



La presión se define como fuerza por unidad de superficie, y se expresa en diversas unidades. La unidad estandarizada es el pascal (Pa) que corresponde a  $1 N/m^2$ , sin embargo en la mayoría de los procesos industriales se utilizan unidades tales como el bar, la atmósfera, mmHg y cmH<sub>2</sub>O, etc. En el apéndice 1 se presenta una tabla de conversión de unidades de presión.

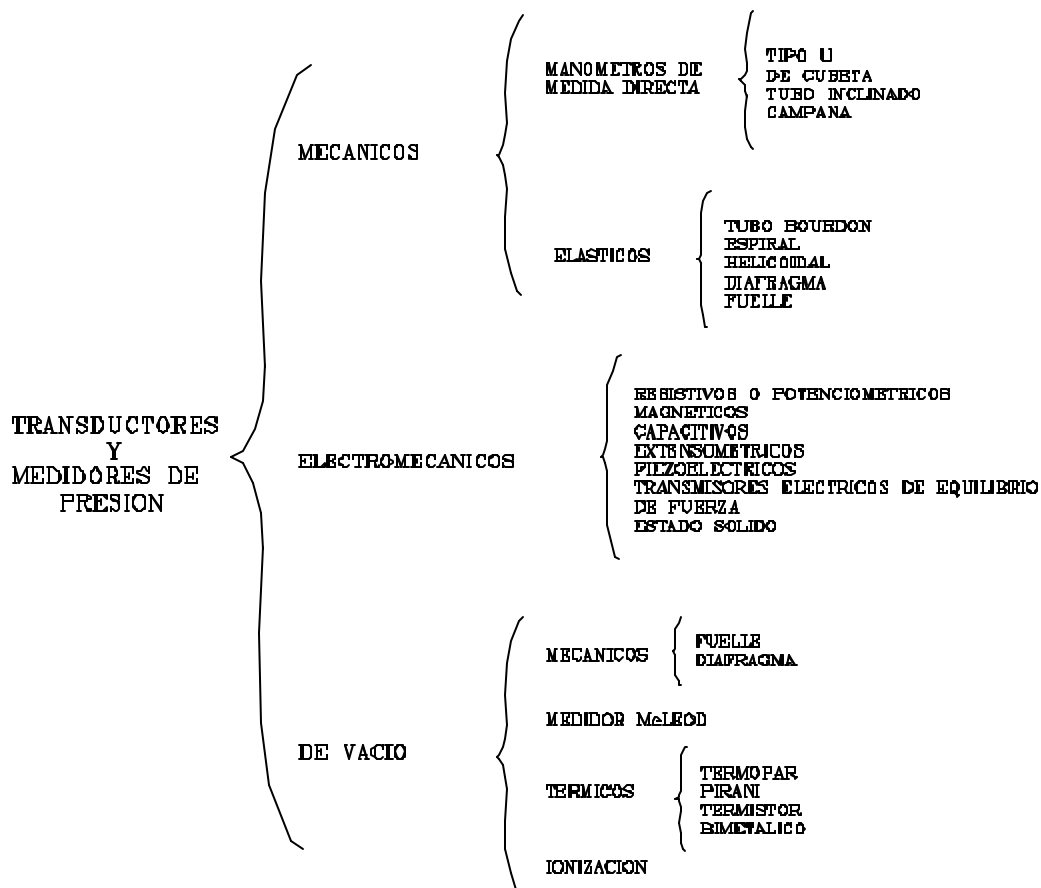
Existen básicamente dos tipos de valores en los que se puede medir la presión, dependiendo de la referencia que se tome, la cual puede ser el cero absoluto o la presión atmosférica, de manera que bajo estas referencias se tiene:

— Presión absoluta.

— Presión diferencial.

Presión absoluta. Es la que se mide en relación al cero absoluto de presión, es decir, con respecto al vacío perfecto, por lo que los transductores de presión absoluta son dispositivos que miden la presión absoluta del medio ambiente o de una fuente de presión, teniendo como referencia el vacío.

Presión atmosférica. Es la que ejerce la atmósfera sobre la superficie terrestre y varía dependiendo del lugar, a nivel del mar la presión atmosférica es de 760 mmHg o 1 atmósfera.



Vacío. Se le llama vacío a todas las presiones por debajo de la presión atmosférica.

Presión diferencial. Es la diferencia entre dos presiones existentes, medidas con transductores o medidores que tienen dos entradas de presión independientes.

Presión relativa o manométrica. Es un caso especial de la presión diferencial, solo que una de las fuentes de presión es el medio ambiente, midiéndose así la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica propia del lugar donde se efectúa la medición. Esta presión corresponde a una medición que toma como referencia la presión atmosférica.

Una clasificación de los transductores y medidores de presión es como la indicada en el cuadro sinóptico.

### Elementos Mecánicos

Dentro de la clasificación de los elementos mecánicos se tiene por un lado los elementos de medida directa que funcionan mediante la comparación de la presión a medir con la ejercida por un líquido de densidad y altura conocida.

En este grupo se encuentran el manómetro tipo U, el de cubeta, el tubo inclinado, el de campana. Algunos de ellos se ilustran en la Figura 1.

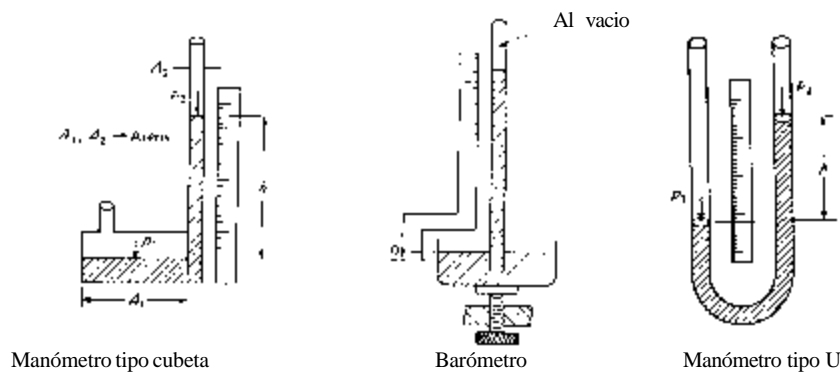


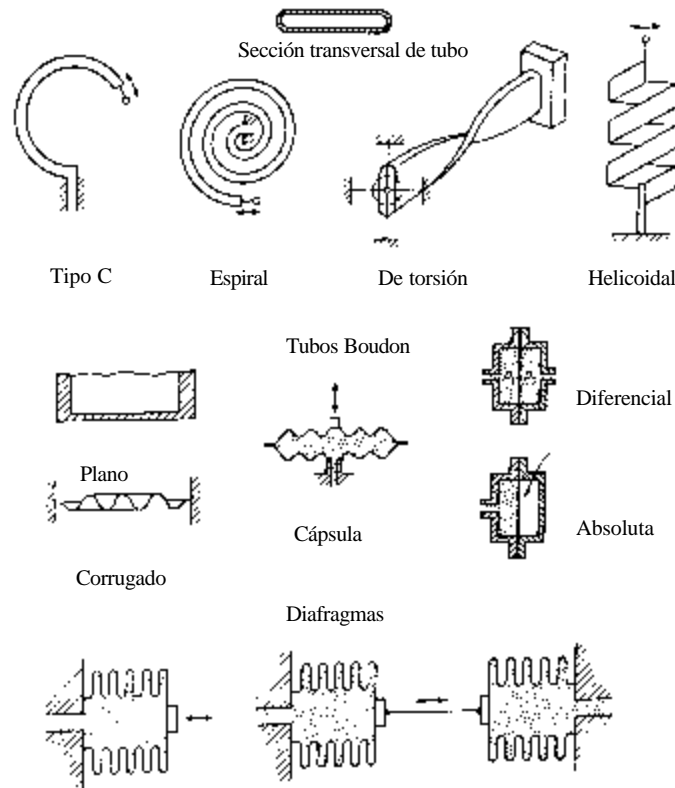
Figura 1

Por otro lado, los elementos primarios elásticos, mostrados en la Figura 2, se basan en aplicar la presión a medir en el interior del dispositivo, el cual tiende a expandirse o comprimirse y este movimiento es transmitido a una aguja indicadora u otro mecanismo de acoplamiento.

Los transductores más representativos de este tipo son el tubo de Bourdon, el diafragma y el fuelle, entre otros.

**El tubo de Bourdon.** Es un tubo de sección elíptica que forma un anillo casi completo, cerrado por un extremo. Al aumentar la presión en el interior del tubo, éste comienza a enderezarse y el movimiento es transmitido a una aguja indicadora por un sector dentado y un pinón. Para el tubo de Bourdon los materiales más usados son: el acero inoxidable, y la aleación de cobre. El elemento en espiral se forma enrollando el tubo de Bourdon en forma espiral alrededor de un eje.

**El diafragma.** Consiste en uno o varios discos circulares que se encuentran conectados rígidamente de forma tal que al aplicar una presión, cada disco se deforma, y la suma de éstos pequeños desplazamientos es amplificada por un par de palancas. Los materiales utilizados en los diafragmas son la aleación de níquel o inonel, la cerámica, el aluminio, y el silicio. Existen diversos tipos de diafragmas tales como corrugado, plano, horizontal, de cápsula, etc.



Fuelles: Absoluto y Diferencial

Figura 2

El diafragma de tipo horizontal consiste en un disco circular metálico cuyos bordes se encuentran fijos dentro de una cámara, donde una de las caras del diafragma está en contacto con el fluido que está bajo presión, lo cual provocará una deformación en el diafragma, que es proporcional a la presión ejercida. Si se utilizan dos diafragmas de este tipo se obtiene un diafragma de cápsula, el cual soporta mayores presiones, ocasionando mayores deformaciones debido a que se conectan en serie los diafragmas, permitiendo medir presiones absolutas y diferenciales.

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

**Elementos Electromecánicos.**

Los elementos electromecánicos utilizan un elemento mecánico elástico en combinación con un transductor eléctrico el cual genera una señal eléctrica de salida. El elemento mecánico convierte la presión a medir en una fuerza o en un desplazamiento el cual es detectado con el transductor eléctrico.

Dentro de la clasificación de los transductores y/o transmisores utilizados en los elementos electromecánicos se encuentran los Resistivos o Potenciométricos, Magnéticos, Capacitivos, Extensométricos, Piezoeléctricos, Transmisores de equilibrio de fuerza y de Estado sólido

**Transductores resistivos o potenciométricos.** Estos se basan en que el desplazamiento provocado por un elemento elástico el cual hace variar la resistencia de un potenciómetro en función de la presión. Existen varios tipos de potenciómetros a utilizar: de grafito, de resistencia embobinada, de película metálica y plástico moldeado. La señal de salida de estos transductores es bastante potente, por lo que no es necesario una etapa de amplificación a la salida, sin embargo son insensibles a pequeñas variaciones del cursor y son sensibles a vibraciones.<sup>1</sup>

**Transductores magnéticos.** Los transductores magnéticos básicamente son de dos tipos:

- Transductores de inductancia variable en los que el desplazamiento de un núcleo móvil dentro de una bobina varía la inductancia casi proporcional al desplazamiento del núcleo. Dentro de este tipo de transductores también se utiliza el LVDT.<sup>2</sup>
- Transductores de reluctancia variable, en este caso se tiene un imán permanente que crea un campo magnético dentro del cual se mueve una armadura de material magnético. Al cambiar la posición de la armadura varía la reluctancia y por consiguiente el flujo magnético, esta variación del flujo provoca una corriente inducida en la bobina que es proporcional al desplazamiento de la armadura.

Al aplicar la presión al elemento elástico, éste desplaza el núcleo de la bobina o la armadura, generándose una señal eléctrica proporcional a la presión. Un diagrama esquemático de estos transductores se muestra en la Figura 3.

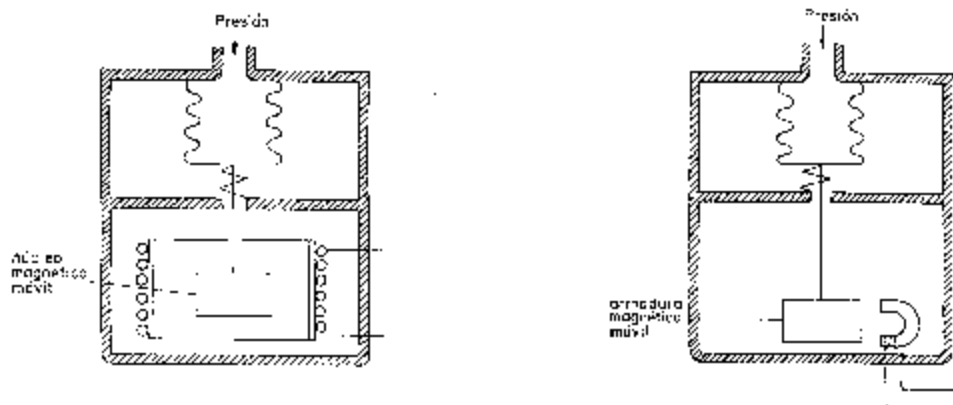


Figura 3

**Transductores capacitivos.** Se basan en la variación de capacidad que se produce en un capacitor al desplazarse una de sus placas por la aplicación de una presión. La placa móvil tiene forma de diafragma y se encuentra situada entre dos placas fijas del transductor, de este modo se tienen dos capacitores, uno de capacidad fija y otro de capacidad variable los cuales pueden medirse con un circuito en configuración puente de ca. Una configuración es la que se muestra en la Figura 4.

Se caracterizan por ser de tamaño pequeño y su robusta construcción, son adecuados para mediciones estáticas y dinámicas, su señal de salida es débil por lo que se requiere una etapa amplificadora a la salida del transductor, son sensibles a la temperatura.

1 Para más detalles ver la Práctica de Transductores de Desplazamiento.

2 Para más detalles ver la Práctica del LVDT.

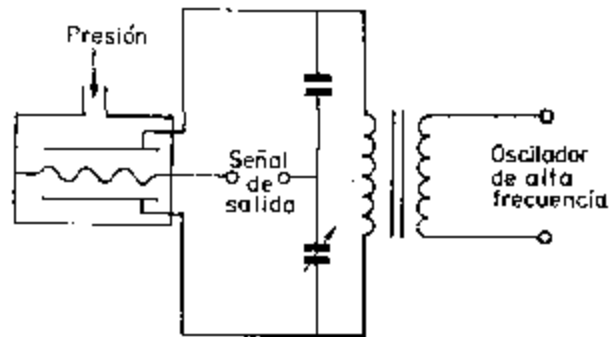


Figura 4

**Transductores extensométricos.** También llamados galgas extensométricas o strain gage. Se basan en la variación de longitud y de diámetro, por lo tanto de resistencia, que tiene lugar cuando un hilo de alambre se encuentra sometido a una tensión mecánica por la acción de la presión.<sup>3</sup>

**Transductores piezoeléctricos.** Estos elementos eléctricos, mostrados en la Figura 5, son materiales cristalinos que al deformarse físicamente por la acción de una presión, generan una señal eléctrica. La señal de respuesta varía en forma lineal con la presión de entrada, son adecuados para medidas dinámicas ya que son capaces de responder a frecuencias del orden de 1 MHz. Son elementos pequeños de construcción robusta sin embargo son sensibles a cambios de temperatura; requiere de amplificadores.<sup>4</sup>

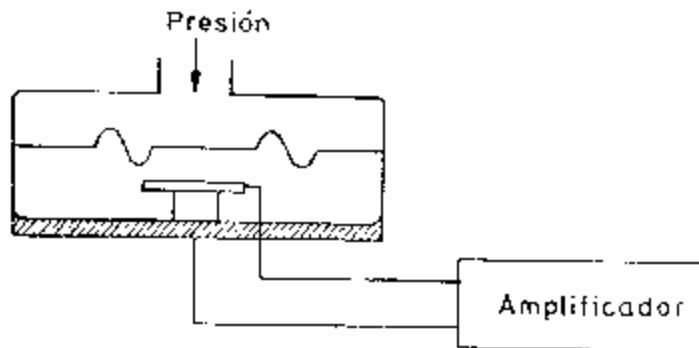


Figura 5

**Transmisores Electrónicos de Equilibrio de Fuerza.** Este tipo de dispositivos utilizan un circuito realimentado, como el de la Figura 6 y básicamente consta de un elemento elástico para detectar la señal de presión, este está acoplado a una barra movable, el desplazamiento de la barra se detecta mediante un transductor de desplazamiento o de proximidad, la señal eléctrica alimenta a un oscilador del cual se obtiene por un lado la salida proporcional a la presión y por otro también se alimenta a una unidad magnética que reposiciona o equilibra la barra a su posición normal. Un circuito típico es el que se encuentra en la Figura 7.

3 Ver la práctica de Transductores de Fuerza.

4 Una aplicación de este transductor se presenta en la práctica de Aceleración y Velocidad.

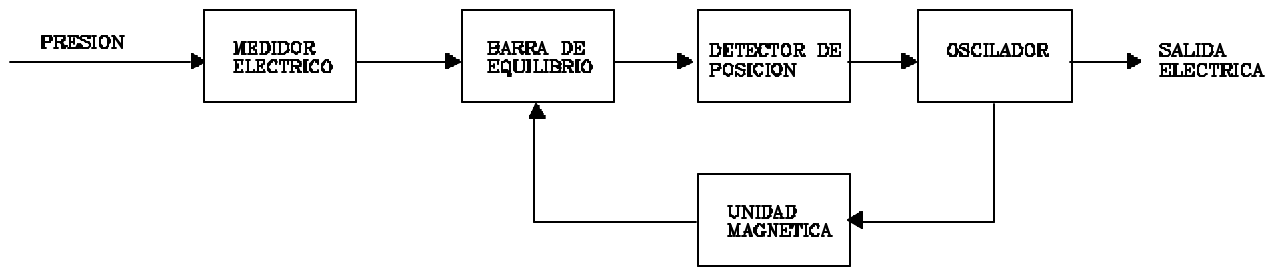


Figura 6.

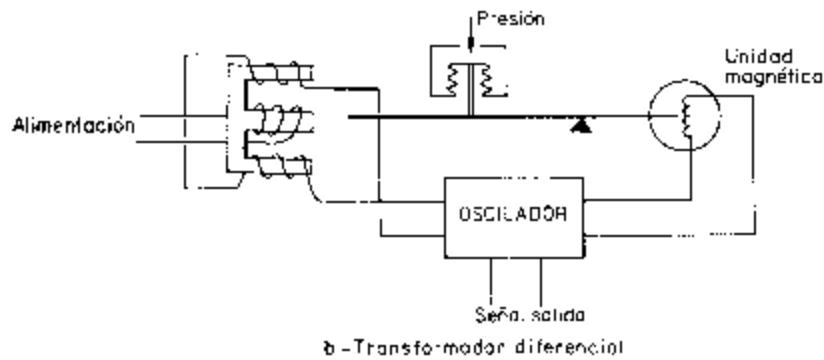
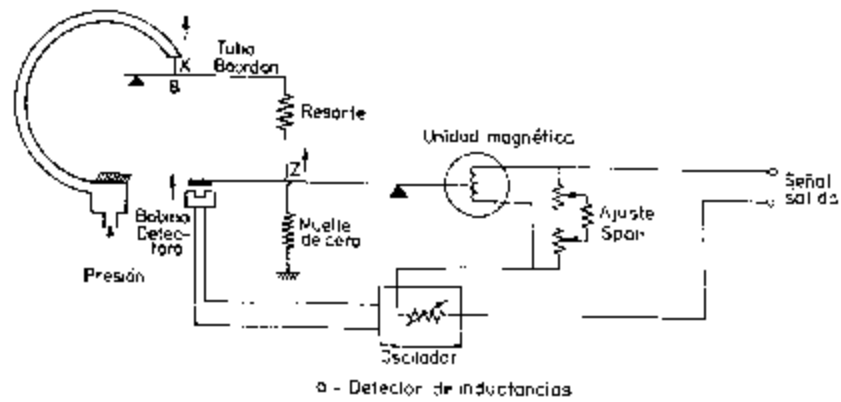


Figura 7

**Transductores de Presión de Estado Sólido o Monolítico.** Estos dispositivos reúnen en un solo dispositivo las funciones de conversión presión-desplazamiento-voltaje y se basan en principios tales como capacitivos, piezoeléctricos, piezorresistivos y de semiconductor, el funcionamiento de algunos de ellos se ha explicado anteriormente, la diferencia radica en que son elementos de estado sólido y por tanto de tamaño reducido.

Dentro de esta clasificación se encuentran los transductores de presión de semiconductor del tipo diferencial, que es el utilizado en esta práctica.

Su funcionamiento se basa en el fenómeno de la piezorresistividad; que es la propiedad que poseen ciertos materiales de cambiar la propia resistencia cuando sufren deformaciones.

En estos dispositivos se tienen resistencias conectadas en configuración de puente de Wheatstone, las cuales se obtienen mediante difusión sobre un soporte de silicio; cuya parte inferior - en una segunda fase- es sometida a una reacción química para crear el diafragma

La celda constituida por el puente va soldada electrostáticamente a un soporte de vidrio, de manera que quede desacoplada mecánicamente del ambiente exterior. El voltaje de salida del puente variará al cambiar la presión ejercida sobre el diafragma de silicio.

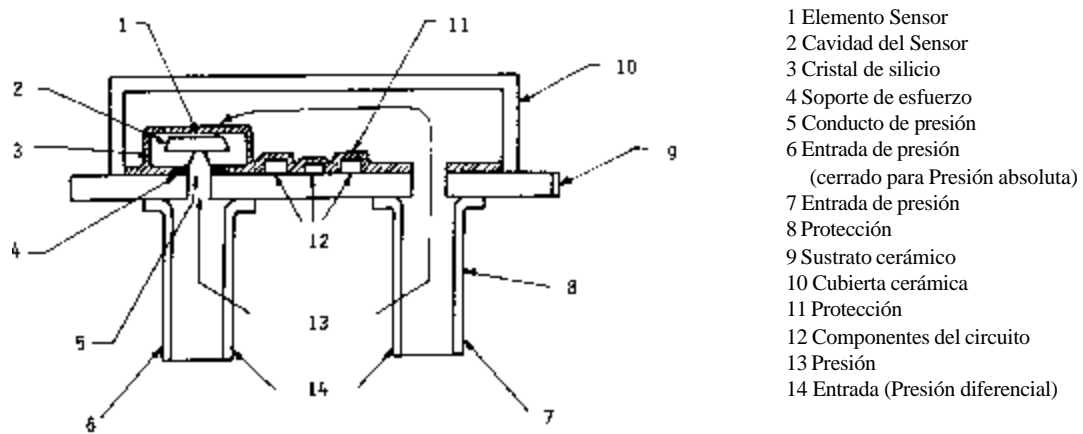


Figura 8

La Figura 8 muestra la estructura básica de un transductor de presión diferencial de semiconductor.

Las ventajas que ofrece este sensor son las reducidas dimensiones (cerca de un décimo en relación con otros transductores monolíticos), las buenas características eléctricas y el bajo costo del elemento sensible.

Las desventajas residen en la elevada variación de sensibilidad en función de la temperatura y en el hecho de que la parte sensible queda expuesta al fluido que se está midiendo.

Para evitar estas limitaciones, los transductores incluyen resistores trimer (realizados normalmente con los láser) que reducen las tolerancias de cero y la sensibilidad.

Para mejorar la linealidad, los cuatro resistores se conectan en configuración de puente (activo); el cual opera con voltaje constante.

Por otro lado, las características del transductor utilizado son las siguientes:

- Diferencial, con la posibilidad de funcionar como manómetro si se deja una de las entradas a la presión atmosférica.

- Campo de medidas comprendido entre 0 y 15 psi (o sea, entre 0 y 1.02 atm).
- Linealidad más elevada de  $\pm 0.25\%$  a plena escala.
- El transductor sólo puede emplearse para mediciones con gases.

**Transductores y Medidores de Vacío.** Los transductores electrónicos de vacío son muy sensibles y se emplean para medidas de alto vacío. Se tienen del tipo mecánico, medidor McLeod, térmicos y de ionización.

**Transductores mecánicos de fuelle y de diafragma.** Estos transductores miden la presión diferencial de la atmósfera y del proceso y por ser mecánicos están limitados a mediciones que no son de alto vacío, esto es, abarcan valores hasta de  $1\text{ mmHg abs}$ . Están acoplados a un transductor elástico como el extensómetro o el capacitivo para detectar el desplazamiento provocado por la presión diferencial.

**Medidor McLeod.** Se utiliza como aparato de precisión en la calibración de los restantes instrumentos. Se basa en comprimir una muestra de gas de gran volumen conocido a un volumen más pequeño y a una presión suficientemente alta para leerla con un manómetro, la Figura 9 muestra la configuración básica. No se recomienda usarlo para mediciones a base abajo de  $10^{-4}\text{ mmHg}$ , pero usando técnicas de división de presión se puede utilizar como estándar de rangos más bajos.

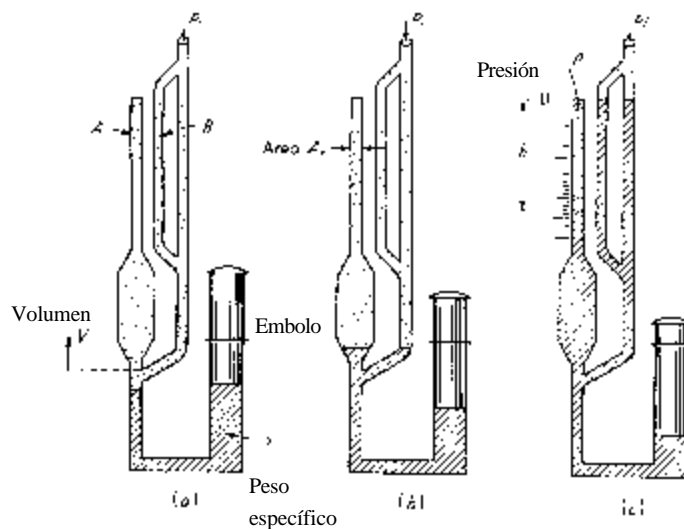


Figura 9.

**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.

**Transductor de vacío de termopar.** Cuando la presión de un gas es suficientemente baja de manera que la trayectoria libre de moléculas es grande comparada con las dimensiones del medidor, existe una relación lineal entre la presión y la conductividad térmica. Las dimensiones adecuadas del medidor están dadas por el espaciado entre las superficies caliente y fría.



El Transductor de termopar se muestra en la Figura 10, tiene una superficie caliente que es una lámina delgada de metal cuya temperatura varía de acuerdo con una corriente que pasa a través de ella. Dependiendo del gas y la corriente, la temperatura se mide con un termopar soldado a la superficie caliente. Por otro lado la superficie fría es el tubo de vidrio que está a la temperatura ambiente.

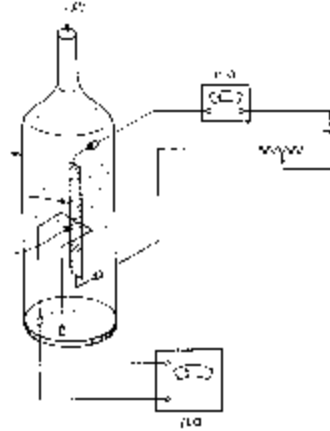


Figura 10.

**Transductor Pirani o de Resistencia** . Se muestra en la Figura 11 y utiliza un puente Wheatstone que compara las resistencias de los dos filamentos de tungsteno, uno sellado en alto vacío dentro de un tubo y el otro en contacto con el gas medido. La corriente que fluye por la resistencia la caliente a una temperatura que depende de la presión del gas. La resistencia eléctrica del elemento cambia con la temperatura y este cambio causa que el puente quede desbalanceado. El puente se utiliza como un dispositivo de deflexión en lugar de un detector de cero. Cualquier cambio en la presión causará un desbalance en el puente.

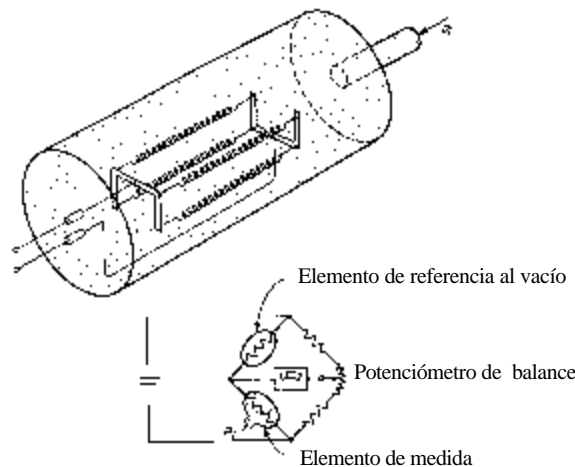


Figura 11

Tiene la ventaja de ser compacto y sencillo de funcionamiento, utilizándolo también a la 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  $2 \times 10^{-3} \text{ mmHg}$  .

**Transductor de vacío de termistor.** Opera bajo el mismo principio que el Pirani excepto que los elementos de resistencia son materiales semiconductores sensibles a la temperatura llamados termistores. Son usados en el rango de  $10^{-4}$  a  $1 \text{ mmHg}$ .

**Transductor bimetalico.** Utiliza una espiral bimetalica calentada por una fuente de voltaje estabilizada. Cualquier cambio en la presión produce una deflexión de la espira, que a su vez está acoplada a un índice que senala en la escala el vacío, su intervalo de medida es de  $1 \times 10^{-3} \text{ mmHg}$ .

**Medidores de Ionización.** En un medidor de ionización se emite un flujo de electrones de un cátodo, algunos de ellos chocan con las moléculas del gas, haciendo que electrones secundarios abandonen las moléculas del gas como iones positivos. El número de iones positivos formados es directamente proporcional a la corriente de electrones  $i_e$  y directamente proporcional a la presión del gas.

Si la corriente  $i_e$  se mantiene fija, la velocidad de producción de iones positivos (generadores de la corriente de ión  $i_1$  de un gas es una medida directa del número de moléculas de gas por unidad de volumen y por tanto de la presión. Los iones positivos son atraídos a un electrodo cargado negativamente el cual los recolecta y genera la corriente de ion  $i_1$ .

En la Figura 12 se muestran los elementos básicos de un medidor de ionización de cátodo caliente. Cubre un rango de  $10^{-10}$  a  $1 \text{ mmHg}$ .

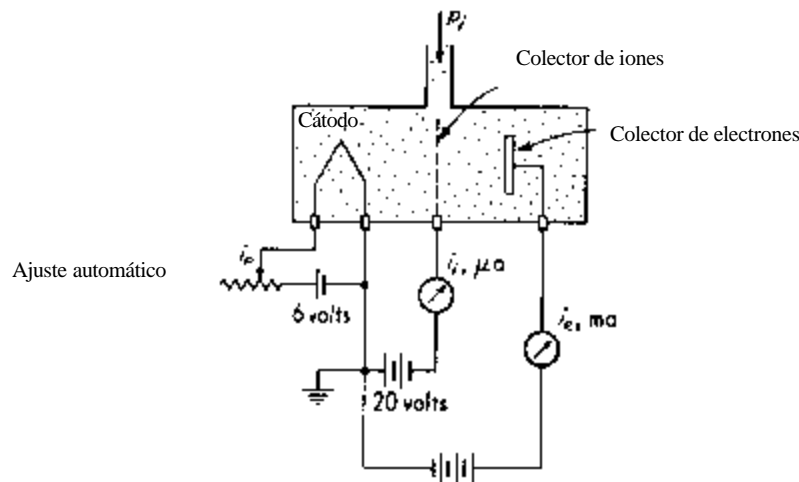


Figura 12

### PARAMETROS DEL TRANSDUCTOR DE PRESION.

Existen diversas características que son importantes conocer a fin de darle al transductor el mejor empleo, entre ellas se encuentran:

- Tipo de presión a medir (absoluta o diferencial).
- Sustancia (líquida o gas) con la que el transductor puede estar en contacto.

- Rango de medida, que corresponde al cambio de presiones que el sensor es capaz de medir sin alterar la medición.
- Sobrepresión, que es el valor de presión máxima aplicada al transductor sin que sufra daños.
- Temperatura de operación, que es el rango de temperatura especificado por el fabricante para que el transductor opere adecuadamente, también se debe tomar en cuenta que la temperatura de la sustancia no exeda este rango.
- Linealidad es la desviación de la respuesta del transductor con respecto al modelo ideal.
- Resolución es la menor variación de la magnitud de entrada para la cual es posible tener variaciones apreciables en la salida.
- Estabilidad es la capacidad del transductor para mantener el valor de la señal de salida cuando el de la entrada se mantiene constante, se expresa en porcentajes de escala máxima .
- Repetibilidad es la capacidad de transductor para reproducir la señal de salida cuando se presenta a la entrada una misma señal en diferentes instantes.
- Voltaje de excitación es el valor de excitación al transductor.
- Sensibilidad que indica la relación entre la variación del voltaje de salida con respecto a las variaciones de presión, se expresa en  $V/psi$  o  $V/mmHg$ .

**DESCRIPCION DEL EQUIPO.**

El equipo está constituido por 2 partes fundamentales, el módulo acondicionador de la señal G24 y la unidad MIL 27 en la cual están montados el transductor de presión y el compresor manual el cual genera la presión patrón. Las dos partes quedan interconectadas a través de un cable. La Figura 13 muestra la disposición del equipo.

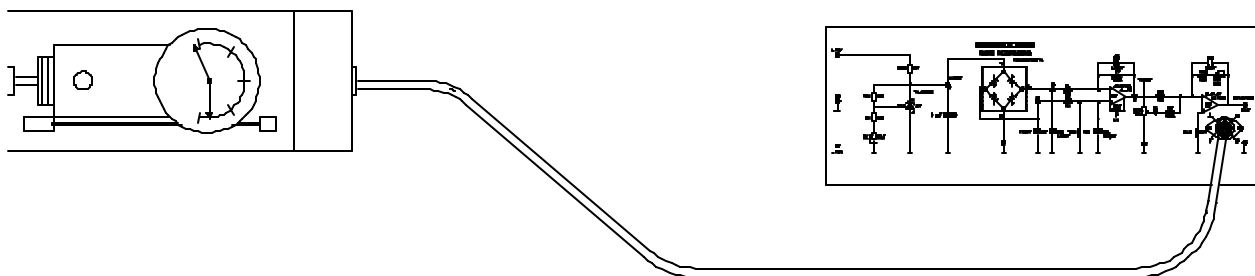


Figura 13

---

**UNIDAD MIL 27**

La unidad MIL 27 se muestra en la Figura 14 que está compuesto por un compresor de aire manual, el cual comprime el aire dependiendo de la posición de la perilla; un manómetro que indica la presión del aire y se toma como lectura de referencia; una válvula de escape y el transductor de presión.

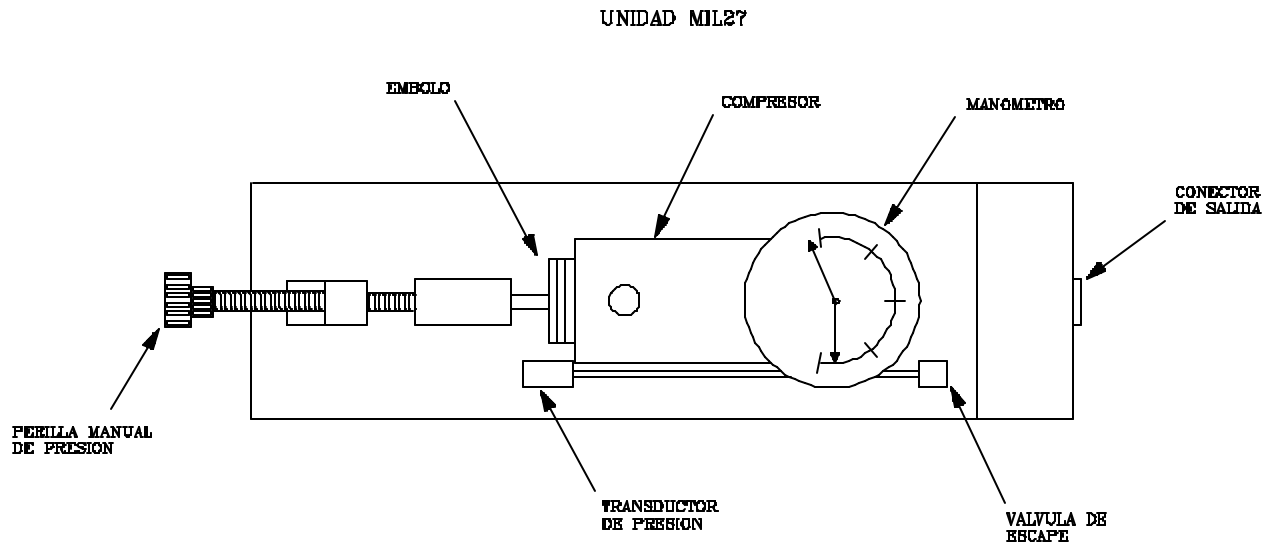


Figura 14

La unidad MIL 27 genera presiones de 0 a 2 bar, con límite en 2.5 bar. La perilla manual se utiliza para empujar el émbolo, en sentido horario se comprime el aire y la presión se indicará en el manómetro. La válvula de escape se utiliza para dejar salir totalmente el aire contenido en el compresor, desatornillando la cubierta y presionando el pivote en el interior.

**ACONDICIONADOR DE LA SEÑAL.**

El acondicionador de la señal para el transductor monolítico de semiconductor es simple, debido a que la señal que el sensor proporciona a la salida es suficientemente elevada. El acondicionador incluye potenciómetros para calibrar a cero y realiza una pequeña amplificación con el fin de adaptar las escalas. El diagrama esquemático se muestra en la Figura 15.

La señal de excitación se logra por medio de un regulador TL430C, cuya variación de voltaje con respecto a la temperatura es de 0.1%, por lo que resulta despreciable respecto a la variación porcentual de la salida del transductor, la regulación del voltaje de excitación se realiza mediante el trimmer Rv1.

La etapa de lectura está constituida por un amplificador diferencial, (CA3140) con una ganancia de 10.

El operacional IC1 está provisto de un potenciómetro Rv2 para ajustar a cero el voltaje de "offset", la señal de salida del amplificador diferencial pasa a una etapa de amplificación (operacional IC2μA741) cuya función es la de adaptar las escalas y la de anular el "offset" del transductor, para lo cual está previsto una amplificación regulable por medio del potenciómetro Rv4 (con ganancia de 1 a 3) y una regulación de "offset" variable de 0 a 1.2 V mediante el trimmer Rv3, obteniéndose a la salida un voltaje que es proporcional a la presión con relación  $100 \text{ mV} = 1 \text{ psi}$ .

---

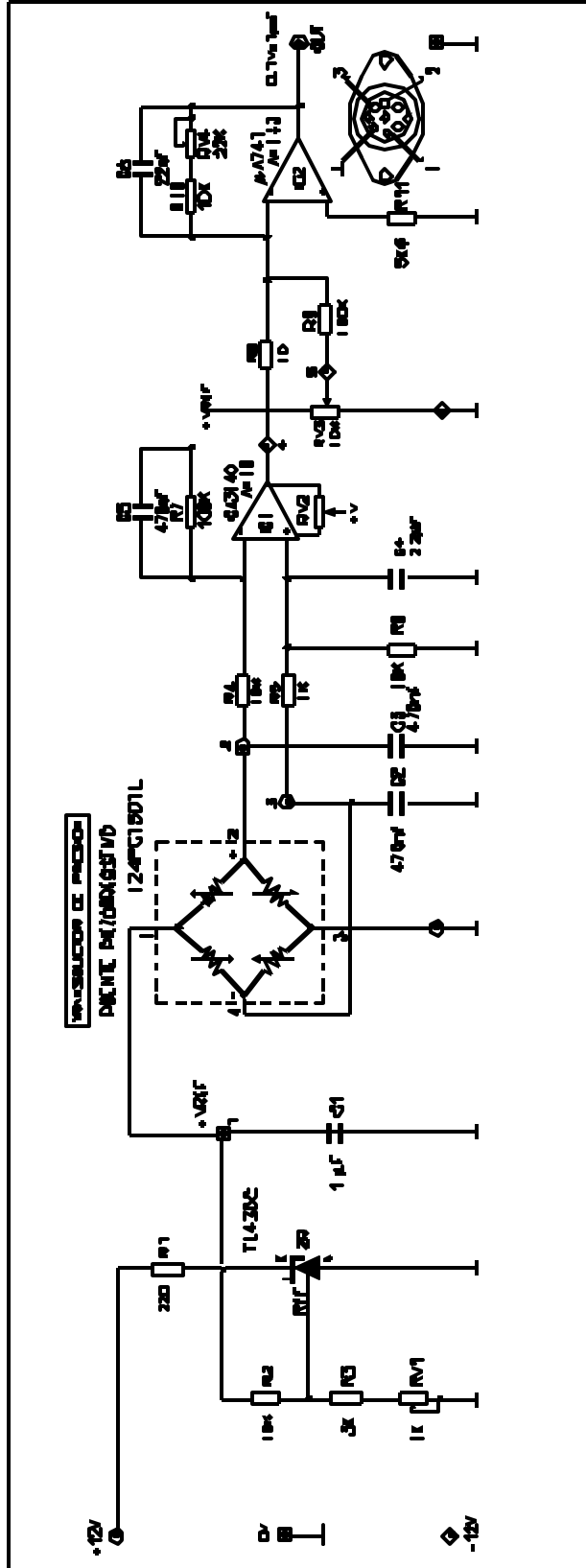


Figura 15

Los amplificadores del acondicionador también realizan una función filtrante, con el fin de eliminar ruidos presentes en la salida, la presencia de este filtro no afecta el funcionamiento del sistema, ya que las variaciones de presión son siempre muy lentas, las frecuencias de corte de los filtros es de aproximadamente 30 Hz.

### **OBJETIVOS**

- Conocer el principio de funcionamiento de los transductores y medidores de presión
- Analizar y comprender al comportamiento del transductor de presión de estado sólido, así como su acondicionador de señal.
- Determinar la respuesta y parámetros principales del medidor de presión.

### **MATERIAL**

- Unidad MIL27
- Módulo G24
- Fuente de alimentación PS1
- Voltmetro digital
- Termómetro
- Banco de focos
- Circuitos de lámparas incandescentes
- Cables de conexión

### **EXPERIMENTO 1: CALIBRACION**

- Alimentar al módulo con  $\pm 12V$  y tierra con la fuente PS1.
- Verificar que el voltaje  $V_{ref}$  en el borne 1 sea de 10 V, de lo contrario ajustar con el potenciómetro Rv1 hasta ajustar dicho voltaje.
- Conectar las entradas del amplificador diferencial IC1 a tierra (bornes 2 y 3) y verificar que el voltaje a la salida del amplificador diferencial IC1 (en el borne 4) sea 0 V, de no ser así ajuste con el potenciómetro RV2.

- Girar la perilla manual de presión en sentido antihorario, de manera que quede lo más afuera posible.
- Abrir la válvula de seguridad de la unidad MIL27 y oprimir su pivote para asegurarse de que no haya aire almacenado en el compresor.
- Verificar que la aguja del manómetro indique 0 bar de presión.
- Verificar que el voltaje a la salida del amplificador diferencial IC2 sea de 0V, de no ser así ajustarlo con el potenciómetro RV3.
- Quitar los cables de los bornes 2 y 3 a tierra.
- Colocar la válvula de seguridad y generar una presión de 0.14 bar.
- Verificar que el voltaje de salida del módulo Vout sea de 200mV con respecto a tierra, de lo contrario ajustarlo con el potenciómetro RV4. Si no se consigue, utilizar el potenciómetro RV3 y nuevamente el potenciómetro RV4 para una ajuste más fino.

**EXPERIMENTO 2: OBTENCION DE LA CURVA PRESION- VOLTAJE**

- Una vez calibrado el módulo del acondicionador de la señal, colocar el voltmetro digital a la salida Vout.
- Asegurarse de que esté puesta la válvula de seguridad y generar la presión en intervalos de 0.2 bar hasta el máximo valor de presión que se consiga. Es importante tomar la temperatura ambiente.
- Tomar los datos del voltaje en Vout y asentarlos en la Tabla 1.
- Determine cuál es el valor mínimo de presión aplicada que produce un voltaje de salida.

PRESION	VOLTAJE

Tabla 1.

---

**EXPERIMENTO 3: DETERMINACION DE LA CURVA PRESION-VOLTAJE AL VARIAR LA TEMPERATURA DEL TRANSDUCTOR DE PRESION.**

- Una vez calibrado el módulo del acondicionador de la señal, calentar por 25 minutos el transductor de presión mediante focos o lámparas.
- Colocar el voltmetro en  $V_{out}$  y tomar la temperatura del transductor.
- Tomar las lecturas de los voltajes con intervalos de 0.2 bar y asentarlas en la Tabla 2.

Temperatura	PRESION	VOLTAJE

Tabla 2

**ANALISIS DE DATOS Y RESULTADOS.**

- 1.- ¿Qué tipo de presión mide el transductor utilizado?
- 2.- ¿Cuál es la sustancia (líquido o gas) que mide el transductor?
- 3.- ¿Cuál es el rango de medida?
- 4.- Grafique la curva característica del medidor presión-voltaje.
- 5.- Con base a la gráfica anterior determine la linealidad.
- 6.- ¿Cuál es la resolución del medidor?
- 7.- Determine la sensibilidad del medidor de presión.
- 8.- ¿En qué afecta la temperatura?.
- 9.- Compare los datos obtenidos con los especificados por el fabricante, incluidos en el Apéndice A.