

## Técnicas de vacío

El término *vacío* se refiere a un espacio lleno con gases a una presión menor a la atmosférica. Podemos clasificar los diferentes grados de vacío de acuerdo al valor de la presión del gas. A menor presión, mayor es el grado de vacío.

### Grados de vacío:

1) *Bajo y mediano vacío.* El intervalo de presión atmosférica con estas características se manifiesta desde un poco menos de 760 torr hasta  $10^{-2}$  torr. Con las técnicas usuales para hacer vacío los gases que componen el aire se evacúan a diferentes velocidades y esto altera la composición de gases del aire residual.

2) *Alto vacío.* El intervalo de presión se extiende desde cerca de  $10^{-3}$  hasta  $10^{-7}$  torr. La composición de gases residuales presenta un alto contenido de vapor de agua ( $H_2O$ ).

3) *Ultra alto vacío.* El intervalo de presión va desde  $10^{-7}$  hasta  $10^{-12}$  torr. Las superficies internas del recipiente se mantienen *limpias* de gas. En este intervalo el componente dominante de los gases residuales es el hidrógeno.

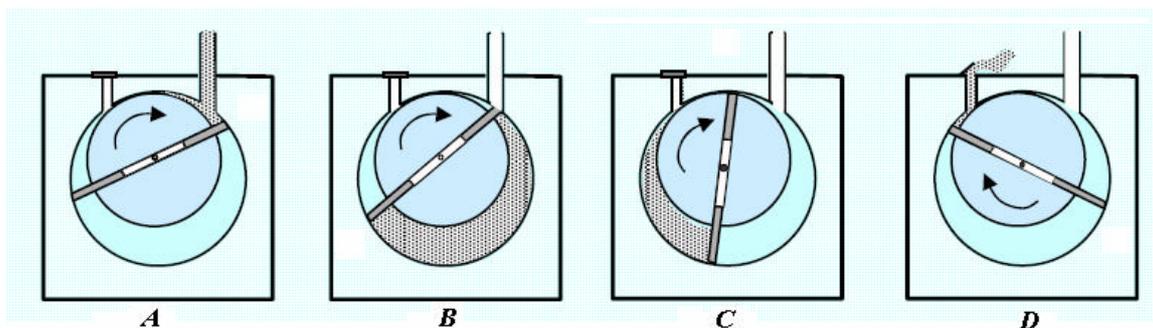
Clase vacío	presión mbar
Bajo	$1 \times 10^3$
	$1 \times 10^0$
Medio	$1 \times 10^{-3}$
	$1 \times 10^{-7}$
Alto	$1 \times 10^{-7}$
	$1 \times 10^{-12}$

1 bar = 1000 hPa  
 1 atm = 1,01325 bar  
 1 mbar = 0,75 Torr

### Generación de vacío

#### **Bomba mecánica de paleta rotatoria:**

Esta bomba consiste en un espacio cilíndrico (estator) en cuyo interior gira excéntricamente un cilindro de diámetro menor (rotor). Las paletas son mantenidas en contacto con las paredes del estator por medio de resortes.



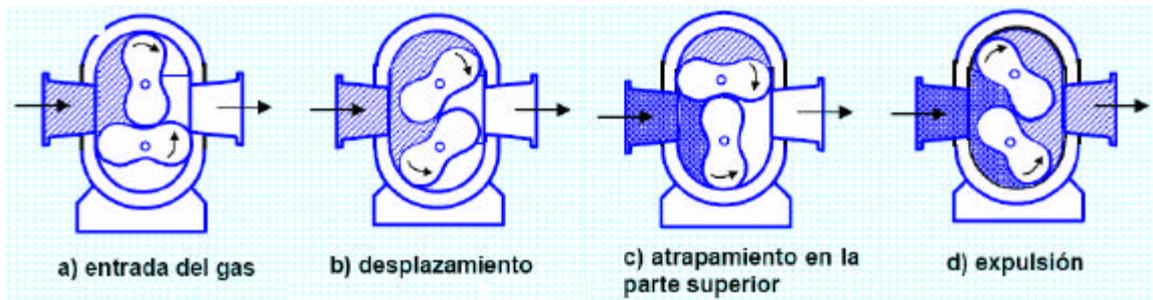
El volumen encerrado entre la entrada y la paleta aumenta al girar el rotor (cuadros A y B), por lo tanto el gas se mueve hacia esta área. Dicho gas es luego aislado y la paleta comienza a comprimirlo (cuadro C), y finalmente es expulsado al abrirse la válvula de descarga (cuadro D).

El principal límite de este método se debe al reflujo de gas en la zona de compresión. Para mejorar dicho límite se utilizan bombas de doble efecto (dos bombas colocadas en serie).

Pueden obtenerse presiones de hasta 0,1 mBar aproximadamente.

### Bombas “Roots”:

Su funcionamiento es similar a de la bomba de paleta rotatoria, pero en este caso el aire es arrastrado hacia fuera por dos piezas en forma de ocho que giran en sentidos opuestos.

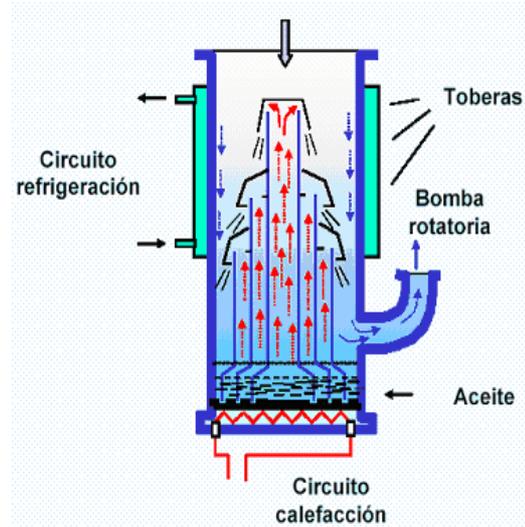


El rango de esta bomba es de 1mBar -  $10^{-3}$  mBar. Tiene una mayor velocidad de bombeo que la anterior, pues los émbolos giran a gran velocidad (1000-3000 r.p.m.).

### Bomba de difusión:

En una bomba de este tipo las moléculas de gas son arrastradas hacia abajo por medio de colisiones con moléculas de vapor de aceite (originalmente se utilizaba mercurio) y liberadas a través de una boca de descarga. El aceite se calienta en la parte inferior, asciende por las chimeneas y es liberado hacia abajo a través de orificios (toberas). Al chocar con las paredes refrigeradas, se condensa y vuelve al calentador por acción de la gravedad.

Para el correcto funcionamiento es necesario que la boca de aspiración y la boca de descarga se encuentren a una presión aproximada máxima de 0,1 y 0,5 mBar respectivamente, por lo cual es necesario el uso de bombas rotatorias de apoyo. El rango de trabajo de estas bombas es de  $10^{-3}$ - $10^{-7}$  mBar. Un problema asociado a esta máquina es la contaminación de la cámara de vacío debida a un reflujo de aceite.

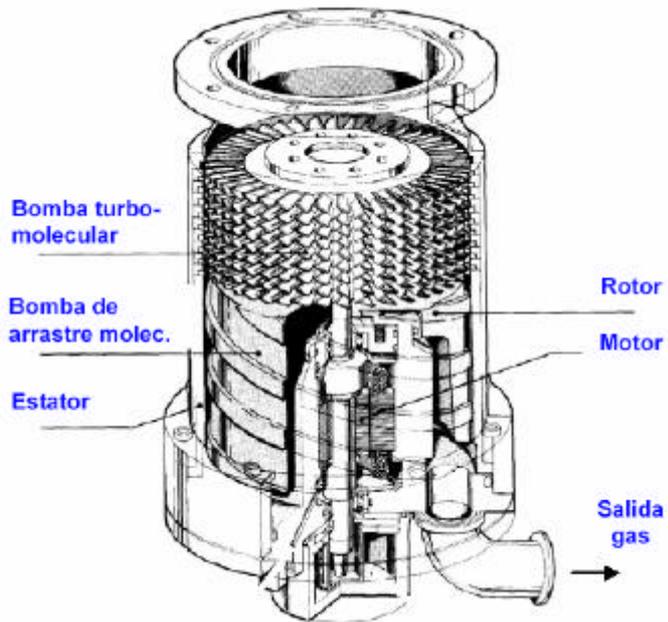


**Bomba turbomolecular:**

Su funcionamiento se basa en la transferencia de momento de los álabes impulsores de una turbina a las moléculas de gas (similar al efecto de un ventilador impulsando el aire). El giro de los álabes debe hacerse a gran velocidad (~30 000 rpm), y su orientación es tal que la mayor probabilidad de transmisión sea de la región de alto vacío a la de bajo vacío, originando así una fuerte diferencia de presión entre ambas regiones, determinada por la razón de compresión  $\beta$ , que puede alcanzar valores de hasta  $10^9$ .

Al igual que las bombas difusoras, su velocidad de bombeo es alta, y también necesita de una bomba rotatoria de apoyo.

La bomba turbomolecular es muy versátil, puede producir diversos niveles de vacío, desde medio hasta ultra-alto (~ $10^{-7}$  mBar).



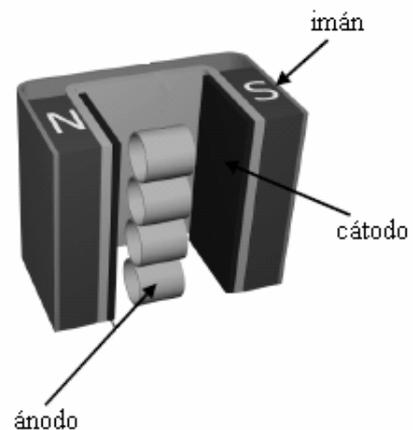
**Bomba iónica (de sputtering):**

Consiste básicamente de dos electrodos, ánodo y cátodo, y un imán. El ánodo suele ser cilíndrico. Los cátodos (planos) se ubican en ambos extremos del ánodo y están hechos de titanio. El campo magnético se encuentra orientado en la dirección del eje del ánodo.

Los electrones son emitidos del cátodo debido al campo eléctrico y, a causa de la presencia del campo magnético, giran en trayectorias helicoidales. Esto aumenta la probabilidad de que choquen con moléculas del gas. Como resultado del choque, se crea un ion positivo que se desplaza hacia el cátodo. Estos iones a su vez, al impactar con el cátodo, generan un proceso de "sputtering" (pulverización), formándose una película de titanio químicamente activo sobre el ánodo. Esta película "atrapa" las partículas de gas. Estos dos efectos son los responsables del proceso de bombeo.

Esta bomba es menos efectiva para los gases nobles, que no reaccionan químicamente con la capa de titanio formada por el sputtering.

Se pueden alcanzar presiones menores a  $10^{-11}$  mBar. A diferencia de otras bombas como la turbomolecular y la de difusión, la bomba iónica no tiene partes móviles y no usa aceite, por lo que es más limpia y necesita menos mantenimiento.



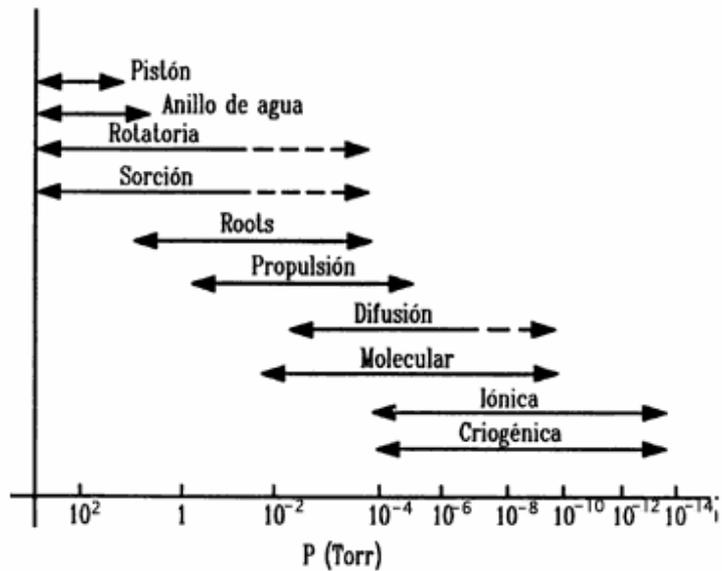
**Bomba criogénica (de baja temperatura):**

Su funcionamiento se basa en la adsorción de moléculas de gas mediante su condensación en superficies enfriadas a muy bajas temperaturas (generalmente se utiliza He líquido, 4.2K). Esta superficie puede estar situada dentro de la cámara de vacío, o puede ser una unidad acoplada a través de una ventana de alta conductancia. Esta bomba se utiliza también para bloquear el paso de ciertos contaminantes, como puede serlo el reflujo de aceite en una bomba de difusión.

Algunas bombas criogénicas cuentan con diferentes niveles a temperaturas progresivamente menores. Así, los gases con un elevado punto de ebullición se condensan en los primeros niveles, reservando las superficies a menor temperatura para los gases de menor peso molecular (más difíciles de condensar). Para capturar gases como helio e hidrógeno se suele recubrir la superficie fría con sustancias altamente adsorbentes (carbón activo, zeolita). De todos modos, es claro que los sistemas de alto vacío las moléculas de helio e hidrógeno son las predominantes.

Se pueden alcanzar presiones menores a los  $10^{-10}$  mBar.

**Clasificación de las bombas según su rango de presión:**

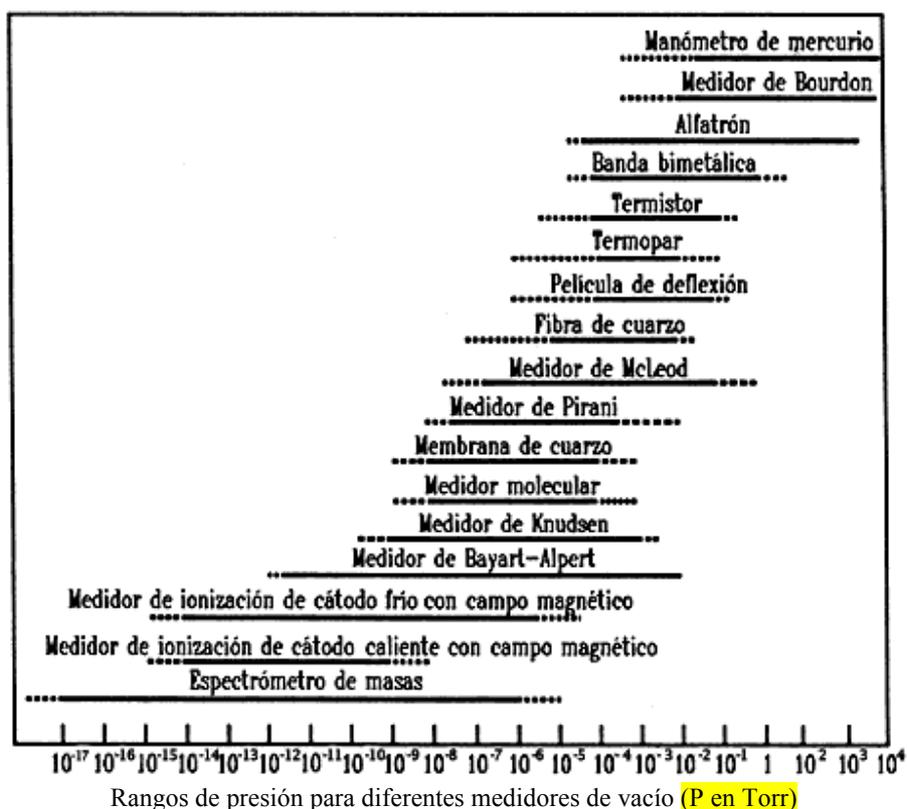


Rangos de presión para diferentes bombas de vacío

## Medición de vacío

De acuerdo con el rango de presión, se pueden utilizar diversos instrumentos de medición. Se clasifican principalmente en tres categorías:

- ? Deformación elástica de una membrana o diafragma: manómetros de membrana y de capacitancia (vacíos bajos).
- ? Conductividad térmica de los gases: manómetros térmicos (vacíos medios).
- ? Grado de ionización del gas: manómetros de ionización (vacíos alto y ultra-alto)



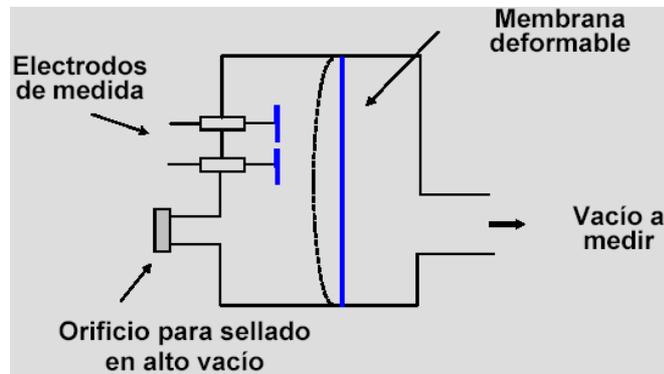
### **Manómetro de Bourdon:**

Emplea un tubo metálico curvado de sección transversal aplanada. Un extremo del tubo está cerrado, y la presión que se va a medir se aplica por el otro extremo. A medida que la presión aumenta, el tubo tiende a adquirir una sección circular y enderezarse. El movimiento del extremo libre (cerrado) mide la presión interior y provoca el movimiento de la aguja.

El elemento sensible del manómetro puede adoptar numerosas formas. Las más corrientes son las de tubo en C, espiral y helicoidal, y se presentan en una serie de aleaciones de cobre y en aceros inoxidables al cromo níquel. También se utilizan tubos de aleación hierro-níquel, debido a que tienen un coeficiente de dilatación muy pequeño, que hace que la lectura de la presión no esté influida por la temperatura del instrumento.

### Manómetro de capacitancia:

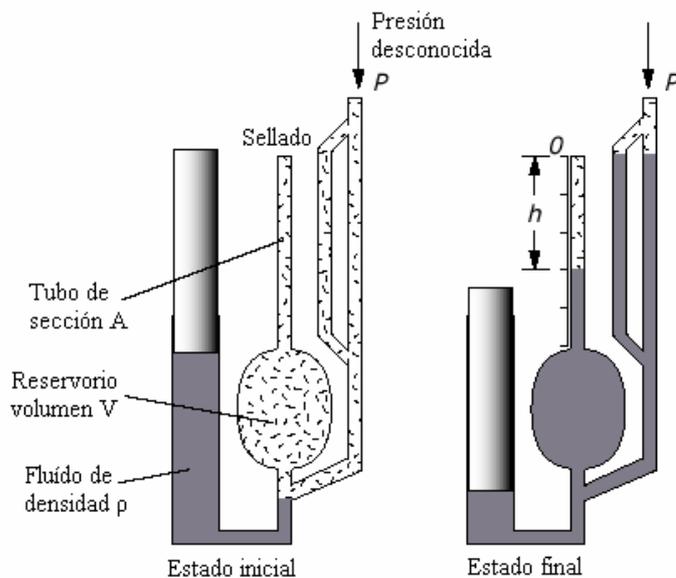
Está basado en la variación de la capacidad entre los electrodos de un condensador. Una membrana deformable separa una presión conocida de una desconocida. Esta membrana es a su vez uno de los electrodos de un capacitor. Al deformarse debido a la diferencia de presión, el valor de la capacitancia se modifica. Una vez calibrado, esa variación permite obtener con buena precisión las presiones de un amplio rango de vacío (vacío bajo y medio). Además este mecanismo es independiente del tipo de gas.



### Manómetro de columna de líquido:

La versión más sencilla consiste en un tubo con líquido en forma de U, con un extremo conectado a la presión desconocida y el otro a una presión de referencia. La diferencia  $h$  en la altura de la columna de líquido da la diferencia de presiones según la ecuación  $P - P_0 = \rho hg$  (donde  $g$  es la aceleración de la gravedad y  $\rho$  es la densidad del líquido).

El manómetro de *McLeod* (ver figura) permite medir presiones mucho menores. Funciona tomando una muestra de un cierto volumen del gas presente en la cámara de vacío, y luego comprimiéndolo al elevar el nivel del fluido (generalmente mercurio) por medio de un émbolo. La presión de este volumen menor es medida entonces por un manómetro de mercurio y, conociendo el coeficiente de compresión del gas (la presión es inversamente proporcional al volumen a bajas presiones), se puede determinar la presión original.



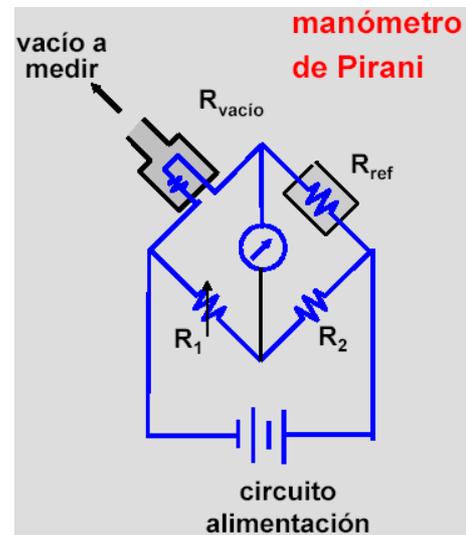
Se pueden medir presiones de hasta  $10^{-7}$  mBar. No puede utilizarse para gases que se condensan fácilmente.

Este método tiene la ventaja de ser independiente de la naturaleza química del gas que se está midiendo (a diferencia de otros que dependen de la conductividad térmica o la ionización), por lo que el manómetro de McLeod es utilizado para la calibración de otros aparatos.

### Manómetro Pirani:

El medidor de Pirani consta de un filamento metálico suspendido en un tubo en el sistema de vacío y conectado a una fuente de voltaje o corriente constante. El alambre puede ser de tungsteno u otro material cuya resistencia varíe mucho con la temperatura. Al aumentar el vacío, se reduce la pérdida de calor por conducción a través del gas y aumenta la temperatura del alambre, y por lo tanto su resistencia. Esta puede ser medida con un aparato adecuado (una alternativa es medir directamente su temperatura). En el rango de vacíos medios y altos la conductividad térmica de los gases varía linealmente con la presión, hasta alcanzar un valor máximo de saturación a  $\sim 10^3$  mBar.

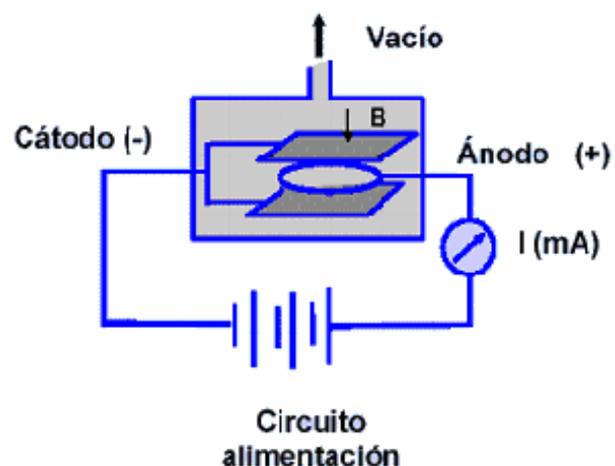
El rango de operación de este manómetro es entre  $10^{-3}$  y  $10^3$  mBar.



### Manómetro de ionización de cátodo frío (Penning):

Basado en la ionización del gas provocada al aplicar un potencial de varios kV entre un ánodo en forma de anillo y un cátodo formado por dos placas paralelas a ambos lados del anillo (ver figura). Al mismo tiempo se aplica también un campo magnético. La presencia de este campo hace que los electrones describan trayectorias circulares en su recorrido hacia el cátodo, aumentando con ello el número de choques con los átomos del gas y los sucesos de ionización (esto permite que se produzcan iones aún a presiones muy bajas).

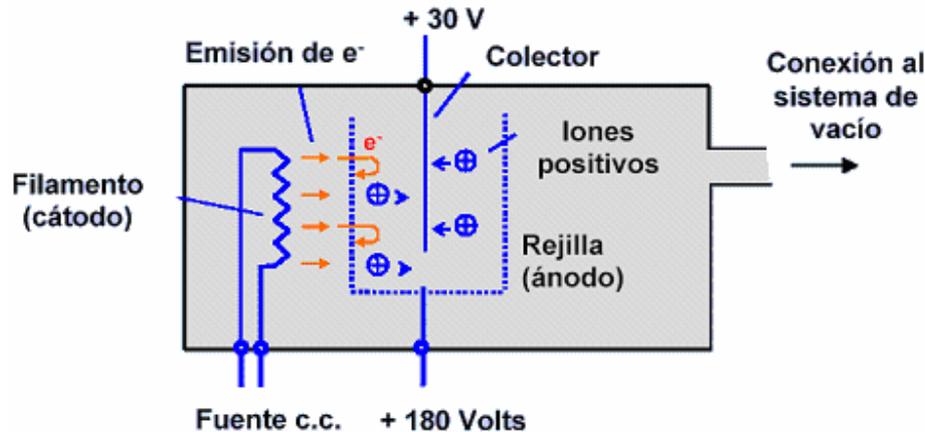
La corriente iónica depende de la cantidad de choques que se producen entre los electrones y el gas, lo cual está determinado por la presión en la cámara de vacío. Midiendo entonces la corriente se puede obtener la presión. Este manómetro funciona en el rango entre  $10^{-2}$  y  $10^{-9}$  mBar.



### Manómetro de ionización de cátodo caliente:

Basado también en la ionización del gas, esta vez provocada por la descarga entre un filamento incandescente (cátodo) y otro electrodo en forma de rejilla (ánodo), polarizado

a unos 180 V. La corriente de ionización se recoge y se mide en un tercer electrodo (colector) polarizado a un potencial inferior al de la rejilla (30 V).



La distribución del potencial se hace de forma que los electrones emitidos por el filamento pasen a través de la rejilla y vuelvan hacia atrás repelidos por el bajo potencial del colector. La oscilación de los electrones alrededor de la rejilla aumenta la eficiencia de ionización. Los iones positivos generados son recogidos en el colector. En un gas de bajas presiones (menores de  $10^{-4}$  torr), el número de iones positivos producidos por el paso de una corriente de electrones es linealmente proporcional a la densidad de las moléculas del gas, por lo que una medición en la corriente de iones es una medición de la presión a una temperatura dada.

## Aplicaciones

Las aplicaciones de las técnicas de vacío son muy numerosas. Son ampliamente utilizadas en diversos sectores industriales (química, metalúrgica, electrónica, óptica, etc).

Algunas propiedades de los sistemas a bajas presiones que son de gran utilidad en la actividad científica son las siguientes:

- ? Disminución de la transferencia de energía: en base a esto se pueden desarrollar sistemas de aislado térmico y aislado eléctrico.
- ? Tiempo largo de formación de monocapa: esto significa que se pueden mantener superficies “limpias” por largos períodos de tiempo, lo cual resulta útil en el estudio de la fricción, adhesión y corrosión de las superficies.
- ? Gran recorrido libre medio: en los sistemas con baja presión, la baja densidad de moléculas disminuye la cantidad de colisiones. Esto es utilizado en tubos de rayos catódicos, aceleradores de partículas, etc.