

Temperatura

Generalidades



- La unidad de la magnitud física básica conocida como temperatura termodinámica, es el kelvin, símbolo **K**.
- Para obtener una escala de temperatura más fácil es muy común expresar la temperatura en términos de su diferencia respecto a 273,15 K (punto de fusión del hielo). Una temperatura termodinámica (T) expresada de este modo se conoce como temperatura Celsius (t) y se define como:

$$t(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15$$

UNIDADES DE TEMPERATURA

Instrumentos para medir temperatura:

- Termómetros fundados en la dilatación y variación de la presión de la sustancia de trabajo.
- Termómetros de resistencia.
- Termómetros termoelectrónicos (termopares).
- Instrumentos para medir la temperatura por radiación.
- Termocupla, el más rápido de todos los termómetros.
(mide de temperatura de 2-5 segundos)

Termómetro de
resistencia



Termómetro
termopar



Termómetro
por radiación



Termocupla



Equipos para medir temperatura

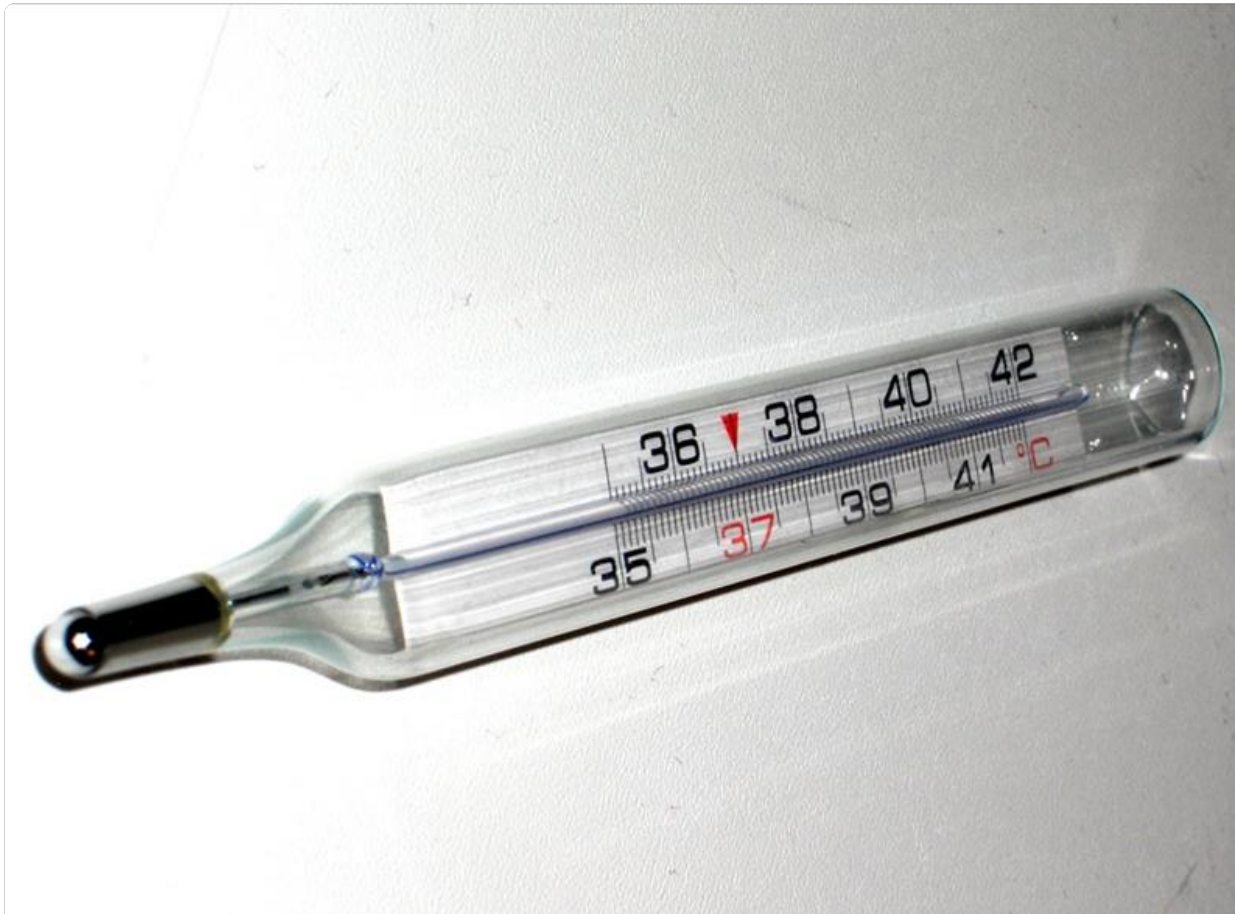
Métodos no eléctricos para la medición de la temperatura.



Los métodos no eléctricos de medición de la temperatura se basan en uno de los siguientes principios:

- En el cambio del estado físico de una sustancia pura, utilizado para la construcción de las Escalas de Temperatura, de por si no son adecuados para la medición de la temperatura en un rango determinado.
- En el cambio de las propiedades químicas de una sustancia pura, tampoco adecuado por la irreversibilidad de la reacción química que impide lograr la repetibilidad y reproducibilidad de las indicaciones en el rango de temperaturas de trabajo.

- En el cambio de una propiedad física, generalmente la expansión térmica. Es el más utilizado de los métodos no eléctricos de medición de la temperatura, posee importantes ventajas asociadas al no utilizar la corriente eléctrica para su funcionamiento, por lo que es muy común encontrarlos en áreas con riesgo de explosiones, por ejemplo, en los tanques de almacenamiento de petróleo.



Los termómetros de líquido se emplean para medir temperaturas en un intervalo comprendido entre -200 y 750 °C .

Entre los termómetros de líquido, los de **mercurio** son los más usados. Estos poseen una serie de ventajas gracias a los méritos excepcionales del mercurio

Termómetro líquido de mercurio

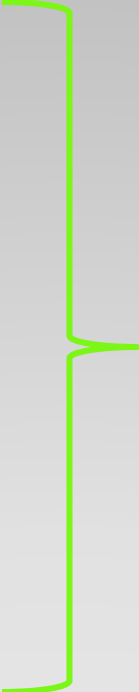
Ventajas termómetro liquido

- *Baratos y versátiles
- *Lectura de forma fácil

Desventajas termómetro liquido

- *Sus indicaciones son afectadas por diversas fuentes de errores
- *Mercurio una peligrosa fuente de contaminación ambiental y humana.

- Fenómenos térmicos:
 - ❖ **Depresión temporal**
 - ❖ **Ascenso secular**
- Presión
 - ❖ **Presión interior**
 - ❖ **Presión exterior**



**Principales fuentes
de error**

Termómetros manométricos.



Tipos de
termómetros
manométricos

- Termómetros de gas
- Termómetros de vapor saturado.
- Termómetros de líquido.

Termómetros de gas

Ventajas

- *Son baratos y muy versátiles, poseen gran robustez y la lectura se realiza de forma fácil.
- *Pueden utilizarse para realizar lecturas remotas, dependiendo de la longitud del capilar

Desventajas

- *Lecturas se pueden ver afectadas por los cambios de temperatura ambiente

Termómetros bimetálicos.

Ventajas

Los termómetros bimetálicos son confiables, fáciles de construir, baratos, soportan bien las vibraciones y los excesos de temperatura.

Desventajas

La respuesta es mala ante los cambios del medio, por lo que son inexactos (inexactitudes el orden del 0,5 al 1,0 %)

Termómetros dilatométricos.

Ventajas

*Dentro de las ventajas de estos termómetros están su construcción simple y sencilla y el hecho de que el costo de fabricación es muy barato.

Desventajas

*Mala respuesta antes los cambios del medio, por lo que son muy inexactos.

Calibración termómetros

- **Secuencia de las operaciones objeto del procedimiento**

1) En general, durante la calibración las medidas de la temperatura se harán cuando el medio isoterma se encuentre estable y uniforme, lo que debe comprobarse en cada punto de calibración. Para comprobar si el medio isoterma está lo suficientemente estable, es conveniente registrar la lectura de uno de los patrones. Para comprobar si el medio isoterma está uniforme se pueden utilizar dos patrones.

2) Antes de comenzar las medidas debe asegurarse una profundidad de inmersión adecuada de los sensores del termómetro a calibrar en el medio isoterma, para evitar problemas de conducción térmica.

3) Se llevarán a cabo bien pruebas de histéresis, uniformidad y/o repetibilidad según la resolución y el tipo de sensor del termómetro a calibrar.

CALIBRACIÓN TERMÓMETRO

4) Si el termómetro lo permite y el cliente lo desea, previamente a la calibración final se realizará el ajuste, realizando las medidas que sean necesarias siguiendo las instrucciones del manual técnico. Se deben anotar las correcciones del termómetro antes del ajuste en una hoja de toma de datos previamente definida para incluirlas en el certificado.

5) Calibración del termómetro en los puntos elegidos, que cubran el margen de utilización del termómetro y que estén distribuidos lo más uniformemente posible. Conviene incluir el valor máximo y mínimo del margen de utilización.

El proceso de lectura que se repetirá para cada punto de calibración, consiste en:

- 1) Lectura del primer patrón, corregida según certificado, t_{11} .
- 2) Lectura del termómetro a calibrar, tx_1 .
- 3) Lectura del segundo patrón, corregida según certificado, t_2 .
- 4) Lectura del termómetro a calibrar, tx_2 .
- 5) Lectura del primer patrón, corregida según certificado, t_{12} .

- En este proceso, si la diferencia entre la temperatura del primer patrón (media de t_{11} y t_{12}) y del segundo (t_2) es mayor que la combinación cuadrática de la uniformidad y la estabilidad asignada al medio isoterma de calibración(1) , se repetirá la medida, por falta de uniformidad o estabilidad.
- Si la diferencia persiste se sustituirá uno de los patrones para identificar el origen del problema o se aumentará la incertidumbre en función de los valores obtenidos.

La presión

Presión es la relación entre una fuerza y la superficie en la cual ella actúa.

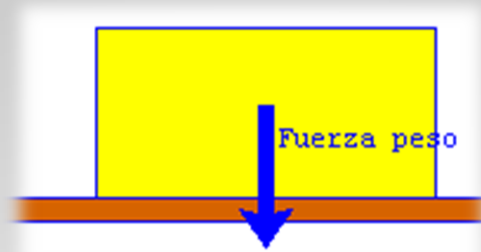
La presión es:

$$P = \frac{F}{A}$$

En el caso más general:

$$P = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} = \frac{dF}{dA}$$

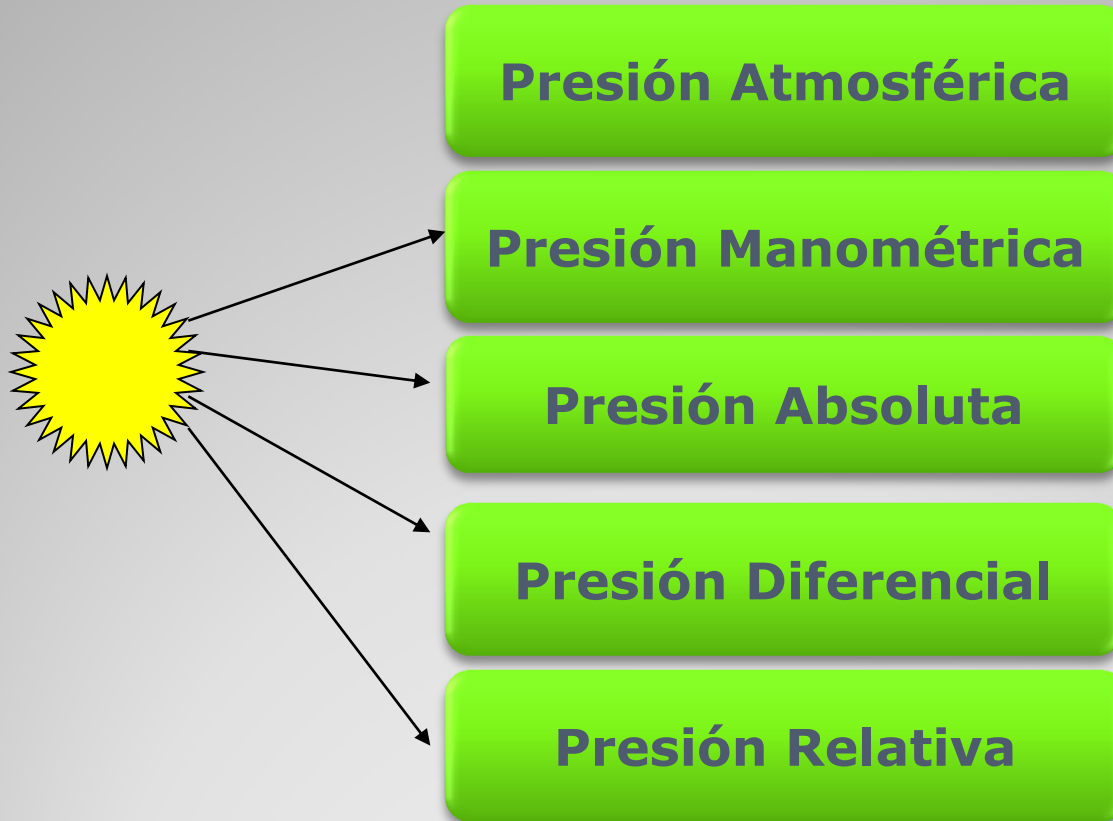
En el Sistema Internacional (SI) la unidad de presión es el **N / m^2 o Pascal (Pa)**.



La presión podrá expresarse en diversas unidades, tales como:

kg/cm^2 ,
psi,
cm de columna de agua,
pulgadas o
mm de Hg,
Bar

Se pueden medir diferentes tipos de presiones dependiendo de la presión que se tome como referencia:



Instrumentos para medir presión

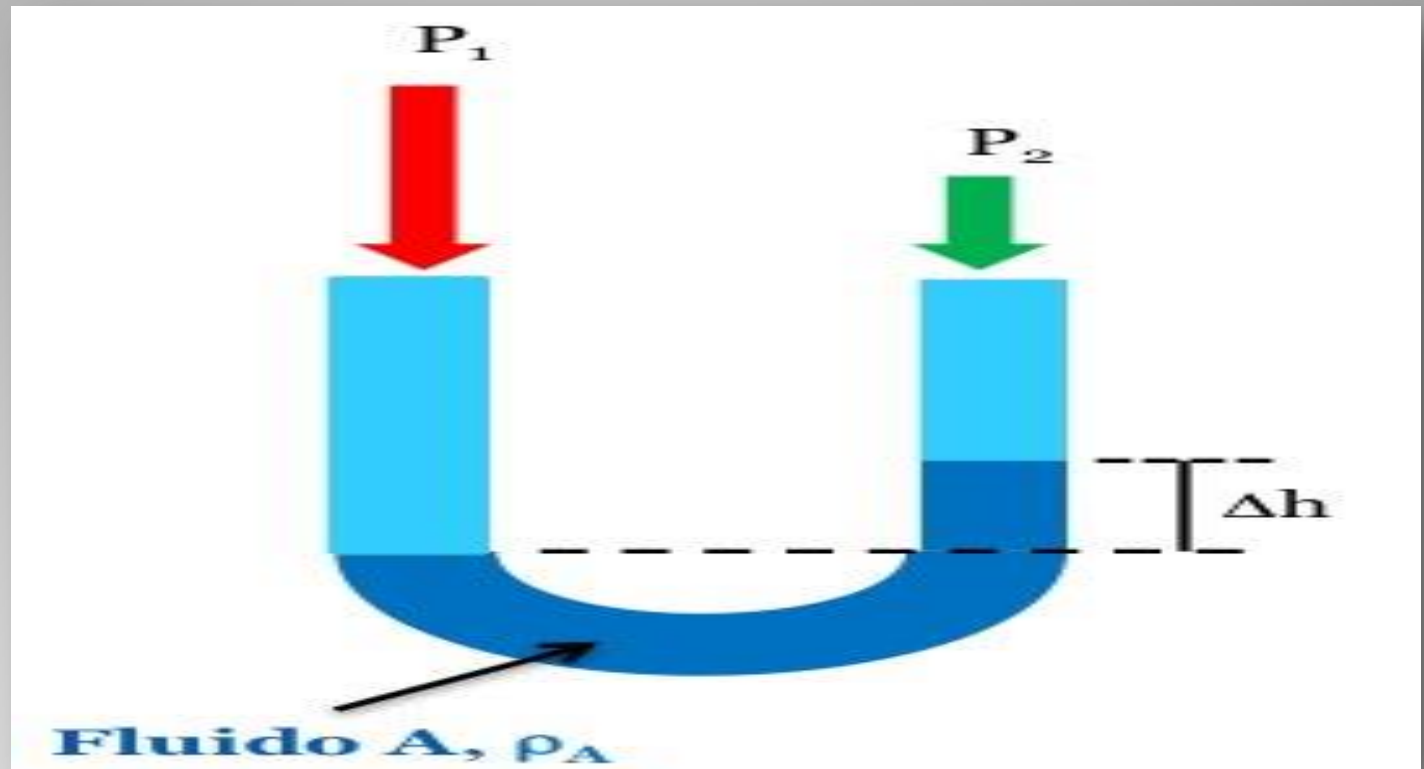
Se pueden clasificar :

- 1) Según el tipo de presión que miden.
- 2) Según su destino metrológico.
- 3) Según su principio de funcionamiento.



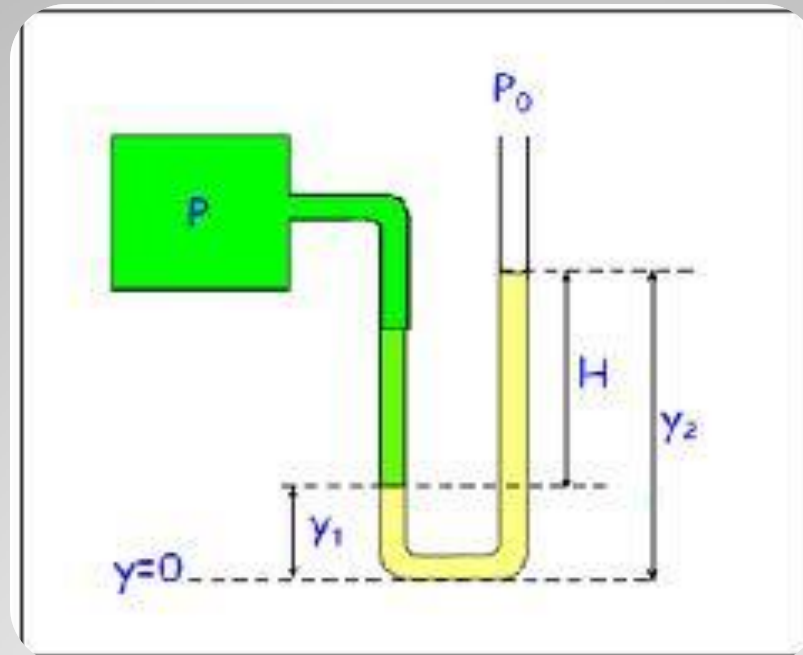
Tipos de manómetros

- Aparato en forma de U

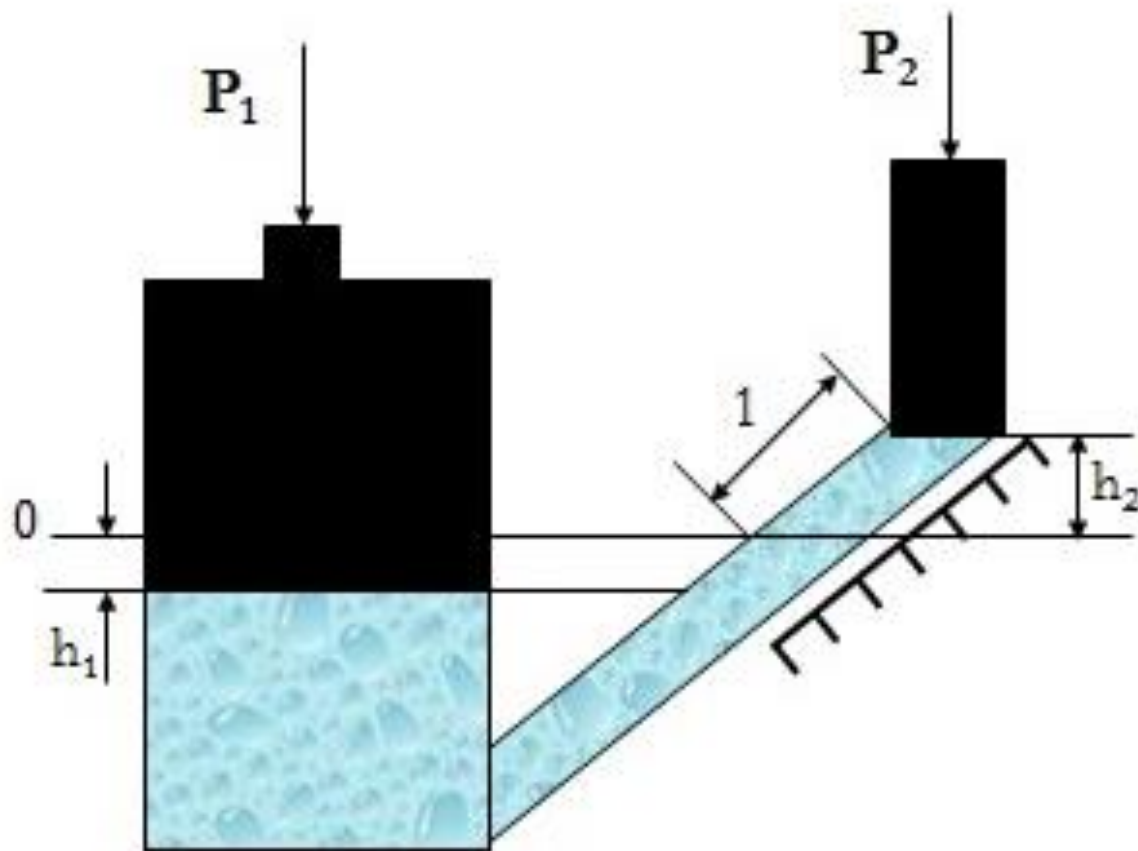


Manómetro líquido

Manómetro de tubo y recipiente



Manómetro liquido



**Manómetro de
tubo inclinado**

Manómetro liquido

Errores y correcciones de los manómetros de líquido.

- ☐ Inexactitud de la graduación de la escala y el error de interpolación que se comete al realizar la lectura en la escala.
- ☐ Desviación de la posición del manómetro con respecto a la vertical.
- ☐ Efecto de la temperatura ambiental.
- ☐ Variación de la aceleración de la gravedad.
- ☐ Influencia del fenómeno de capilaridad en la superficie del menisco del líquido.

Manómetros de deformación elástica

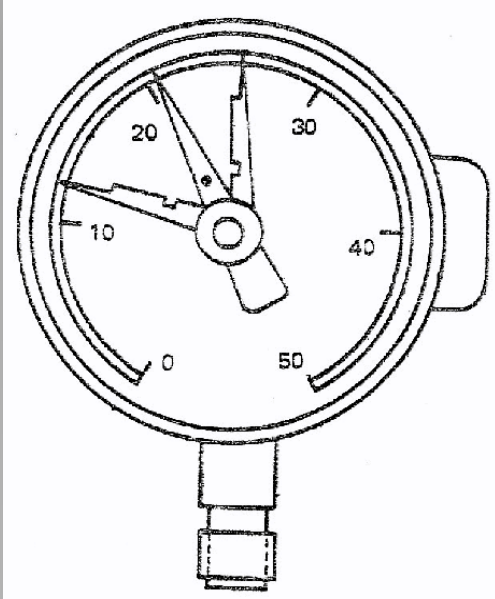
Clasificación según el tipo de elemento elástico:

1. Instrumentos de tubo curvado (simple, helicoidal).
2. Instrumentos de membrana simple o diafragma.
3. Instrumentos de fuelle.

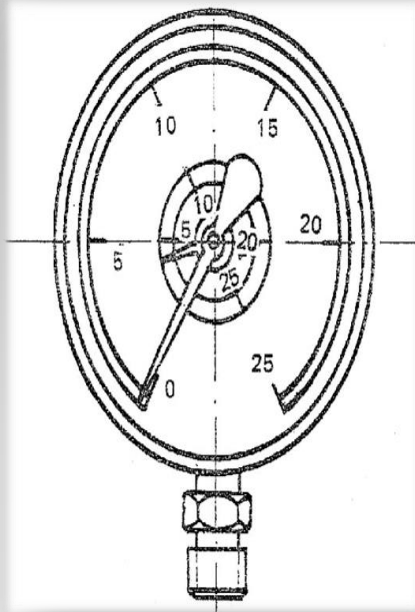
Errores en los manómetros de deformación elástica

- Efecto de la temperatura.
- Errores sistemáticos debido a sus imperfecciones constructivas o que surgen durante su proceso de explotación.

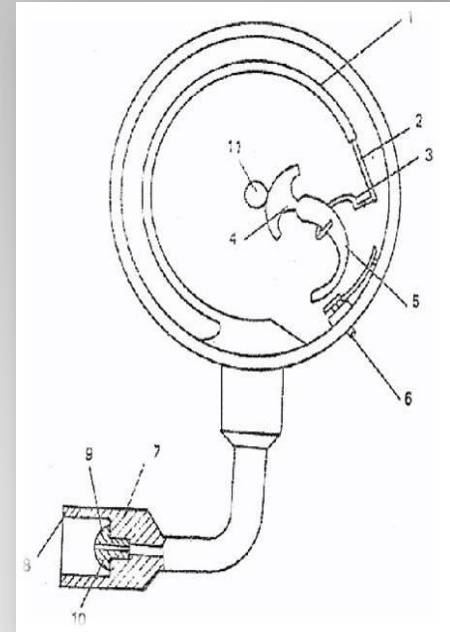
Manómetro de contacto eléctrico



Manómetro de con
aguja de control



Manómetros para
neumáticos de
automóviles

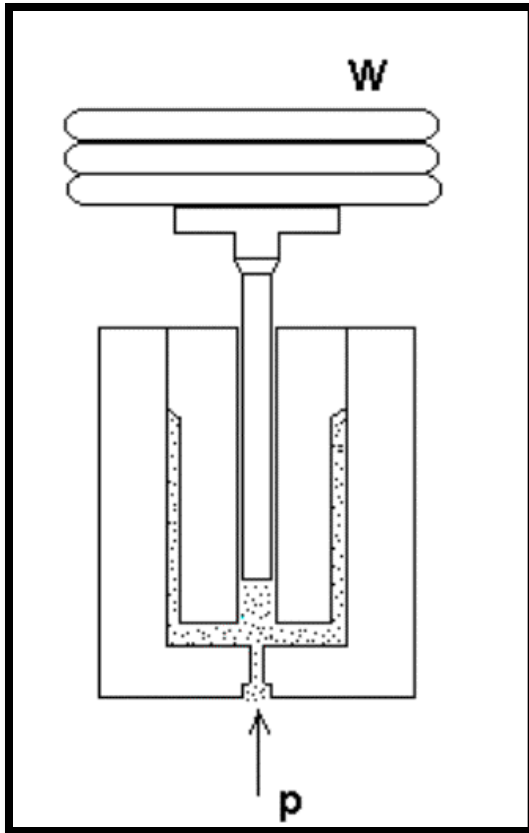


Manómetros de peso muerto

- Fundamentalmente utilizados como instrumentos patrones.
- Alta exactitud de medición (desde 0,001 % hasta 0,2 %).
- Abarcan un gran intervalo de presión (desde centésimas de MPa hasta 20 GPa).
- Aportan valores discretos de presión.

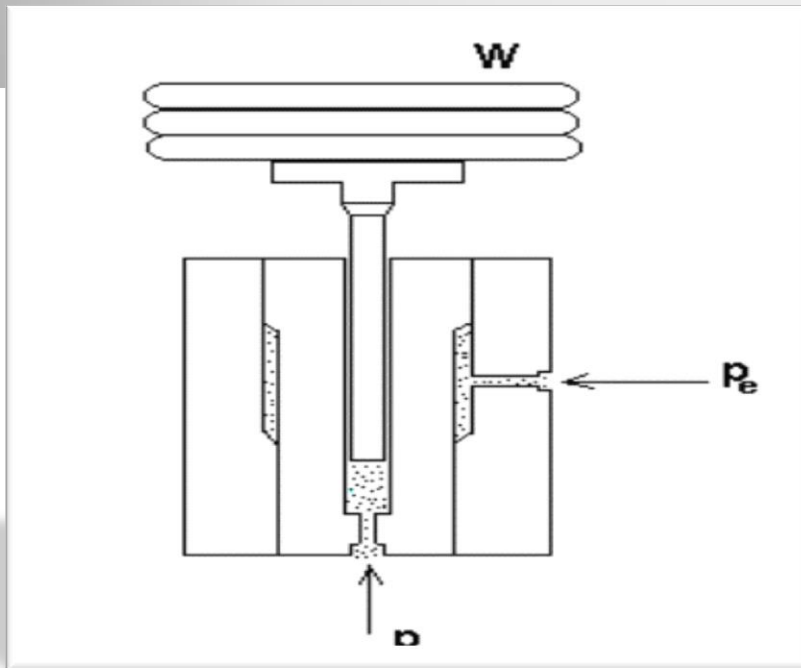
**Manómetros
de peso
muerto**

Manómetro de peso muerto de pistón reentrante



La magnitud de la variación de la holgura entre el pistón y el cilindro (que afecta el valor del área efectiva) bajo los efectos de la presión, se puede contrarrestar aplicando una presión en la parte exterior del cilindro. En este caso, esta presión proviene del mismo líquido de trabajo que es obligado a rodear la parte externa del cilindro.

Manómetro de peso muerto de holgura controlada



En el caso del manómetro de holgura controlada, la presión externa aplicada en la parte exterior del cilindro, proviene de una fuente externa y es regulable.

Manómetros eléctricos y transductores de presión

Manómetros eléctricos



Son el tipo de manómetros en los que el esfuerzo que aparece a causa de la presión que se mide se transforma en señal eléctrica.

Tipos de manómetros eléctricos

Tipos de manómetros eléctricos

La señal se obtiene por la variación de las propiedades del elemento sensible.



♦ Manómetros piezoeléctricos.

♦ Manómetros de resistencia.

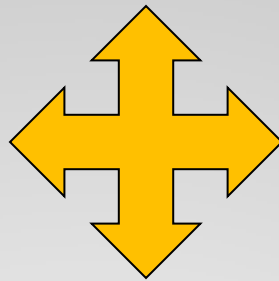
Al deformarse el elemento sensible, varía algún parámetro en el circuito eléctrico en que está conectado.



♦ Manómetros capacitivos.

♦ Manómetros de inducción.

**Etapas de la
calibración de
un manómetro**



- ☐ Preparación de las condiciones para la calibración.
- ☐ Ejecución de la calibración.

Calibración de un manómetro

Aspectos a considerar en la preparación de las condiciones para la calibración:

- a) En el local de calibración existen las condiciones de temperatura y humedad requeridas, según las especificaciones técnicas del instrumento calibrado y el patrón. Si no se especifica alguna condición dada para la temperatura, esta debe mantenerse en el intervalo $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$. La humedad relativa estará en el intervalo de $(65 \pm 15) \%$.

b) El aire ambiental no contendrá polvo ni mezclas agresivas con relación a los materiales de los cuales están fabricados los manómetros que intervienen en la calibración.



- c) No existirán en el lugar de calibración vibraciones ni sacudidas que puedan afectar la exactitud de las mediciones.
- d) Antes de la calibración, el instrumento se mantendrá sin trabajar y a la temperatura de calibración referida en a no menos de 6 h .



- e) Se contará con un dispositivo para crear presión y con una bomba de vacío (en el caso de los vacuómetros), que permita abarcar el rango de medición del instrumento y variar suavemente la presión.
- f) A menos que se indique otra cosa, en particular para el patrón o el manómetro calibrado, se usará como fluido de trabajo para transmitir la presión, aire o gas neutro para presiones hasta 0,25 MPa y líquido no agresivo para presiones mayores que ésta. 3

- g) En la selección del patrón que se utilizará para la calibración se tendrá en cuenta que el mismo debe tener un rango de medición que abarque el rango completo del manómetro calibrado y que el error del patrón sea de 3 a 5 veces menor que el error máximo permisible del manómetro calibrado.
- h) La colocación del patrón y el instrumento calibrado en el dispositivo para crear presión debe hacerse de forma que el nivel de referencia para la medición de la presión quede en un mismo plano para ambos instrumentos.

Ejecución de la calibración

Comprende en general tres operaciones fundamentales:

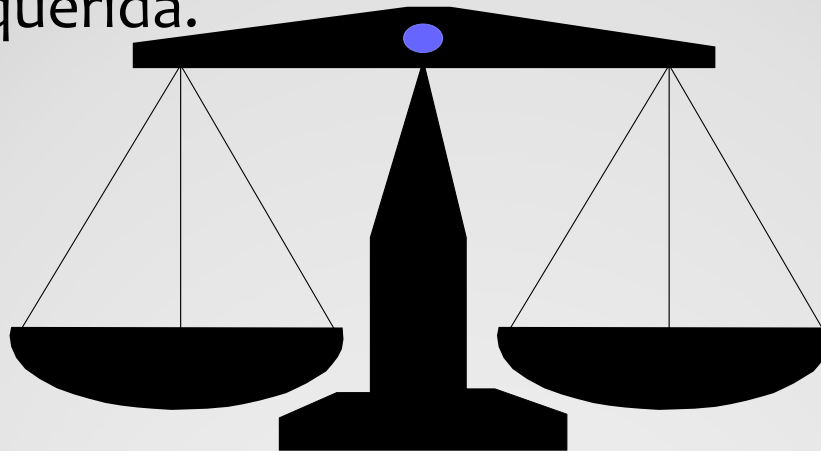


- Examen exterior.
- Comprobación del funcionamiento.
- Determinación de los errores del instrumento y de otras propiedades metrológicas que influyen en la exactitud del mismo.

Calibración de manómetros de peso muerto

- La calibración se basa en la determinación del área efectiva del pistón mediante su comparación con otro manómetro de mayor exactitud.

- A partir del valor del área efectiva, se determina el valor calculado de las pesas para que creen los valores de presión en que están graduadas, calibrándose las mismas con pesas y balanzas patrones que tengan la exactitud requerida.



- En los manómetros de peso muerto se determina además, el tiempo de giro libre del pistón y su velocidad de descenso, así como la perpendicularidad entre el plato receptor de las pesas y el pistón, que son parámetros determinantes para que las mediciones con estos instrumentos tengan la calidad requerida.

HUMEDAD

La humedad es simplemente agua en su fase gaseosa, propiamente llamada vapor de agua.

Tipos de humedad

Humedad

Humedad
absoluta

Humedad
relativa

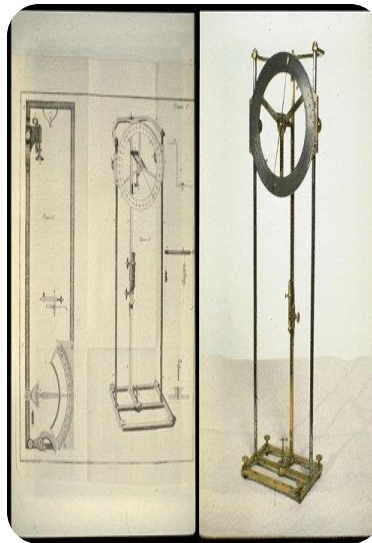


Instrumentos para medir la humedad:

Psicrómetros



Higrómetros mecánicos



Higrómetros electrónicos



- **Evaluación de las incertidumbres durante la medición de la temperatura.**

Medios para la calibración.

1. Patrones de medición.
2. Medios de comparación.
3. Equipo adicional.

Patrones de medición (de trabajo).

El juego de instrumentos patrones puede comprender:

- Juego de termómetros de resistencia de platino, con error máximo permisible en el intervalo de -50 a 300 °C con error máximo permisible de $\pm 0,05$ °C .
- Juego de termómetros de mercurio en vidrio con rango de medición de -30 a 400 °C .
- Juego de termopares de platino-10 % rodio/platino con error máximo permisible en el rango de 300 a 1 200 °C con error máximo permisible de ± 1 °C .

- Juego de instrumentos de medición eléctricos de alta exactitud que comprende preferiblemente un puente automático para medir la resistencia termométrica y un voltímetro digital para medir la termofem de los termopares.
- Puntos fijos, preferiblemente una celda del punto triple del agua o un punto de fusión del hielo.

Los instrumentos patrones están destinados a la calibración de instrumentos comunes en los puntos fijos y por comparación directa en baños o termostatos y hornos de altas temperaturas.

Calibración:

La calibración de los termómetros industriales siempre se realiza por comparación directa con un termómetro patrón (que puede ser uno de los antes mencionados) en un baño o un horno que reproduce el valor de temperatura a la cual se efectúa la calibración.

En el caso en que cualquiera de los termómetros o ambos sean instrumentos con los cuales no podemos medir por valoración directa entonces, será necesario utilizar instrumentos secundarios asociados a cada uno de ellos. Estos pueden ser puentes automáticos para termómetros de resistencia , y voltímetros digitales, para termopares.

En todos los casos puede obtenerse como resultado de la calibración, el valor del error (Δ) del termómetro que se calibra como la diferencia entre la temperatura (t) *indicada* o determinada por el termómetro que se calibra y la temperatura (t_R) *convencionalmente verdadera* determinada por el termómetro patrón. No obstante en la práctica cuando se calibran termómetros de resistencia o termopares en muchos casos se entregan como resultados los valores de resistencias o termofem respectivamente para varios valores de temperatura en los cuales se efectúa la calibración.

El pHmetro



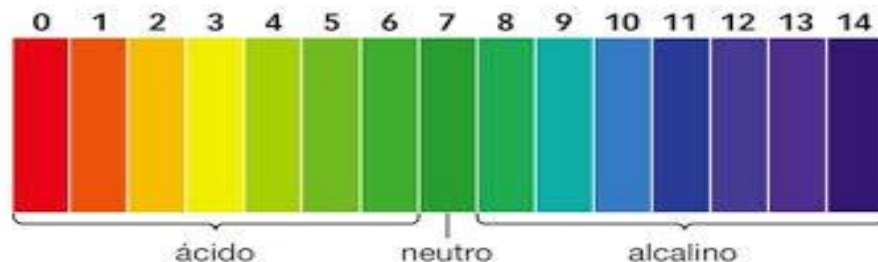
pHmetro

Es un sensor utilizado en el método electroquímico para medir el **pH** de una **disolución**.

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

La escala del pHmetro

Mide qué tan ácida o básica es una sustancia. Varía de 0 a 14. Un pH de 7 es neutro. Si el pH es inferior a 7 es ácido y si es superior a 7 es básico.



Calibración pHmetro



Como los electrodos de vidrio de pH mesuran la concentración de H^+ relativa a sus referencias, tienen que ser calibrados periódicamente para asegurar la precisión. Por eso se utilizan buffers de calibrase (disoluciones reguladoras de pH conocido).

Pasos:

1. Echar en un vaso de precipitado una cantidad de solución tampón pH=7.
2. Pulsar el botón ON/OFF del aparato.
3. Sumergir el electrodo sólo 2 cm en el vaso.
4. Pulsar el botón CAL para proceder a la calibración.
5. Agitar suavemente y esperar a que la lectura se estabilice: deberá aparecer en pantalla el número 7.
6. Una vez estabilizada la lectura en el valor 7, apretar el botón HOLD/CON para aceptar esta lectura.

7. Lavar el electrodo con el frasco lavador. Vertiendo el agua del lavado en un cristizador.

8. Secar cuidadosamente el electrodo con un pañuelo de papel.

9. Echar en un vaso de precipitación una cantidad de solución tampón $\text{pH}=4$ ó $\text{pH}=10$.



10. Repetir los pasos desde el 3 hasta el 8, con uno de los dos vasos anteriores (no es necesario hacerlo con los dos).
11. El valor que tendrá que aparecer en pantalla será de 4 si utilizamos el vaso con la solución de $\text{pH}=4$ y de 10 si utilizamos el vaso con la solución de $\text{pH}=10$.
12. Ya tenemos calibrado el PHmetro, ahora podemos proceder a la medición del pH de nuestra muestra de agua según el protocolo correspondiente.