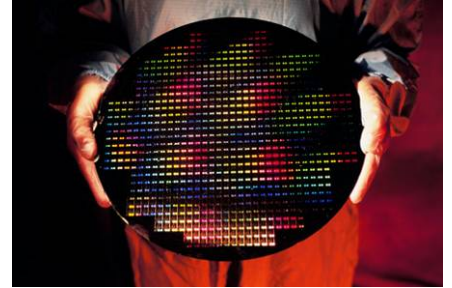


Medida de Vacío Absoluto

Actualmente las mediciones de vacío absoluto son utilizadas ampliamente en el desarrollo de nuevas tecnologías, desde la simulación espacial, fabricación de semiconductores, crecimiento de películas delgadas, caracterización de materiales; a lo largo de todo el proceso de producción, por lo tanto, es importante conocer los tipos de instrumentos y sus características y aplicaciones más comunes para obtener el mejor funcionamiento posible.



Para esto hay varios tipos de instrumentos para la medición de vacío de acuerdo al principio de medición utilizado, a continuación describiremos los diferentes tipos de sensores y sus aplicaciones más comunes.

Las aplicaciones para los sensores de vacío son muy diversas, como por ejemplo:

Secado al vacío de alimentos	$1E+2 \dots 8E+3$ Pa
Secado de papel aislante	$1E-1 \dots 1E+4$ Pa
Destemple y recocido de materiales	$1E-2 \dots 1E-1$ Pa
Soldadura por emisión de electrones	$1E-3 \dots 1E+5$ Pa
Metalurgia al vacío	$1E-3 \dots 1E+2$ Pa
Deposición electrónica	$1E-3 \dots 1$ Pa
Recubrimiento por evaporación	$1E-7 \dots 1E-2$ Pa
Fabricación de semiconductores	$1E-9 \dots 1$ Pa
Análisis y tecnología de superficies	$1E-10 \dots 1E-4$ Pa

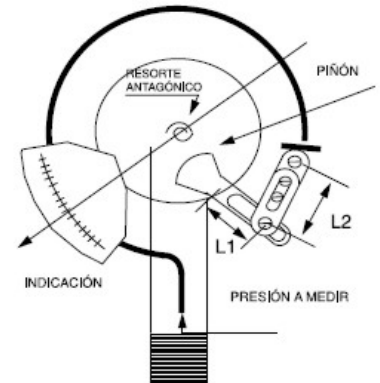


A continuación describiremos brevemente los diferentes tipos de vacuómetros:

MECÁNICOS

Carátula

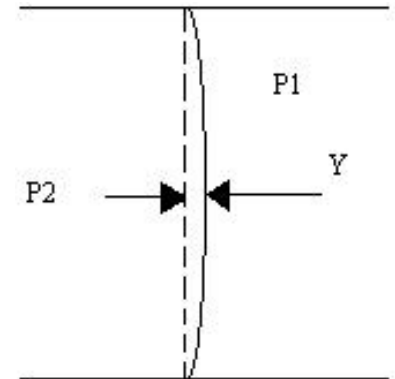
Estos sensores están basados en el principio del tubo Bourdon, el cual lo conforman un tubo de sección elástica que forma un anillo casi completo, cerrado por un extremo. Al aumentar la presión en el interior del tubo, éste tiende a enderezarse (y viceversa) y el movimiento es transmitido a la aguja indicadora, por un sector dentado y un piñón.



Sensor de diafragma capacitivo

El sensor de diafragma capacitivo es un sensor de método directo puesto que mide la presión utilizando el desplazamiento de una frontera física, en el cual se puede fácilmente discernir la definición de presión como fuerza por unidad de superficie.

En el sensor capacitivo un delgado diafragma metálico es mantenido bajo presión entre dos regiones aisladas una de la otra por el mismo diafragma, ocasionando una deflexión del mismo.

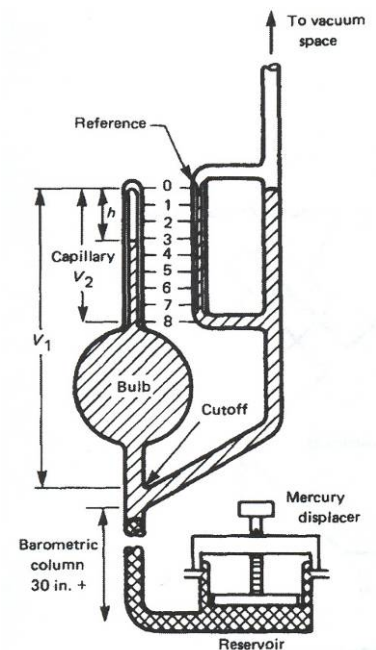


Estos sensores miden la presión directamente independientemente del tipo de gas con una excelente exactitud y precisión, a lo largo de hasta 5 décadas de medición, además de utilizarse como patrón de referencia secundario en sistemas de calibración.

COLUMNA DE LÍQUIDO

El vacuómetro McLeod es un vacuómetro de presión absoluta analógico con escala cuadrática (no logarítmica), es clasificado junto con la columna de tubo en "U" como un vacuómetro de lectura directa, dado que se basa en el desplazamiento físico de una "pared", siendo esta "pared" el nivel del menisco de la columna de mercurio, este instrumento es un vacuómetro de método primario dado que basa su medición en las magnitudes de volumen y altura.

El McLeod se a estado reemplazado por sensores electrónicos modernos, de conductividad térmica, como el Pirani, Convección y el tipo Termopar los cuales cubren ampliamente el alcance de medio vacío con mucha mejor exactitud.

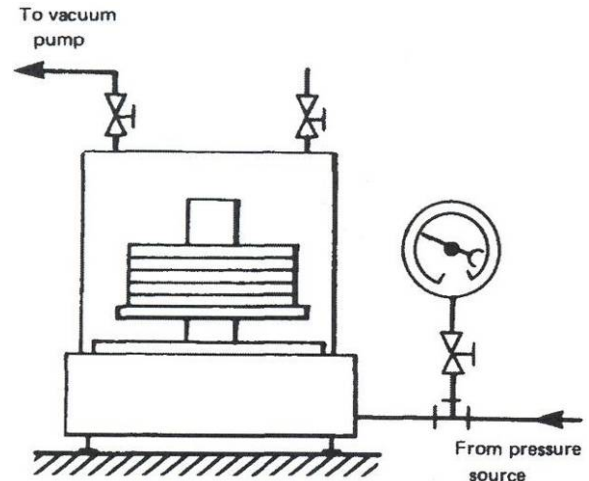


Presión
atmosférica
en la cima del
monte Everest
31 000 Pa

Presión de vapor
del punto
triple del agua
611 Pa

PISTÓN-CILINDRO

También conocido como balanza de presión o balanza de pesos muertos, las cuales son un método primario de medición de presión hay modelos para medir presiones por debajo de la presión atmosférica local, las cuales alcanzan las 10 ppm de exactitud. Estas balanzas tienen una cámara de vacío la cual se coloca por arriba de las masas y así poder eliminar la corrección del empuje del aire.



Los instrumentos para medir vacío mencionados anteriormente funcionan en ciertos intervalos, por ejemplo; en el intervalo de la presión atmosférica hasta cerca de $1E-1$ Pa ($1E-3$ Torr), la presión puede ser medida directamente. Una gran mayoría de estas mediciones implica la medición de variación en la altura de una columna de líquido (tubos en U, McLeod, etc.), en algunos casos, la fuerza en contra de un pistón que flota libremente y que constituye parte de la pared de la cámara utilizada o bien medir la deformación provocada en algún elemento elástico como en el Bourdon, cápsulas aneroides o diafragmas.

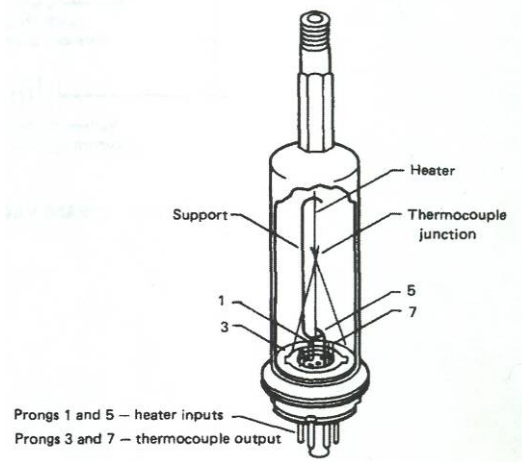
En el intervalo por debajo de $1E-1$ Pa ($1E-3$ Torr), la fuerza por unidad de área es tan pequeña que no puede ser medida directamente. En este caso el enfoque es medir el cambio de las propiedades físico-químicas del gas provocadas por el cambio de presión o vacío, estas propiedades son: la conductividad térmica de los gases, su viscosidad, y su ionización.

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

La conductividad térmica es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. En otras palabras la conductividad térmica es también la capacidad de una sustancia de transferir el movimiento cinético de sus moléculas a sus propias moléculas adyacentes o a otras sustancias con las que está en contacto.

Hay dos tipos de sensores más comunes los cuales son: Pirani y Termopar. Estos difieren en la manera de medir la temperatura del filamento sensor, de apenas 0,5 mm de diámetro.

En realidad no hay nada nuevo con respecto a estos sensores desde el punto de vista fundamental, pero la electrónica moderna ha ayudado a extender sus intervalos de medición y mejorar la conveniencia de utilizarlos. Los dos sensores miden el efecto de enfriamiento del gas residual sobre un alambre calentado. Por lo que la lectura es afectada por la composición del gas (La corriente de calentamiento es mantenida constante).



Termopar

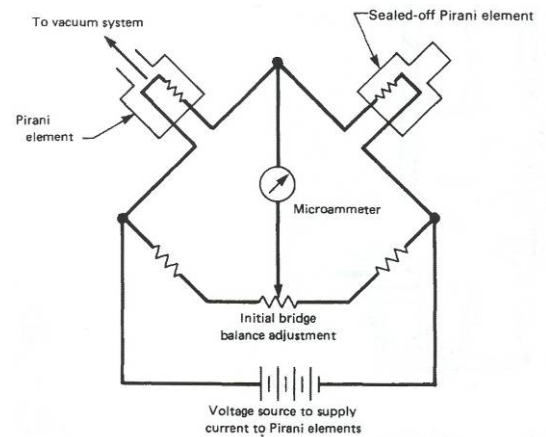
La temperatura del filamento es medida con un termopar soldado a su centro.

Pirani

El sensor Pirani mide la resistencia del filamento con un circuito tipo puente.

Convección

El sensor Pirani puede modificarse para medir vacío absoluto del orden de la presión atmosférica aprovechando los fenómenos de convección térmica.



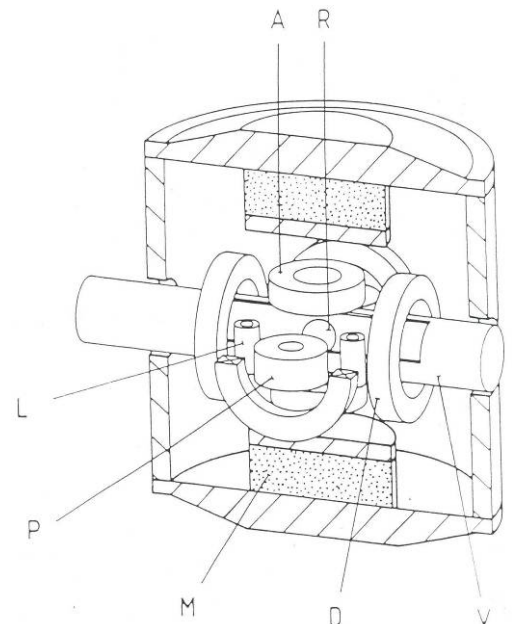
Vacío del espacio
en la
órbita terrestre
3E-11 Pa

ARRASTRE MOLECULAR

El sensor de arrastre molecular (MDG, Molecular Drag Gauge) o balín giratorio (SRG, Spinning Rotor Gauge) consta de una esfera de material magnético la cual es levitada con campos magnéticos. Usualmente la esfera es de acero inoxidable o invar, y tiene 4,5 mm de diámetro. La esfera es girada inductivamente a cerca de 400 Hz, en ese momento el inductor es apagado y la esfera continúa girando. La suspensión magnética actúa como un muy pequeño cojinete de fricción.

Las colisiones del gas con la superficie de la esfera tiende a disminuir la rotación de la esfera. El arrastre puede ser calculado con exactitud conociendo el gas, su presión, la temperatura, y el diámetro y densidad de la esfera.

La rotación de la esfera es detectada inductivamente por una bobina sensora. El vector magnético no deberá estar alineado exactamente con el vector de rotación para que se produzca una señal en la bobina sensora. La salida de la bobina sensora es analizada por el controlador para determinar la razón de decaimiento o desaceleración. La determinación exacta de la desaceleración es crítica, ya que ésta es muy pequeña a bajas presiones.

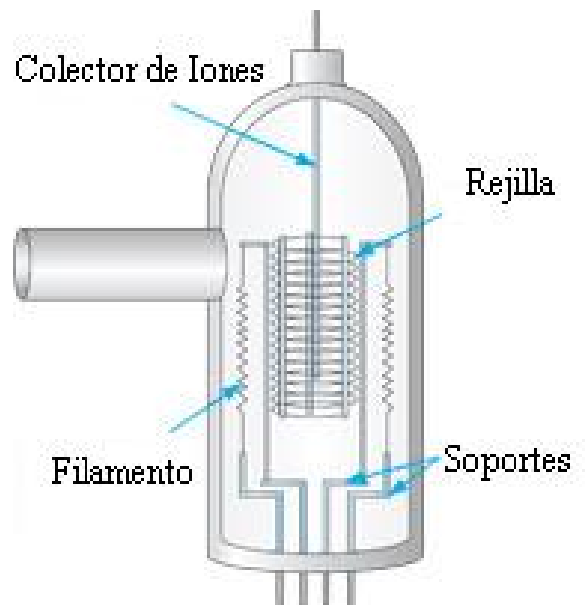


IONIZACIÓN

La ionización es el proceso químico o físico mediante el cual se producen iones, estos son átomos o moléculas cargadas eléctricamente debido al exceso o falta de electrones respecto a un átomo o molécula neutra. Este efecto es utilizado en los sensores de ionización. Existen dos tipos principales: El sensor de descarga de cátodo frío y el de cátodo caliente.

Cátodo caliente

También conocido como Bayard-Alpert, es el sensor que se usa más frecuentemente para medir presiones debajo de $1\text{E}-1\text{ Pa}$ ($1\text{E}-3\text{ Torr}$). Este sensor evita el problema de los rayos X colocando el cátodo (filamento caliente) fuera de la rejilla y haciendo de colector a un delgado alambre axial. El colector cargado negativamente continua colectando iones positivos, pero por su pequeña área intercepta pocos rayos X y por lo tanto emite una pequeña corriente fotoeléctrica.

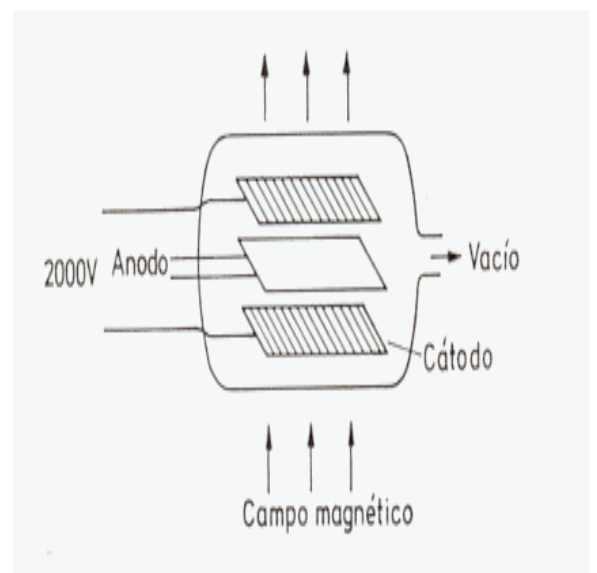


Se encuentra disponibles en tubo de vidrio o desnudos, con filamentos de diferentes materiales.

Cátodo frío

Este sensor también es llamado sensor Penning. El cuerpo cilíndrico del sensor es el cátodo, el ánodo es un anillo de alambre cercano al eje central. Un imán cilíndrico permanente alrededor del cuerpo suministra un campo magnético axial. El intervalo de vacío es típicamente de $1\text{E}-6\text{...}1\text{E}-3\text{ Pa}$ ($1\text{E}-8\text{...}1\text{E}-5\text{ Torr}$). Este sensor no se daña al encenderlo a altas presiones, además de ser muy útil para aplicaciones de vacío en medios sucios. Este sensor tiene un inicio lento y pobre a alto vacío, debe iniciarse el proceso de ionización a presiones mayores a $1\text{E}-3\text{ Pa}$.

Otra modalidad de vacuómetros de cátodo frío son el magnetrón y magnetrón invertido, de estos el más popular es el magnetrón invertido, el cual produce electrones al aplicarle una tensión eléctrica a electrodos no-calentados. En tal sensor los rayos X son proporcionales a la presión, por lo tanto corrientes parásitas no son producidas. Los electrones girando alrededor del electrodo central ionizan las moléculas de gas, que son colectadas en el cátodo curvo.

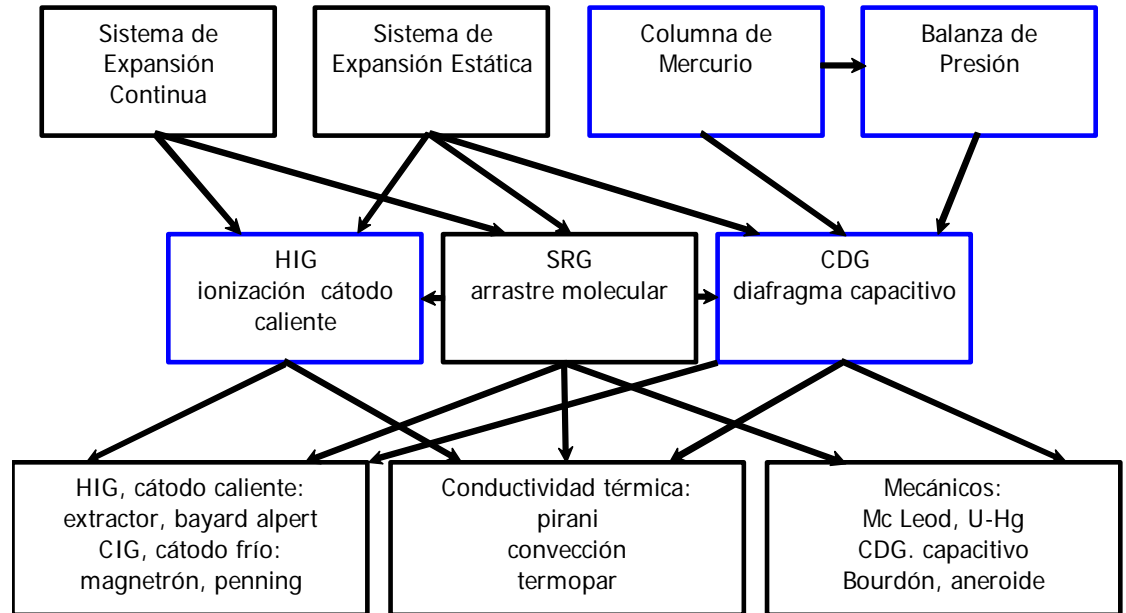


Vacío alcanzado
por un
experimento
 $1\text{E}-12\text{ Pa}$

Viendo los diferentes tipos de sensores y las aplicaciones, queda para cada usuario seleccionar el mas óptimo de acuerdo a su intervalo de medición, exactitud requerida, tipo de gas, tipo de ambiente, condiciones ambientales de operación, etc.

TRAZABILIDAD, VACUÓMETROS DE VACÍO ABSOLUTO

Los vacuómetros ordinarios utilizados en las líneas de producción o sistemas experimentales deben ser calibrados con patrones de referencia mantenidos por laboratorios de referencia (también conocidos como secundarios), los cuales a su vez deben calibrarse con trazabilidad a patrones primarios reconocidos y mantenidos usualmente en los Institutos Nacionales de Metrología (como CENAM en México), en el siguiente diagrama se muestra la estructura típica de trazabilidad para la magnitud de vacío absoluto.



Vacío en el espacio en galaxias exteriores
1E-18 Pa