión Absoluta

Es la presión de un fluido medido con referencia al vacío perfecto o cero absoluto. La presión absoluta es cero únicamente cuando no existe choque entre las moléculas lo que indica que la proporción de moléculas en estado gaseoso o la velocidad molecular es muy pequeña. Este término se creó debido a que la presión atmosférica varía con la altitud y muchas veces los diseños se hacen en otros países a diferentes altitudes sobre el nivel del mar por lo que un término absoluto unifica criterios.

## Presión Atmosférica

El hecho de estar rodeados por una masa gaseosa (aire), y al tener este aire un peso actuando sobre la tierra, quiere decir que estamos sometidos a una presión (atmosférica), la presión ejercida por la atmósfera de la tierra, tal como se mide normalmente por medio del barómetro (presión barométrica). Al nivel del mar o a las alturas próximas a este, el valor de la presión es cercano a 14.7 lb/plg<sup>2</sup> (101,35Kpa), disminuyendo estos valores con la altitud.

## Presión Manométrica

Son normalmente las presiones superiores a la atmosférica, que se mide por medio de un elemento que se define la diferencia entre la presión que es desconocida y la presión atmosférica que existe, si el valor absoluto de la presión es constante y la presión atmosférica aumenta, la presión manométrica disminuye; esta diferencia generalmente es pequeña mientras que en las mediciones de presiones superiores, dicha diferencia es insignificante, es evidente que el valor absoluto de la presión puede obtenerse adicionando el valor real de la presión atmosférica a la lectura del manómetro.

La presión puede obtenerse adicionando el valor real de la presión atmosférica a la lectura del manómetro.

Presión Absoluta = Presión Manométrica + Presión Atmosférica.

Vacío

Se refiere a presiones manométricas menores que la atmosférica, que normalmente se miden, mediante los mismos tipos de elementos con que se miden las presiones superiores a la atmosférica, es decir, por diferencia entre el valor desconocido y la presión atmosférica existente. Los valores que corresponden al vacío aumentan al acercarse al cero absoluto y por lo general se expresa a modo de centímetros de mercurio (cmHg), metros de agua, etc.

De la misma manera que para las presiones manométricas, las variaciones de la presión atmosférica tienen solo un efecto pequeño en las lecturas del indicador de vacío.

Sin embargo, las variaciones pueden llegar a ser de importancia, que todo el intervalo hasta llegar al cero absoluto solo comprende 760 mmHg.

Medida de la presión. Manómetro

Para medir la presión empleamos un dispositivo denominado manómetro. Como A y B están a la misma altura la presión en A y en B debe ser la misma. Por una rama la presión en B es debida al gas encerrado en el recipiente. Por la otra rama la presión en A es debida a la presión atmosférica más la presión debida a la diferencia de alturas del líquido manométrico.

$$p = p_0 + \rho gh$$

Para ver el gráfico seleccione la opción "Bajar trabajo" del menú superior

### Experiencia de Torricelli

Para medir la presión atmosférica, Torricelli empleó un tubo largo cerrado por uno de sus extremos, lo llenó de mercurio y le dio la vuelta sobre una vasija de mercurio. El mercurio descendió hasta una altura  $h = 0.76$  m al nivel del mar. Dado que el extremo cerrado del tubo se encuentra casi al vacío  $p = 0$ , y sabiendo la densidad del mercurio es  $13.55 \text{ g/cm}^3$  ó  $13550 \text{ kg/m}^3$  podemos determinar el valor de la presión atmosférica.

Para ver el gráfico seleccione la opción "Bajar trabajo" del menú superior

### Tipos de Medidores de Presión

Los instrumentos para medición de presión pueden ser indicadores, registradores, transmisores y controladores, y pueden clasificarse de acuerdo a lo siguiente:

Para ver el gráfico seleccione la opción "Bajar trabajo" del menú superior

Tipo de Manómetro	Rango de Operación
M. de Ionización	0.0001 a $1 \times 10^{-3}$ mmHg ABS
M. de Termopar	$1 \times 10^{-3}$ a 0.05 mmHg
M. de Resistencia	$1 \times 10^{-3}$ a 1 mmHg
M. Mc. Clau	$1 \times 10^{-4}$ a 10 mmHg
M. de Campana Invertida	0 a 7.6 mmH <sub>2</sub> O
M. de Fuelle Abierto	13 a 230 cmH <sub>2</sub> O
M. de Cápsula	2.5 a 250 mmH <sub>2</sub> O
M. de Campana de Mercurio	(LEDOUX) 0 a 5 mts H <sub>2</sub> O
M. "U"	0 a 2 Kg/cm <sup>2</sup>
M. de Fuelle Cerrado	0 a 3 Kg/cm <sup>2</sup>

M. de Espiral	0 a 300 Kg/cm <sup>2</sup>
M. de Bourdon tipo "C"	0 a 1,500 Kg/cm <sup>2</sup>
M. Medidor de esfuerzos (stren geigs)	7 a 3,500 Kg/cm <sup>2</sup>
M. Helicoidal	0 a 10,000 Kg/cm <sup>2</sup>

## MEDIDAS DE PRESION

### Unidades y clases de presión

La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmosferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi (libras por pulgada cuadrada). En el Sistema Internacional (S.I.) esta normalizada en pascal de acuerdo con las Conferencias Generales de Pesas y Medidas que tuvieron lugar en París en octubre de 1967 y 1971, y según la Recomendación Internacional número 17, ratificada en la III Conferencia General de la Organización Internacional de Metrología Legal. El pascal es 1 newton por metro cuadrado (1 N/m<sup>2</sup>), siendo el newton la fuerza que aplicada a un cuerpo.

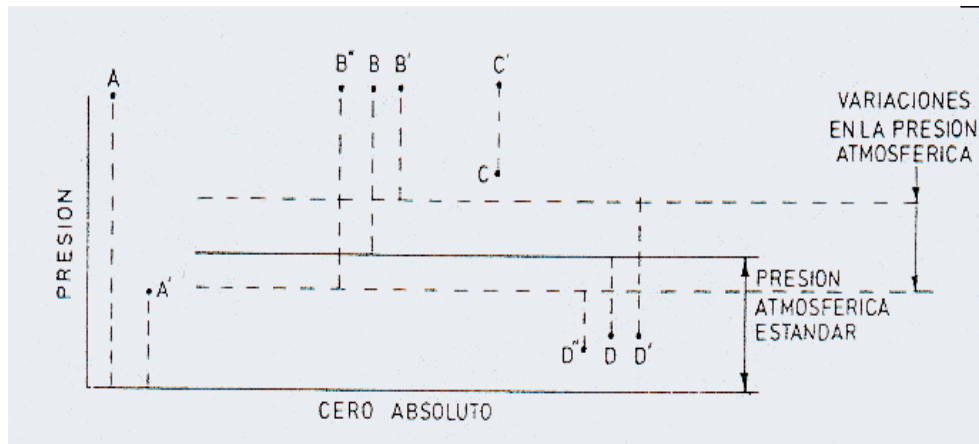
	Psi	Pulgada c. de agua	Pulgada c. de Hg	Atmósfera	kg/cm <sup>2</sup>	cm c. de a.	mm c. de Hg	Bar	Pa
Psi	1	27,68	2,036	0,0680	0,0703	70,31	51,72	0,0689	7142
Pulgada c. de a.	0,0361	1	0,0735	0,0024	0,0025	2,540	1,868	0,0024	256,4
Pulgada c. de Hg	0,4912	13,6	1	0,0334	0,0345	34,53	25,4	0,0333	3448
Atmósfera	14,7	406,79	29,92	1	1,033	1033	760	1,0131	1,01 × 10 <sup>5</sup>
kg/cm <sup>2</sup>	14,22	393,7	28,96	0,9678	1	1000	735,6	0,98	98100
cm c. de a.	0,0142	0,3937	0,0289	0,00096	0,0010	1	0,7355	0,0009	100
mm c. de Hg	0,0193	0,5353	0,0393	0,0013	0,0013	0,0013	1	0,00133	133
Bar	14,5	408	29,99	0,987	1,02	1024	750	1	10 <sup>5</sup>
Pa	0,00014	0,0039	0,00029	0,987 × 10 <sup>-5</sup>	0,102 × 10 <sup>-4</sup>	0,01	0,0075	10 <sup>-5</sup>	1

**Tabla 1** de unidades de presión

de masa 1 kg, le comunica una aceleración de 1 m/s<sup>2</sup>. Como el pascal es una unidad muy pequeña, se emplean también el kilopascal (1 kPa = 10<sup>3</sup> Pa), el megapascal (1 MPa = 10<sup>6</sup> Pa) y el gigapascal (1 GPa = 10<sup>9</sup> Pa). En la industria se utiliza también el bar (1 bar = 10<sup>5</sup> Pa = 1,02 kg/cm. cuadrado) y el kg/CM<sup>2</sup>. Si bien esta última unidad, a pesar de su uso todavía muy extendido, se emplea cada vez con menos frecuencia.

En la **tabla 1**, figuran las equivalencias entre estas unidades.

La presión puede medirse en valores absolutos o diferenciales. En la figura 1.1 se indican las clases de presión que los instrumentos miden comúnmente miden en las industrias.



**Figura 1.1** Clases de Presión

La **presión absoluta** mide con relación al cero absoluto de presión (puntos A y A' de la **figura 1.1**).

La **presión atmosférica** es la presión ejercida por la atmósfera terrestre medida mediante un barómetro. A nivel del mar, esta presión es próxima a 760 mm (29,9 pulgadas) de mercurio absolutas o 14,7 psia (libras por pulgada cuadrada absolutas) y estos valores definen la presión ejercida por la atmósfera estándar.

La **presión relativa** es la determinada por un elemento que mide la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica del lugar donde se efectúa la medición (punto B de la figura). Hay que señalar que al aumentar o disminuir la presión atmosférica, disminuye o aumenta respectivamente la presión leída (puntos (B y B')), si bien ello es despreciable al medir presiones elevadas.

La **presión diferencial** es la diferencia entre dos presiones, puntos C y C'. El vacío es la diferencia de presiones entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta, es decir, es la presión medida por debajo de la atmosférica (puntos D, D' y D''). Viene expresado en mm columna de mercurio, mm columna de agua o pulgadas de columna de agua. Las variaciones de la presión atmosférica influyen considerablemente en las lecturas del vacío.

El campo de aplicación de los medidores de presión es amplio y abarca desde valores muy bajos (vacío) hasta presiones de miles de bar. **En anexo 1** pueden verse los tipos de instrumentos y su campo de aplicación.

Los instrumentos de presión se clasifican en tres grupos: **mecánicos, neumáticos, electromecánicos y electrónicos**.

### Elementos mecánicos

Se dividen en:

**Elementos primarios de medida directa** que miden la presión comparándola con la ejercida por un líquido de densidad y altura conocidas (barómetro de cubeta, manómetro de tubo en U, manómetro de tubo inclinado, manómetro de toro pendular, manómetro de campana), y .

**Elementos primarios elásticos** que se deforman por la presión interna del fluido que contienen.

Los elementos primarios elásticos más empleados son: el tubo Bourdon, el elemento en espiral, el helicoidal, el diafragma y el fuelle.

**El tubo Bourdon** es un tubo de sección elástica que forma un anillo casi completo, cerrado por un extremo. Al aumentar la presión en el interior del tubo, éste tiende a enderezarse y el movimiento es transmitido a la aguja indicadora, por un sector dentado y un piñón. La ley de deformación del tubo Bourdon es bastante compleja y ha sido determinada empíricamente a través de numerosas observaciones y ensayos en varios tubos.

El material empleado normalmente en el tubo Bourdon es de acero inoxidable, aleación de cobre o aleaciones especiales como hastelloy y monel.

**El elemento en espiral** se forma arrollando el tubo Bourdon en forma de espiral alrededor de un eje común, y el helicoidal arrollando más de una espira en forma de hélice. Estos elementos proporcionan un desplazamiento grande del extremo libre y por ello, son ideales para los registradores.

**El diafragma** consiste en una o varias capsulas circulares conectadas rígidamente entre si por soldadura, de forma que al aplicar presión, cada capsula se deforma y la suma de los pequeños desplazamientos es amplificada por un juego de palancas. El sistema se proyecta de tal modo que, al aplicar presión, el movimiento se aproxima a una relación lineal en un intervalo de medida lo más amplio posible con un mínimo de histéresis y de desviación permanente en el cero del instrumento.

El material del diafragma es normalmente aleación de níquel o inconel x. Se utiliza para pequeñas presiones.

**El fuelle** es parecido al diafragma compuesto, pero de una sola pieza flexible axialmente, y puede dilatarse o contraerse con un desplazamiento considerable.

Hay que señalar que los elementos de fuelle se caracterizan por su larga duración, demostrada en ensayos en los que han soportado sin deformación alguna millones de ciclos de flexión. El material empleado para el fuelle es usualmente bronce fosforoso y el muelle es tratado térmicamente para mantener fija su constante de fuerza por unidad de compresión. Se emplean para pequeñas presiones.

**Los medidores de presión absoluta** consisten en un conjunto de fuelle y muelle opuesto a un fuelle sellado al vacío absoluto. El movimiento resultante de la unión de los dos fuelles equivale a la presión absoluta del fluido. El material empleado para los fuelles es latón o acero inoxidable. Se utilizan para la medida exacta y el control preciso de bajas presiones, a las que puedan afectar las variaciones en la presión atmosférica. Por ejemplo, en el caso de emplear un vacuometro para el mantenimiento de una presión absoluta de 50 mm de mercurio en una columna de destilación, el punto de consigna sería de 710 mm, con una presión atmosférica de 760 mm. Si la presión atmosférica cambiase a 775 mm el vacuometro indicaría:  $710 + 15 = 725$  mm con lo cual la presión absoluta en la columna sería controlada a  $50 + 15 = 65$  mm, es decir, a un 30 % más de la deseada.

En la medida de presiones de fluidos corrosivos pueden emplearse elementos primarios elásticos con materiales especiales en contacto directo con el fluido. Sin embargo, en la mayoría de los casos es más económico utilizar un fluido de sello cuando el fluido es altamente viscoso y obtura el elemento (tubo Bourdon, por ejemplo), o bien, cuando la temperatura del proceso es demasiado alta. Tal ocurre en la medición de presión del vapor de agua en que el agua condensada aísla el tubo Bourdon de la alta temperatura del vapor **figura 1.2 a**.

Se emplean asimismo sellos volumétricos de diafragma y de fuelle **figura b y c** que contienen un liquido incompresible para la transmisión de la presión.

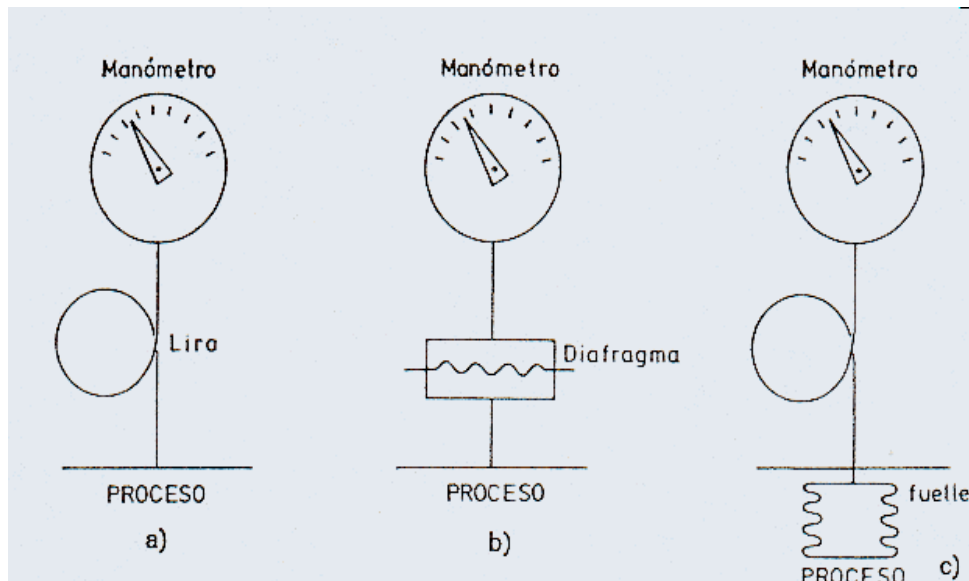


Figura 1.2 Tipos de Sellos

En la **tabla 2** pueden verse las características de los elementos mecánicos descritos.

**Tabla 2** elementos mecanicos

	Campo de medida	Precisión en % de toda la escala	Temperatura máxima de servicio	Presión estática máxima
Barómetro cubeta	0,1-3 m cda	0,5-1 %	Ambiente	6 bar
Tubo en U	0,2-1,2 m cda	0,5-1 %	↓	10 bar
Tubo inclinado	0,01-1,2 m cda	↓		↓
Toro pendular	0,5-10 m cda		↓	↓
Manómetro campana	0,005-1 m cda	↓		90° C
Tubo Bourdon	0,5-6000 bar		↓	↓
Espiral	0,5-2500 bar	↓		
Helicoidal	0,5-5000 bar		↓	2 bar
Diafragma	50 mm cda-2 bar	↓		↓
Fuelle	100 mm cda-2 bar		↓	
Presión absoluta	6-760 mm Hg abs	1 %		Ambiente
Sello volumétrico	3-600 bar	0,5-1 %	400° C	

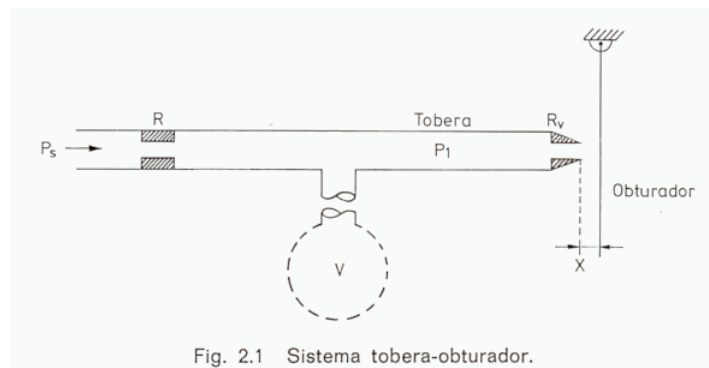
### Elementos neumáticos

Como elementos neumáticos consideramos los instrumentos transmisores neumáticos

### Transmisores neumáticos

Los transmisores neumáticos se basan en el sistema tobera-obturador que convierte el movimiento del elemento de medición en una señal neumática.

El **sistema tobera-obturador** consiste en un tubo neumático aumentado a una presión constante  $P_s$ , con una reducción en su salida en forma de tobera, la cual puede ser obstruida por una lámina llamada obturador cuya posición depende del elemento de medida. En la **figura 2.1** se presenta el conjunto.



**Figura 2.1** Sistema tobera-obturador

El aire de alimentación de presión normalizada 1,4 bar (20 psi) pasa por la restricción R y llena el volumen cerrado V escapándose a la atmósfera por la tobera  $R_v$ . Ésta tiene un diámetro muy pequeño, de unos 0,25-0,5 mm, mientras que la restricción R tiene un diámetro alrededor de 0,1 mm. Con el obturador abierto la presión posterior remanente es de unos 0,03 bar, lo cual indica que la relación de presiones diferenciales a través de la restricción R es de  $1,4/0,03 \approx 50$  veces. El consumo de aire del conjunto tobera-obturador es relativamente pequeño, del orden de 3 NI/min.

El escape de aire a través de la tobera depende de la posición del obturador, es decir, del valor de x. Debido a este escape, el volumen V se encontrará a una presión P, intermedia entre  $P_s$  y la presión atmosférica. En efecto: para  $x = 0$  el obturador tapa casi totalmente a la tobera, con lo cual no hay escape de aire a la atmósfera y P, llega a ser casi igual a la presión  $P_s$  del aire de alimentación: para x relativamente grande el obturador está bastante separado de la tobera y no limita el escape a la atmósfera siendo la presión P, próxima a la atmosférica.

En la **figura 2.2** se representa una tobera ejerce una fuerza sobre el obturador  $F_P$ ,  $X_S$  que tiende a desplazarlo. Esta curva de respuesta típica de un sistema tobera-obturador, pudiendo verse que la misma no es lineal.

El aire que se escapa de la fuerza debe hacerse despreciable con relación a la fuerza del elemento de medida que posiciona el obturador.

Con este objeto, en el amplificador de dos etapas se utiliza sólo una parte reducida de la curva, y se disminuye además la sección de la tobera a diámetros muy pequeños de 0,1 a 0,2 mm (no se consideran diámetros más pequeños para evitar que la tobera se tape por suciedad del aire). De este modo, la parte reducida de la curva puede aproximarse a una línea recta con lo cual se consigue una relación prácticamente lineal entre el valor de la variable y la señal transmitida.

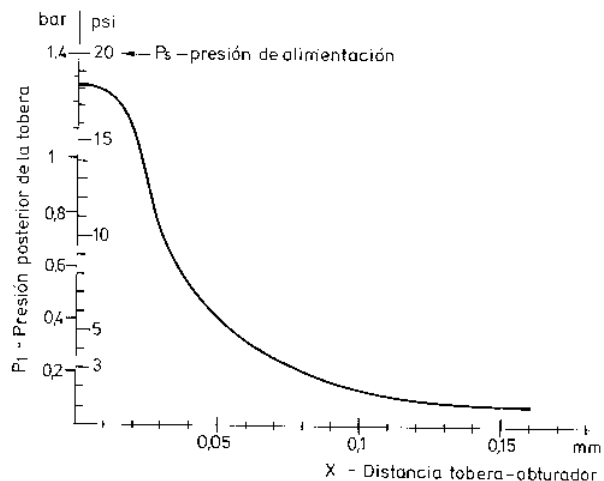


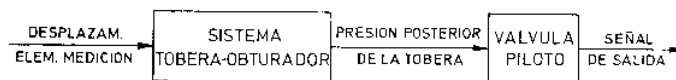
Fig. 2.2 Curva de respuesta de un sistema tobera-obturador.

**Figura 2.2** Curva de respuesta de un sistema tobera-obturador

Como la restricción fija  $R$  es 3 a 4 veces menor que la tobera  $R_1$ , sólo pasa por la misma un pequeño caudal de aire, por lo cual, el volumen  $V$  debe ser tan reducido como sea posible para obtener un tiempo de respuesta del sistema inferior al segundo.

La **válvula piloto** (amplificador neumático) empleada en el amplificador de dos etapas **figura 2.3** cumple las siguientes funciones:

1. Aumento del caudal de aire suministrado, o del caudal de escape para conseguir tiempos de respuesta inferiores al segundo.
2. Amplificación de presión (ganancia) que suele ser de 4 a 5, en general, para obtener así la señal neumática estándar 3-15 psi (0,2-1 bar).



**Figura 2.3** Bloque amplificador de dos etapas

En la válvula piloto con realimentación, sin escape continuo (fig. 2.4 a), la presión posterior  $P_1$  de la tobera actúa sobre la membrana de superficie  $S_1$ , mientras que la presión de salida  $P_0$  lo hace sobre la membrana  $S_2$ . El conjunto móvil de las dos membranas tiende al equilibrio y cuando éste se establece se verifica la siguiente ecuación:

$$P_1 - S_1 = P_0 \cdot S_2$$

La relación

$$K = \frac{P_0}{S_1}$$

$P_1$   $S_2$

es el factor de amplificación o de ganancia de la válvula piloto.

En la posición de equilibrio y ante un aumento de la presión posterior  $P_1$  de la tobera, el aire de alimentación entra en la válvula aumentando el valor de  $P_0$ . Por el contrario, si  $P_1$  disminuye, el aire contenido en el receptor escapa a través del orificio de escape, con lo cual  $P_0$  baja. Entre estas dos reacciones del sistema existe una zona muerta debida a la histéresis mecánica de las partes móviles que esta representada en la curvas características de presión y caudal de la válvula en las figuras 2.4 c y d.

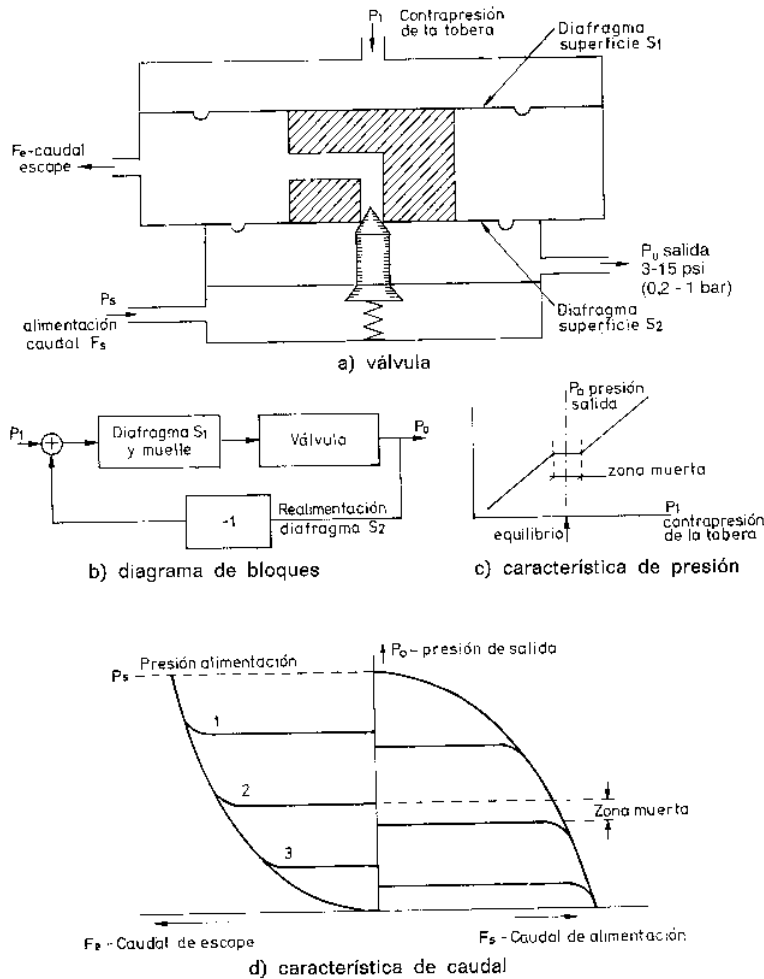


Figura 2.4 (a,b,c)

El sistema descrito compuesto por el conjunto tobera-obturador y la válvula piloto presenta todavía las siguientes desventajas:

- Las variaciones en la presión del aire de alimentación influyen en la señal de salida.

-Las vibraciones que pueden existir en el proceso influyen en el juego mecánico entre el obturador y el elemento de medida y dan lugar a pulsaciones en la señal de salida, ya que el factor de amplificación del sistema tobera-obturador es muy grande.

Estos inconvenientes se evitan disminuyendo la ganancia del conjunto por realimentación negativa de la señal posterior de la tobera P, sobre el obturador. Se utilizan así tres sistemas de transmisión, el transmisor de equilibrio de movimientos, el de equilibrio de fuerzas y el de equilibrio de momentos.

### Transmisor de equilibrio de movimientos

El transmisor de equilibrio de movimientos (fig. 2.5) compara el movimiento del elemento de medición asociado al obturador con un fuelle de realimentación de la presión posterior de la tobera. El conjunto se estabiliza según la diferencia de movimientos alcanzando siempre una posición de equilibrio tal que existe una correspondencia lineal entre la variable y la señal de salida. Hay que señalar que en este tipo de transmisores, las palancas deben ser livianas, pero bastante fuertes para que no se doblen.

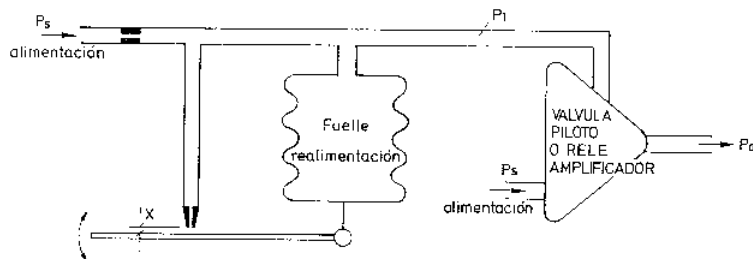


Fig. 2.5 Transmisor de equilibrio de movimientos.

**Fig. 2.5** Transmisor de equilibrio de movimientos.

Estos instrumentos se utilizan, en particular, en la transmisión de presión y temperatura donde los elementos de medida tales como tubos Bourdon, manómetros de fuelle, elementos de temperatura de bulbo y capilar son capaces de generar un movimiento amplio, sea directamente o bien a través de palancas con la suficiente fuerza para eliminar el error de histéresis que pudiera producirse. Si la fuerza disponible es pequeña, aparte de la histéresis, el tiempo necesario para el movimiento es grande y el transmisor es lento en responder a los cambios de la variable. En este caso, se acude a los transmisores de equilibrio de fuerzas en los que básicamente el elemento primario de medida genera una fuerza que se equilibra con otra igual y opuesta producida por el transmisor.

### Transmisor de equilibrio de fuerzas

En la **figura 2.6** puede verse que el elemento de medición ejerce una fuerza en el punto A sobre la palanca AC que tiene su punto de apoyo en D. Cuando aumenta la fuerza ejercida por el elemento de medición, la palanca AC se desequilibra, tapa la tobera, la presión aumenta y el diafragma ejerce una fuerza hacia arriba alcanzándose un nuevo equilibrio. Hay que señalar, como se ha dicho, que en este transmisor los movimientos son inapreciables.

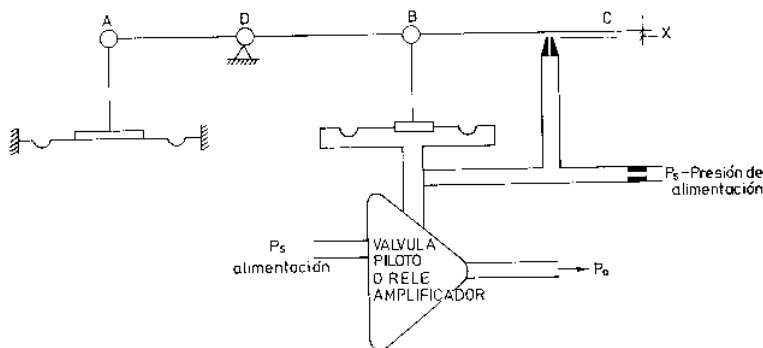


Fig. 2.6. Transmisor de equilibrio de fuerzas.

**Fig. 2.6.** Transmisor de equilibrio de fuerzas.

Como elementos neumáticos consideramos los instrumentos transmisores neumáticos cuyo elemento de medida es la presión adecuado al campo de medida correspondiente. El tipo de transmisor queda establecido por el campo de medida del elemento según el **anexo 1**. Por ejemplo, un transmisor de 0-20 kg/cm<sup>2</sup> utilizará un

transmisor de equilibrio de fuerzas de tubo Bourdon mientras que uno de 3-15 psi será de equilibrio de movimientos con elemento de fuelle.

### **Elementos Electromecánicos Electrónicos**

Los elementos electromecánicos de presión utilizan un elemento mecánico elástico combinado con un transductor eléctrico que genera la señal eléctrica correspondiente. El elemento mecánico consiste en un tubo Bourdon, espiral, helice, diafragma, fuelle o una combinación de los mismos que, a través de un sistema de palancas convierte la presión en una fuerza o en un desplazamiento mecánico.

Los elementos electromecánicos de presión se clasifican según el principio de funcionamiento en los siguientes tipos:

Transmisores electrónicos de equilibrio de fuerzas:

Resistivos.

Magnéticos

Capacitivos.

Extensométricos.

Piezoeléctricos.

### **Transmisores electrónicos de equilibrio de fuerzas**

En el **anexo 2** está representado un transmisor de este tipo . En este instrumento el elemento mecánico de medición (tubo Bourdon, espiral, fuelle ... ) ejerce una fuerza sobre una barra rígida del transmisor.

Para cada valor de la presión, la barra adopta una posición determinada excitándose un transductor de desplazamiento tal como un detector de inductancia, un transformador diferencial o bien un detector fotoeléctrico. Un circuito oscilador asociado con cualquiera de estos detectores alimenta una unidad magnética y la fuerza generada reposiciona la barra de equilibrio de fuerzas. Se completa así un circuito de realimentación variando la corriente de salida en forma proporcional al intervalo de presiones del proceso.

En el transmisor de equilibrio de fuerzas con detector fotoeléctrico (**anexo 2 c**), la barra rígida tiene en su extremo una ventanilla ranurada que interrumpe total o parcialmente un rayo de luz que incide en una célula fotoeléctrica de dos elementos. Esta célula forma parte de un circuito de puente de Wheatstone autoequilibrado y, por lo tanto, cualquier variación de presión que cambie la barra de posición, moverá la ventana ranurada y desequilibrará el puente. La señal diferencial que se produce en los dos elementos de la célula es amplificada y excita un servomotor. Éste, al girar, atornilla una varilla roscada la cual comprime un resorte de realimentación que a su vez aprieta la barra de equilibrio de fuerza con una fuerza tal que compensa la fuerza desarrollada por el elemento de presión. De este modo, el sistema se estabiliza en una nueva posición de equilibrio.

Este transmisor dispone de un contador óptico-mecánico acoplado al servomotor que señala los valores de presión en una pantalla exterior.

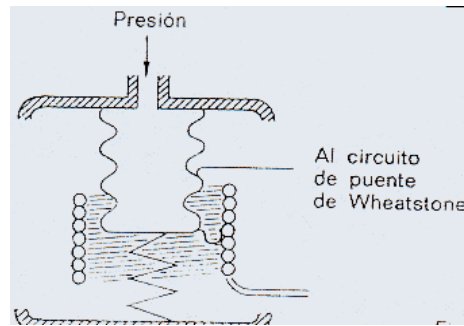
Los transductores electrónicos de equilibrio de fuerzas se caracterizan por tener un movimiento muy pequeño de la barra de equilibrio, poseen realimentación, una elasticidad muy buena y un nivel alto en la señal de salida. Por su constitución mecánica presentan un ajuste del cero y del alcance (span) complicado y un alta sensibilidad a vibraciones y su estabilidad en el tiempo es de media a pobre.

Su intervalo de medida corresponde al del elemento mecánico que utilizan (tubo Bourdon, espiral, fuelle, diafragma... ) y su precisión es del orden de 0,5 - 1 %

### **Transductores resistivos**

Constituyen, sin duda, uno de los transmisores eléctricos más sencillos. Consisten en un elemento elástico (tubo Bourdon o capsula) que varia la resistencia ohmica de un potenciómetro en función de la presión. El potenciómetro puede adoptar la forma de un solo hilo continuo o bien estar arrollado a una bobina siguiendo un

valor lineal o no de resistencia. Existen varios tipos de potenciómetro según sea el elemento de resistencia: potenciómetros de grafito, de resistencia bobinada, de película metálica y de plástico moldeado. En la figura 3.1 puede verse un transductor resistivo representativo que consta de un muelle de referencia, el elemento de presión y un potenciómetro de precisión. El muelle de referencia es el corazón del transductor ya que su desviación al comprimirse debe ser únicamente una función de la presión y además debe ser independiente de la temperatura, de la aceleración y de otros factores ambientales externos.



**Figura 3.1** Transductor resistivo

El movimiento del elemento de presión se transmite a un brazo móvil aislado que se apoya sobre el potenciómetro de precisión. Este está conectado a un circuito de puente de Wheatstone.

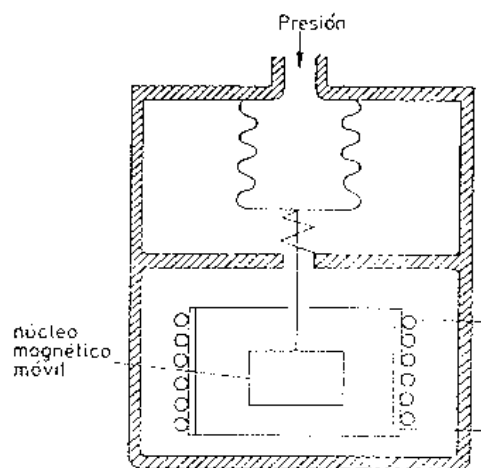
Los transductores resistivos son simples y su señal de salida es bastante potente como para proporcionar una corriente de salida suficiente para el funcionamiento de los instrumentos de indicación sin necesidad de amplificación. Sin embargo, son insensibles a pequeños movimientos del contacto del cursor, muy sensibles a vibraciones y presentan una estabilidad pobre en el tiempo.

El intervalo de medida de estos transmisores corresponde al elemento de,

presión que utilizan (tubo Bourdon, fuelle ...) y varía en general de 0-0,1 a 0-300 kg/cm<sup>2</sup>. La precisión es del orden de 1-2 %

### Transductores magnéticos

Se clasifican en dos grupos según el principio de funcionamiento. a) **Transductores de inductancia variable** **figura 3.2** en los que el desplazamiento de un núcleo móvil dentro de una bobina aumenta la inductancia de esta en forma casi proporcional a la porción metálica del núcleo contenida dentro de la bobina.



**Figura 3.2** Transductor de inductancia variable.

El devanado de la bobina se alimenta con una corriente alterna y la f.e.m. de autoinducción generada se opone a la f.e.m. de alimentación, de tal modo que al ir penetrando el núcleo móvil dentro de la bobina la corriente presente en el circuito se va reduciendo por aumentar la f.e.m. de autoinducción.

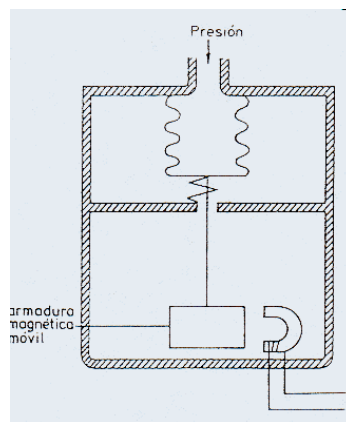
El transformador diferencial estudiado en los transmisores electrónicos de equilibrio de fuerzas es también un transductor de inductancia variable, si bien, en lugar de considerar una sola bobina con un núcleo móvil, se trata de tres bobinas en las que la bobina central o primaria es alimentada con una corriente alterna y el flujo magnético generado induce tensiones en las otras dos bobinas, con la particularidad de que si el núcleo está en el centro, las dos tensiones son iguales y opuestas y si se desplaza a la derecha o a la izquierda, las tensiones son distintas.

Es decir, que el transformador diferencial es más bien un aparato de relación de inductancias.

Los transductores de inductancia variable tienen las siguientes ventajas: no producen rozamiento en la medición, tienen una respuesta lineal, son pequeños y de construcción robusta y no precisan ajustes críticos en el montaje. Su precisión del orden de  $\pm 1\%$ .

b) **Los transductores de inductancia variable figura 3.3** consisten en un imán permanente o un electroimán que crea un campo magnético dentro del cual se mueve una armadura de material magnético.

El circuito magnético se alimenta con una fuerza magnetomotriz constante con lo cual al cambiar la posición de la armadura varía la reluctancia y por lo tanto el flujo magnético. Esta variación del flujo da lugar a una corriente inducida en la bobina que es, por tanto, proporcional al grado de desplazamiento de la armadura móvil.



**Figura 3.3** Transductor de inductancia variable

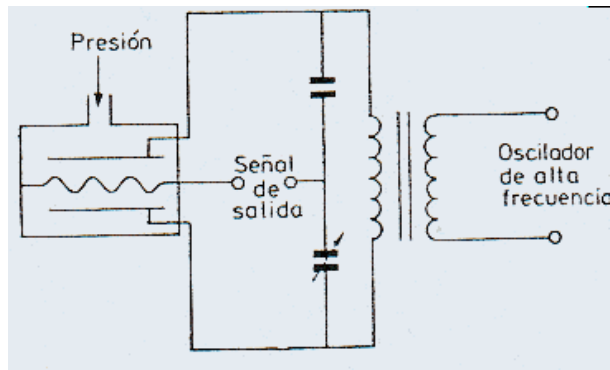
El movimiento de la armadura es pequeño (del orden de un grado como máximo en armaduras giratorias) sin contacto alguno con las partes fijas, por lo cual no existen rozamientos eliminándose la histéresis mecánica típica de otros instrumentos. Los transductores de reluctancia variable presentan una alta sensibilidad a las vibraciones, una estabilidad media en el tiempo y son sensibles a la temperatura. Su precisión es del orden de  $\pm 0,5\%$ .

Ambos tipos de transductores posicionan el núcleo o la armadura móviles con un elemento de presión (tubo Bourdon, espiral ...) y utilizan circuitos eléctricos bobinados de puente de inductancias de corriente alterna.

### **Transductores capacitivos**

Se basan en la variación de capacidad que se produce en un condensador al desplazarse una de sus placas por la aplicación de presión **figura 3.4**. La placa móvil tiene forma de diafragma y se encuentra situada entre dos placas fijas. De este modo se tienen dos condensadores uno de capacidad fija o de referencia y el otro de capacidad variable, que pueden compararse en circuitos oscilantes o bien en circuitos de puente de Wheatstone alimentados con corriente alterna.

Los transductores capacitivos se caracterizan por su pequeño tamaño y su construcción robusta, tienen un pequeño desplazamiento volumétrico y son adecuados para medidas estáticas y dinámicas. Su señal de salida es débil por lo que precisan de amplificadores con el riesgo de introducir errores en la medición. Son sensibles a las variaciones de temperatura y a las aceleraciones transversales y precisan de un ajuste de los circuitos oscilantes y de los puentes de c.a. a los que están acoplados.



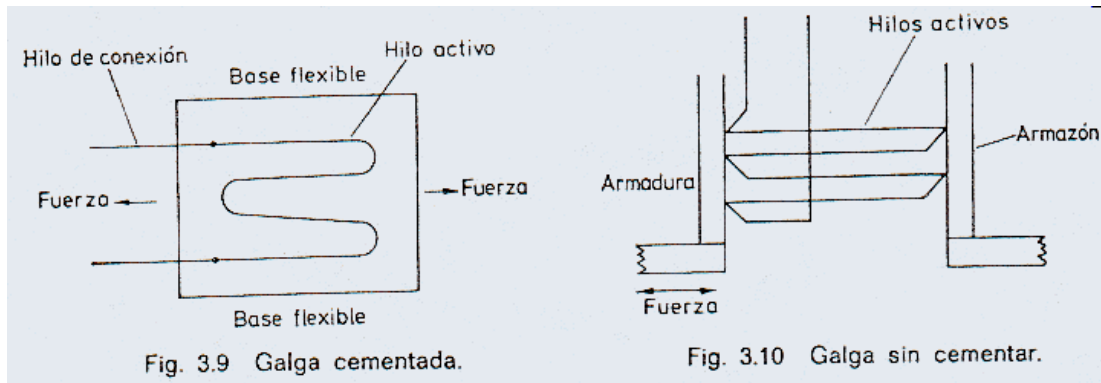
**Figura 3.4** Transductor capacitivo

Su intervalo de medida es relativamente amplio, entre 0,05-5 a 0,5-600 bar y su precisión es del orden de  $\pm 0,2$  a  $\pm 0,5$  %.

### Galgas extensométricas

Se basan en la variación de longitud y de diámetro, y por lo tanto de resistencia, que tiene lugar cuando un hilo de resistencia se encuentra sometido a una tensión mecánica por la acción de una presión.

Existen dos tipos de galgas extensométricas: galgas cementadas **figura 3.5** formadas por varios bucles de hilo muy fino que están pegados a una hoja base de cerámica, papel o plástico, y galgas sin cementar en las que los hilos de resistencia descansan entre un armazón fijo y otro móvil bajo una ligera tensión inicial.



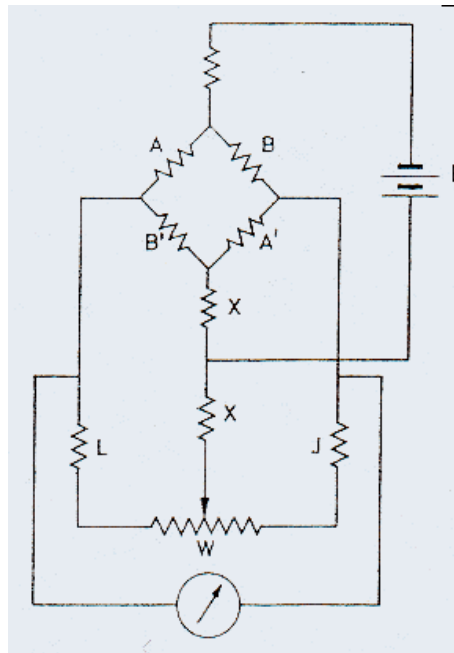
**Figura 3.5** Galga cementada y Galga sin cementar

En ambos tipos de galgas, la aplicación de presión estira o comprime los hilos según sea la disposición que el fabricante haya adoptado, modificando pues la resistencia de los mismos.

La galga forma parte de un puente de Wheatstone **figura 3.6** y cuando está sin tensión tiene una resistencia eléctrica determinada. Se aplica al circuito una tensión nominal tal que la pequeña corriente que circula por la resistencia crea una caída de tensión en la misma y el puente se equilibra para estas condiciones.

Cualquier variación de presión que mueva el diafragma del transductor cambia la resistencia de la galga y desequilibra el puente.

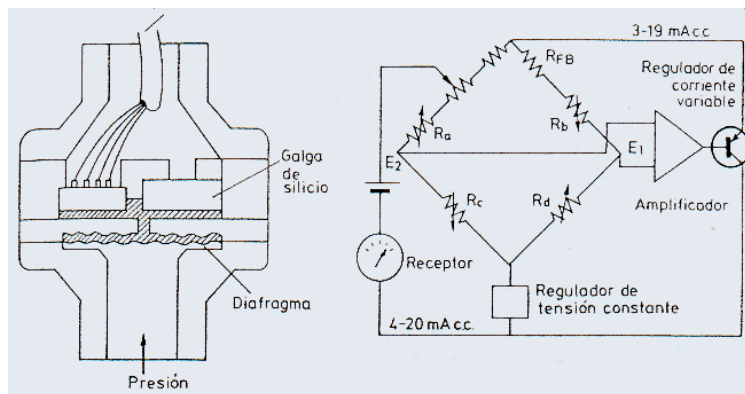
El intervalo de medida de estos transductores varía de 0-0,6 a 0-10 000 bar y su precisión es del orden de  $\pm 0,5$ %



**Figura 3.6** Puento de Wheatstone para galga extensométrica.

Una innovación de la galga extensométrica la constituyen los transductores de presión de silicio difundido. Consisten en un elemento de silicio situado dentro de una cámara conteniendo silicona que está en contacto con el proceso a través de un diafragma flexible. El sensor está fabricado a partir de un monocristal de silicio en cuyo seno se difunde boro para formar varios puentes de Wheatstone constituyendo así una galga extensométrica autocontenida. El espesor del sensor determina el intervalo de medida del instrumento.

El sensor con su puente Wheatstone incorporado forma parte del circuito de la **figura 3.7**



**Figura 3.7** Transductor de presión de silicio difundido

Cuando no hay presión, las tensiones  $E1$  y  $E2$  son iguales y, al aplicar la presión del proceso  $Rb$  y  $Rc$ , disminuyen su resistencia y  $Ra$  y  $Rd$  la aumentan dando lugar a caídas de tensión distintas y a una diferencia entre  $E1$  y  $E2$ .

Esta diferencia se aplica a un amplificador diferencial de alta ganancia que controla un regulador de corriente variable. Un margen de corriente continua de 3 a 19 mA con 1 mA del puente produce una señal de salida de 4 a 20 mA c.c. Esta corriente circula a través de la resistencia de realimentación  $Rfb$  y produce una caída de tensión que equilibra el puente. Como esta caída es proporcional a  $Rfb$  esta resistencia fija el intervalo de medida (span) del transductor. El cero del instrumento se varía intercalando resistencias fijas en el brazo izquierdo del puente (cero basto) y un potenciómetro en el brazo derecho (cero fino).

La adición de un microprocesador permite añadir <<inteligencia>> al instrumento al hacer posible funciones adicionales, tales como la compensación de

Temperatura ambiente, proporcionando un aumento de la precisión de la medida, en particular si la señal de salida del instrumento es enteramente digital en lugar de la analógica de 4-20 mA c.c.

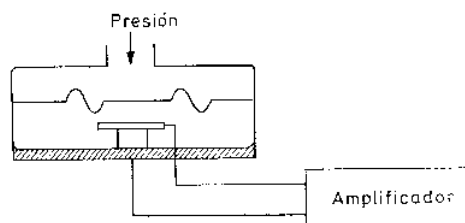
El intervalo de medida de los transductores de silicio difundido varía de 0-2

a 0-600 bar, con una precisión del orden de  $\pm 0,2 \%$ .

Las galgas extensométricas pueden alimentarse con c.c. o c.a. Tienen una respuesta frecuencial excelente y pueden utilizarse en medidas estáticas y dinámicas. Presentan una compensación de temperatura relativamente fácil y generalmente no son influidas por campos magnéticos. Con excepción de las galgas de silicio difundido poseen las siguientes desventajas: señal de salida débil, pequeño movimiento de la galga, alta sensibilidad a vibraciones y estabilidad dudosa a lo largo del tiempo de funcionamiento. La galga de silicio difundido tiene la ventaja adicional de estar en contacto directo con el proceso sin mecanismos intermedios de medición de la presión pudiendo así trabajar correctamente aunque el fluido se deposite parcialmente sobre el diafragma del elemento ya que mide directamente la presión del fluido y no la fuerza que éste hace sobre el diafragma.

### Transductores piezoeléctricos

Los elementos piezoeléctricos **figura 3.8** son materiales cristalinos que, al deformarse físicamente por la acción de una presión, generan una señal eléctrica. Dos materiales típicos en los transductores piezoeléctricos son el cuarzo y el titanato de bario, capaces de soportar temperaturas del orden de  $150^\circ \text{C}$  en servicio continuo y de  $230^\circ \text{C}$  en servicio intermitente.



**Figura 3.8** Transductor piezoeléctrico

Son elementos ligeros, de pequeño tamaño y de construcción robusta. Su señal de respuesta a una variación de presión es lineal y son adecuados para medidas dinámicas, al ser capaces de respuestas frecuenciales de hasta un millón de ciclos por segundo. Tienen la desventaja de ser sensibles a los cambios en la temperatura y de experimentar deriva en el cero y precisar ajuste de impedancias en caso de fuerte choque. Asimismo, su señal de salida es relativamente débil por lo que precisan de amplificadores y acondicionadores de señal que pueden introducir errores en la medición.

En el **tabla 3** pueden verse las características de los elementos electromecánicos descritos.

	Margen en bar	Precisión en % de toda la escala	Estabilidad en el tiempo	Sobrecarga	Temp. máx. de servicio °C	Nivel señal salida	Impedancia salida	Error de cero por influencia temperat. ambiente	Resolución	Sensibilidad a vibraciones	
Equilibrio de fuerzas	2-6000	0,5	Media a mala	150 %	65	10 V	600 $\Omega$	0,9-2,3 %	Continua	Alta	
Resistivos	0-0,1 a 0-300	1	Mala	150 %	80	Variac. res.	0-Res. total	0,7-3 %	0,25 %	↓	
Magnéticos	↓	Inductancia variable	0,5	Media	150 %	↓	0-5 V	2 k $\Omega$	0,9-2,3 %	Continua	↓
		Reluctancia variable	1	Media	150 %	↓	0-5 V	2 k $\Omega$	0,6-2,4 %	↓	↓
Capacitivos	0,05-5 a 0,05-600	1	Media a buena	150 %	150	↓	5 k $\Omega$	0,5-1,9 %	↓	Media	
Galgas extensométricas	Cementadas	0-0,5 a 0-3000	0,5	Mala	↓	120	35 mV	350 $\Omega$	0,5-2,4 %	↓	Alta
	Sin cementar	0-0,01 a 0-600	1	Mala	200 %	↓	↓	350 $\Omega$	↓	↓	↓
	Silicio difundido	0-2 a 0-600	0,3	Muy buena	200 %	107	2-10 V	600 $\Omega$	0,4-1 %	↓	Despreciable
Piezoeléctricos	0,1-600	1	Mala	↓	90	600 mV/bar	1000 M $\Omega$	1-4,8 %	1/5000	Baja	

## Elementos Electrónicos de Vacío

Los transductores electrónicos de vacío se emplean para la medida de alto vacío, son muy sensibles y se clasifican en los siguientes tipos:

Mecánicos Fuelle y Ionización Filamento caliente

Difragma Cátodo frío

Radiación

Medidor McLeod -

Térmicos Termopar

Pirani

Bimetal

## Transductores mecánicos de fuelle y de diafragma

Trabajan en forma diferencial entre la presión atmosférica y la del proceso. Pueden estar compensados con relación a las presiones atmosféricas y calibradas en unidades absolutas. Al ser dispositivos mecánicos, las fuerzas disponibles a presiones del gas muy bajas son tan pequeñas que estos instrumentos no son adecuados para la medida de alto vacío estando limitados a valores de 1 mm Hg abs. Pueden llevar acoplados transductores eléctricos del tipo de galga extensométrica o capacitivos.

### Medidor McLeod

Se utiliza como aparato de precisión en la calibración de los restantes instrumentos. Se basa en comprimir una muestra del gas de gran volumen conocido a un volumen más pequeño y a mayor presión mediante una columna de mercurio en un tubo capilar.

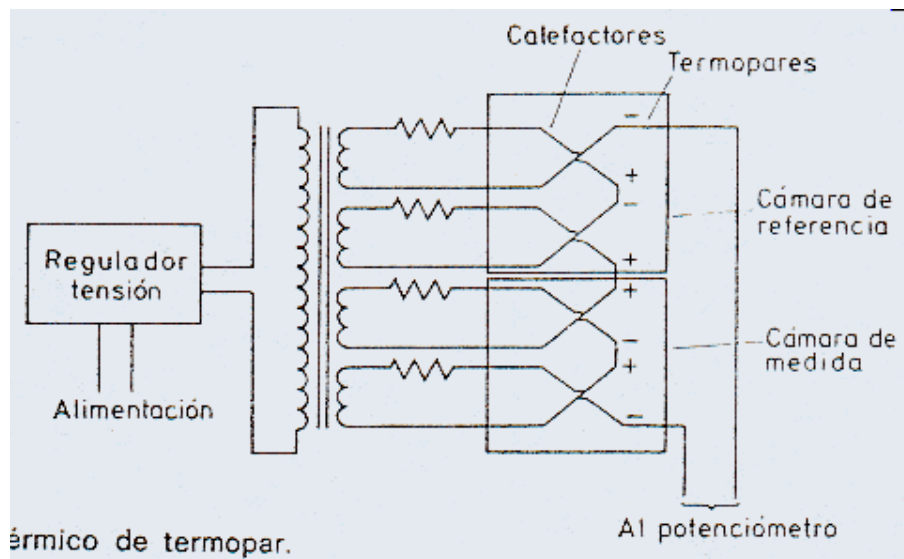
La presión del gas se deduce aplicando la ley de Boyle-Mariotte. Su intervalo de medida es de  $5 \cdot 10^{-5}$  mm Hg.

## Transductores térmicos

Se basan en el principio de la proporcionalidad entre la energía disipada desde la superficie caliente de un filamento calentado por una corriente constante y la presión del gas ambiente cuando el gas está a bajas presiones absolutas.

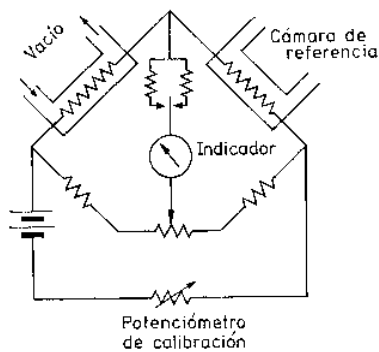
**El transductor térmico de termopar** contiene un filamento en V que lleva incorporado un pequeño termopar **figura 3.9**. Al pasar una corriente constante a través del filamento, su temperatura es inversamente proporcional a la presión absoluta del gas. La f.e.m. generada por el termopar indica la temperatura del filamento y por lo tanto señala el vacío del ambiente. Para compensar la temperatura ambiente se emplea una segunda unidad contenida dentro de un tubo sellado al vacío. La señal de salida diferencial de los dos termopares es proporcional a la presión.

Las ventajas principales de este tipo de transductor residen en su bajo costo, larga duración y confiabilidad. Tiene el inconveniente de ser sensible a la composición del gas, poseer características no lineales y presentar el riesgo de combustión si se expone a presión atmosférica cuando el filamento está caliente. Su intervalo de medida es de 0,5-1 0-3 mm Hg.



**Figura 3.9** transductor termico de termopar

El transductor Pirani **Figura 3.10** utiliza un circuito de puente de Wheatstone



**Figura 3.10** Transdutor Pirami

que compara las resistencias de dos filamento de tungsteno, uno sellado en alto vacío en un tubo y el otro en contacto con el gas medido y que por lo tanto pierde calor por conducción. En este transductor es la resistencia del filamento la que refleja la presión en lugar de ser su temperatura.

El transductor pirami tiene la ventaja de ser compacto y sencillo de funcionamiento, pudiendo estar a presión atmosférica sin peligro de combustión. Tiene el inconveniente de que su calibración depende de la composición del gas medido. Su intervalo de medida es de 2-10<sup>-3</sup> mm Hg.

**El transductor bimetálico Figura 3.11** utiliza una espiral bimetálica calentada por una fuente de tensión estabilizada. Cualquier cambio de la presión produce una deflexión de la espiral, que a su vez esta acoplada a un índice que señala en la escala el vacío. Su intervalo de medida es de 1-10<sup>-3</sup> mm Hg.

Para ver el gráfico seleccione la opción "Bajar trabajo" del menú superior

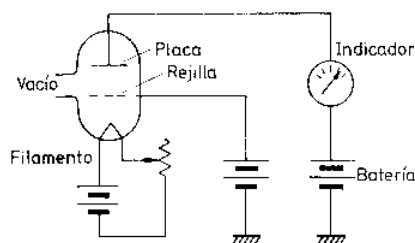
**Figura 3.11** Transdutor bimetálico

### Transductores de ionización

Se basan en la formación de los iones que se producen en las colisiones que existen entre moléculas y electrones ( o bien partículas alfa en el tipo de radiación ).La velocidad de formación de estos iones, es decir la corriente iónica, varía directamente con la presión.

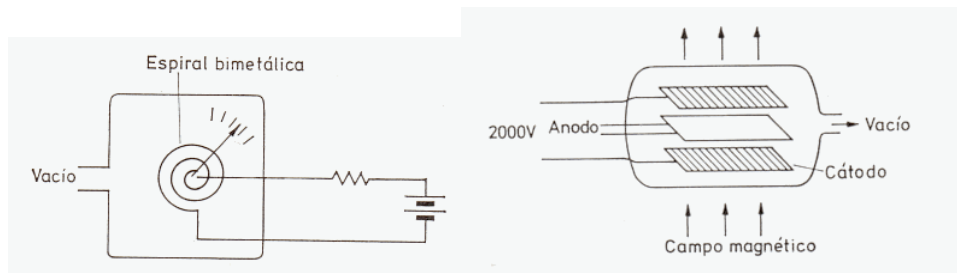
**El transductor de filamento caliente** **Figura 3.12** consiste en un tubo electrónico con un filamento de tungsteno rodeado por una rejilla en forma de bobina, la cual a su vez está envuelta por una placa colectora. Los electrones emitidos por el filamento caliente se aceleran hacia la rejilla positiva, pasan a su través y, en su camino hacia la placa colectora de carga negativa, algunos colisionan con moléculas del gas. La corriente positiva formada es una función del número de iones y, por lo tanto, constituye una medida de la presión del gas. Estos instrumentos son muy delicados y deben manejarse con cuidado. El filamento puede quemarse si se somete accidentalmente a presiones superiores a  $1 \times 10^{-3}$  mm Hg absolutos.

Estos transductores son muy sensibles y capaces de medir vacíos extremadamente altos. Su señal eléctrica de salida es lineal con la presión. Tienen el inconveniente de ser sensibles a la composición del gas, de tal modo que en ocasiones el filamento caliente provoca cambios significativos en su composición entre el volumen medido y el volumen contenido dentro del tubo electrónico. El intervalo de medida de estos transductores es de  $10^{-3}$  a  $10^{-11}$  mm Hg.



**Figura 3.12** Transductor de filamento caliente

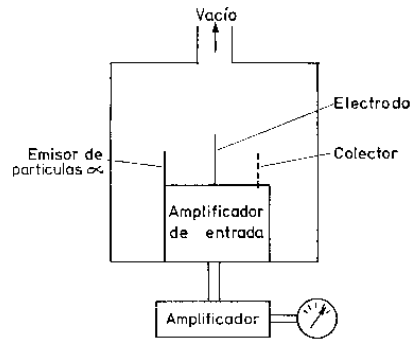
**El transductor de cátodo frío** **Figura 3.13** se basa en el principio de la medida de una corriente iónica producida por una descarga de alta tensión. Los electrones desprendidos del cátodo toman un movimiento en espiral al irse moviendo a través de un campo magnético en su camino hacia el ánodo. El movimiento en espiral da lugar a que el camino libre medio entre electrones sea mayor que la distancia entre electrodos. Por consiguiente, aumenta la posibilidad de colisiones con las moléculas del gas presente lo que da lugar a una mayor corriente iónica y de este modo la descarga catódica se mantiene a una presión más baja, o sea a un vacío más alto. Este instrumento no puede vaciarse de gases tan rápidamente como el de filamento caliente, pero es más robusto y no presenta el problema de la combustión del filamento. Es susceptible de contaminación por el mercurio



**Figura 3.14** Transductor de cátodo frío

Y puede provocar la descomposición química de vapores orgánicos a altas tensiones. Su campo de aplicación abarca de  $10^{-2}$  a  $10^{-7}$  mm Hg con una escala logarítmica.

En el **transductor de radiación** una fuente de radio sellada produce partículas alfa que ionizan las moléculas de gas en la cámara de vacío. Los iones resultantes se recogen en un electrodo y generan una corriente que varía directamente con el número de moléculas en la cámara de vacío y que por lo tanto, es proporcional a la presión total del sistema. No incorporando ningún filamento caliente el instrumento puede exponerse sin daños a presión atmosférica, tiene una emisión estable y no es frágil. A muy bajas presiones requiere un preamplificador ya que las corrientes producidas son muy pequeñas, del orden de  $10^{-11}$  a  $10^{-13}$  A. Su intervalo de medida es de  $760 \cdot 10^{-4}$  mm Hg.



**Figura 3.15** Transductor de radiación

En la **tabla 4** figuran las características de los transductores electrónicos de vacío descritos.

	<i>Margen (torrs)</i>	<i>Escala</i>	<i>Precisión</i>
Mecánicos	760 - 5	Lineal	1 %
McLeod	$5 \cdot 10^{-6}$	↓	1 - 10 % lectura
Térmicos	Termopar	Logarítmica	Alta
	Pirani		—
	Bimetal		—
Ionización	Filamento caliente	↓	—
	Cátodo frío		—
	Radiación		Lineal
	$10^{-3} - 10^{-11}$		
	$10^{-2} - 10^{-7}$		
	$760 - 10^{-4}$		

### Planta de Hipoclorito de sodio

Central Termoeléctrica Mejillones con un inicio de la operación comercial de la primera unidad el 14 de Julio de 1995, perteneciente a empresa eléctrica del Norte grande, EDELNOR S.A., cuenta en total con tres unidades de generación eléctrica, dos unidades son a vapor/carbón, cada una con una potencia bruta de 150 MW y una de ciclo combinado a gas natural, con potencia bruta de 240 MW y fecha de operación comercial en Abril de 2000.



**Central Termoeléctrica Mejillones**

El sistema de refrigeración de cada unidad utiliza agua de mar, con un caudal de 15.000 m<sup>3</sup>/h, la que será captada por una tubería y conducida a un pozo, desde donde aspiran las bombas principales y auxiliares de enfriamiento, para el condensador principal y los intercambiadores de calor del circuito auxiliar de refrigeración. Cada una de estas unidades cuenta con una planta de Hipoclorito de Sodio en la cual mediante un proceso de electrolización del agua de mar se transforma químicamente en solución de Hipoclorito de Sodio, el que es utilizado como antifouling, que no permite que organismos marinos se adhieran a la tubería del circuito disminuyendo así el flujo de recirculación produciendo un fallo en la Central. La solución de Hipoclorito de Sodio es inyectada en la succión de la cañería de circulación y dosificada en forma continua.

### Descripción de la planta

La Central Termoeléctrica Mejillones cuenta con tres plantas que producen hipoclorito de sodio, una por cada unidad, nos referiremos principalmente a la planta de la unidad termoeléctrica n°1 de Edelnor. El proceso es relativamente sencillo, a grandes rasgos ingresa agua de mar a los electrolizadores y se le aplica una cierta cantidad de corriente la que va a depender de la concentración de cloro, y por un proceso químico de electrólisis se produce el hipoclorito de sodio que va a ser inyectado a la tubería de refrigeración figura 4.1 para impedir el crecimiento de microorganismos marinos que mas tarde debido a la proliferación de estos podrían disminuir el flujo de agua de refrigeración a la central y finalmente causar un trip o disparo.

Para ver el gráfico seleccione la opción "Bajar trabajo" del menú superior

**Figura 4.1** : Inyección de hipoclorito en tubería de refrigeración

Esta planta productora de hipoclorito cuenta de varios elementos, entre los principales están dos electrolizadores **figura 4.2** . Los electrolizadores consisten en celdas de construcción modular, 10 celdas por cada electrolizador. Las celdas electrolíticas tienen un diseño bipolar, o sea que el cátodo de cada celda esta conectado directamente al ánodo de la próxima celda. Una característica de estos electrolizadores es la facilidad con que pueden ser insertos o sacados del electrolizador en corto tiempo y sin ayuda especializada. Estos electrolizadores están construidos de diversos materiales como por ejemplo: las celdas electrolíticas, ánodo y cátodo, están hechos de titanio ASTM B265 grado1, los espaciadores de electrodos están hechos de teflón, la cubierta del grupo de electrodos esta hecha de PVC, los conectores eléctricos están hechos 99,9% cobre electrolítico.



**Figura 4.2** Grupo 1 y 2 de electrolizadores

Por dichos aparatos circula un flujo de agua de 26 m<sup>3</sup>/h por cada uno, y que a la vez son alimentados por dos transformadores de 380 Volts con sus rectificadores que hacen circular entre sus electrodos una corriente continua que puede ser ajustada de un 20 – 100 % de 400 Amperes como máximo. El rectificador esta provisto de un sistema de control electrónico automático el cual estabiliza el valor de la corriente directa con una exactitud de  $\pm 1\%$  del valor de la corriente total.



**Transformador y rectificador A**



**Transformador y rectificador B**

Para ver el gráfico seleccione la opción "Bajar trabajo" del menú superior

### **Esquema de un electrolizador**

Algunas características en la planta son la temperatura ambiente que es de 17,5°C aproximadamente y la temperatura del agua de mar al ingresar a los electrolizadores que es de 16,8°C como promedio.

#### **Instrumentación**

En cuanto a la instrumentación esta planta cuenta con válvulas de tipo neumáticas figura 4.3 manejadas con aire a una presión de 5,6 a 7,0 bar controladas por PLC y válvulas manuales de tipo bola. Para regular la presión de entrada a los electrolizadores se utiliza una válvula I/P, que transforma corriente en presión, y con un lazo de control del tipo PID se maneja la presión de entrada de agua.

Para manejar el proceso se utiliza un PLC Simatic S5 de Siemens que se compone de una CPU 943 y una tarjeta CP 525 para la comunicación con el PC. El PLC controla la apertura y cierre de las válvulas neumáticas, la presión de entrada de agua de mar, la corriente en los electrolizadores para una mayor o menor concentración de cloro, el grupo o electrolizador que se requiera, el trabajo de la planta en manual o automático, entre otras actividades.



**Figura 4.3:** Válvula de control PI

### La química del proceso

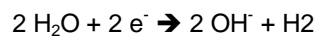
La química del proceso esta basada en la electrólisis parcial del cloruro de sodio contenido en el agua de mar, ya que fluye entre los electrodos de cátodo y ánodo que están energizados con corriente continua y mediante unas reacciones químicas este sufre un cambio produciendo así el hipoclorito de sodio.

Al pasar la corriente continua entre una solución acuosa de cloruro de sodio (NaCl), el cual esta totalmente disociado para  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , ocurre lo siguiente:

El cloro libre es generado en el ánodo

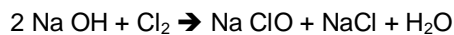


El hidrogeno es desarrollado en el cátodo con la correspondiente formación de iones  $\text{OH}^-$  :



Los iones  $\text{OH}^-$  emigran desde el cátodo y reaccionan con  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}_2$  cerca del ánodo, así produciendo el hipoclorito de sodio (NaClO).

1. Esta reacción química puede ser expresada de la siguiente forma:



Algunos cationes los cuales están presentes en el agua de mar (por ejemplo: calcio, magnesio, y otros metales) forman hidróxidos y carbonatos resultando sólidos en suspensión los que son arrastrados fuera del electrolizador por el agua de mar. Esta parte de la reacción reduce la eficiencia de corriente, por lo tanto la energía necesaria debe ser teóricamente mayor en un 10% aproximadamente.

El gas hidrogeno que es producido en el electrolizador se encuentra en cantidades de 0,35 m<sup>3</sup>/Kg de cloro, por lo tanto la acumulación de este gas podría causar una explosión, de ahí se deben tomar medidas de prevención importantes como la ventilación del lugar y una vía de escape a los gases de hidrogeno en el tanque de almacenamiento de hipoclorito.

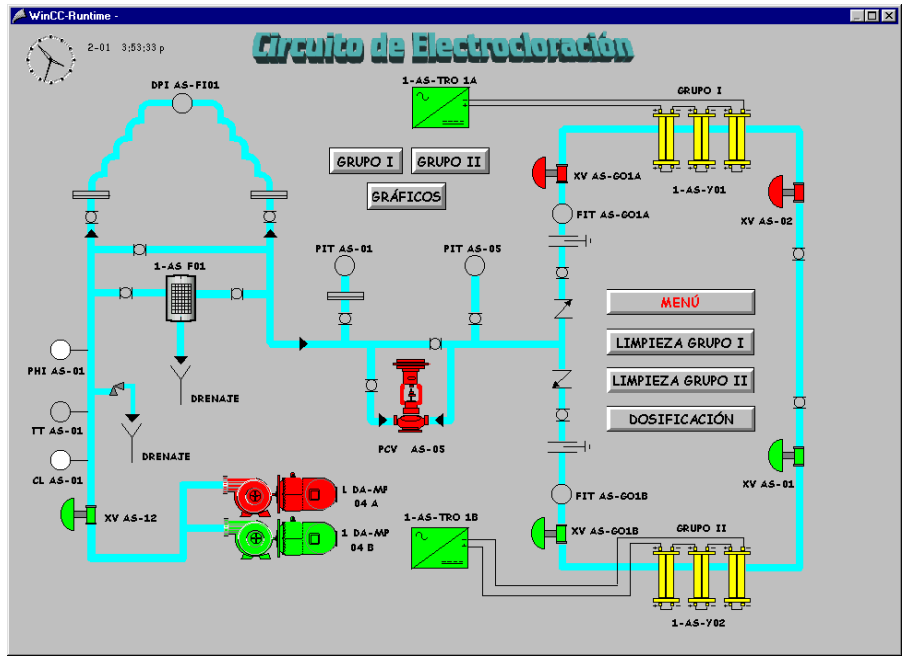


Tanque de almacenamiento de hipoclorito

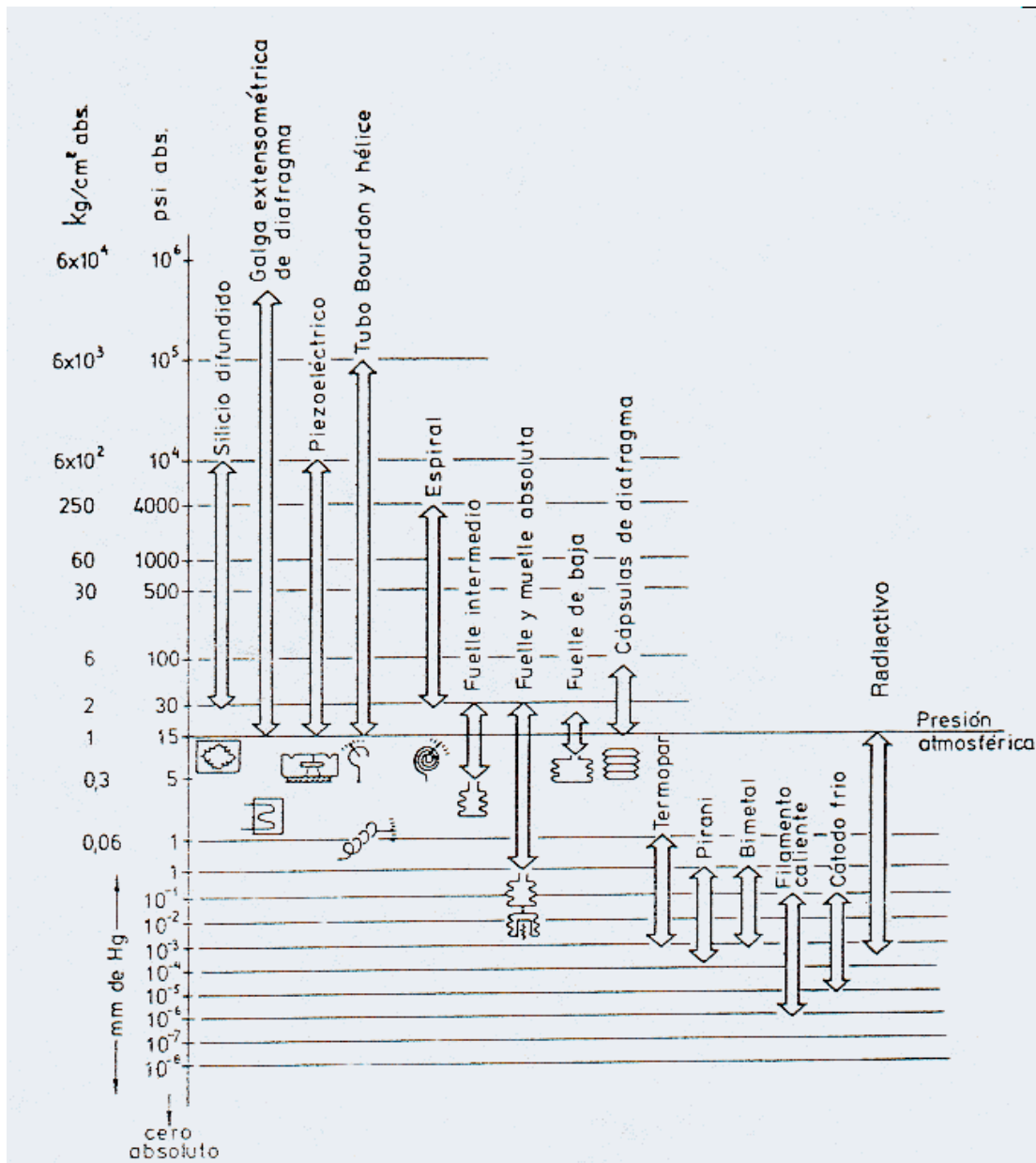
### **Control Automático de Presión**

Todo el control automático de la planta la realiza el autómatas programable ( PLC ), el cual el operador en el PC (estacion de trabajo), se encarga de de modificar todas la variables que estén involucradas en el procesos, la regulacion de la presion la realiza del siguiente ciclo de control el transmisor de presión sensa la presion de la linea, esta lectura es trasmitida al PLC el cual tiene un PID interno el cual verifica la lectura con el valor del set point, al tener un error manda la señal a la válvula de control a la apertura o al cierre según el error si es positivo o negativo (el valor de presión máxima a la entrada de los electrolizadores es 2,5 bar).

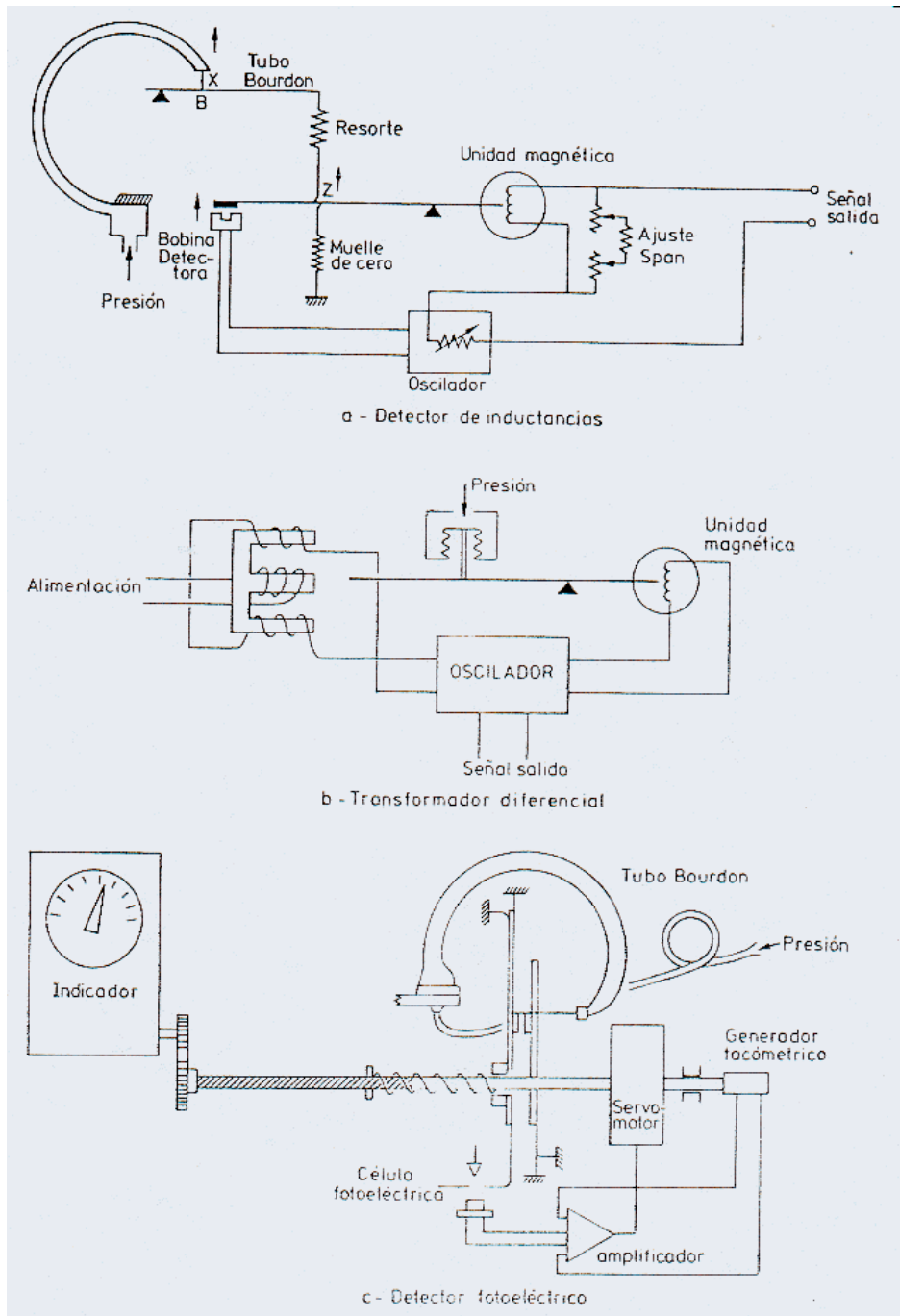
El otro control lo realiza el transmisor de presion diferencial el cual sensa la presion de entrada y salida del filtro de agua de mar si la presion diferencial es demasiada grande el PLC manda al filtro rotatorio orden de funcionamiento.



ANEXO 1



Instrumento de presión y campo de aplicación



Transmisor electrónico de equilibrio de fuerzas.

## CONCLUSION

Los instrumentos industriales de medición de presión son una parte muy importante para las industrias de proceso en general de hoy en día.

Tienen su campo de aplicación que es amplio y abarca desde valores muy bajos (vacío) hasta presiones muy altas. Los instrumentos de presión se dividen en tres grupos: Mecánicos, Neumáticos, Electromecánicos Electrónicos.

Los Mecánicos se dividen en dos grupos: Los Elementos primarios de Medida Directa que mide la presión comparándola con la ejercida por un líquido, densidad y altura conocida, el desplazamiento puede indicarse por un sistema de flotador y palanca indicadora y mueve un indicador de una escala.

Los Elementos primarios Elásticos miden la presión cuando en su parte interior tiende a enderezarse y el movimiento transmitido a la aguja indicadora por un sector dentado y un piñón.

Los Elementos Neumáticos, la función de medida queda establecido por su campo de medida del elemento. Utilizara componentes de elementos mecánicos consiste un transmisor de equilibrio de fuerzas de tubo Bourdon mientras que uno de 3-15 psi será de equilibrio de movimientos con elementos de fuelle.

Los Elementos Electromecánicos-Electrónicos, utiliza elementos mecánicos Elásticos combinado con un traductor eléctrico que genera la señal eléctrica correspondiente.

El Electrónico ocupa los mismos componentes que el Electromecánico su medición ejerce una fuerza sobre una barra rígida del transmisor, la señal pasa a un circuito de realimentación variando la corriente de salida en forma proporcional al intervalo de presiones de proceso.

Al conocer los instrumentos de medida de presión, su mantención tiene un objetivo indispensable para que la planta funcione sin paros no programados e intempestivos.

Hoy en día la medida de Presión esta normalizada en **PASCAL** de acuerdo con la Organización Internacional de Estandarización ( [ISO](#) ). El **PASCAL** en un newton por metro cuadrado (  $1 \text{ N} / \text{m}^2$  ).

Los instrumentos de Medición de Presión permiten garantizar la calidad y Competitividad de los productos fabricados en una planta industrial obteniendo una materia prima de gran calidad para el mercado.

## BIBLIOGRAFIA

Instrumentacion Industrial

Antonio Creus sole

Capitulo 3

Paginas 63-79

Editorial Marcombo 1993 5ªedicion

Instrumentacion Industrial

Su ajuste y calibracion

Antonio Creus sole

Capitulo 3

Paginas 21-24

Editorial Marcombo 1990 2ªedicion

Manual Dinora Brasil

(Planta Hipoclorito Sodico)