

Bombas de vacío

Se pueden clasificar de diferentes formas:

- por su método de hacer vacío,
- su rango de presiones,
- su capacidad de bombeo,
- su limpieza,
- su habilidad de bombear diferentes gases, etc

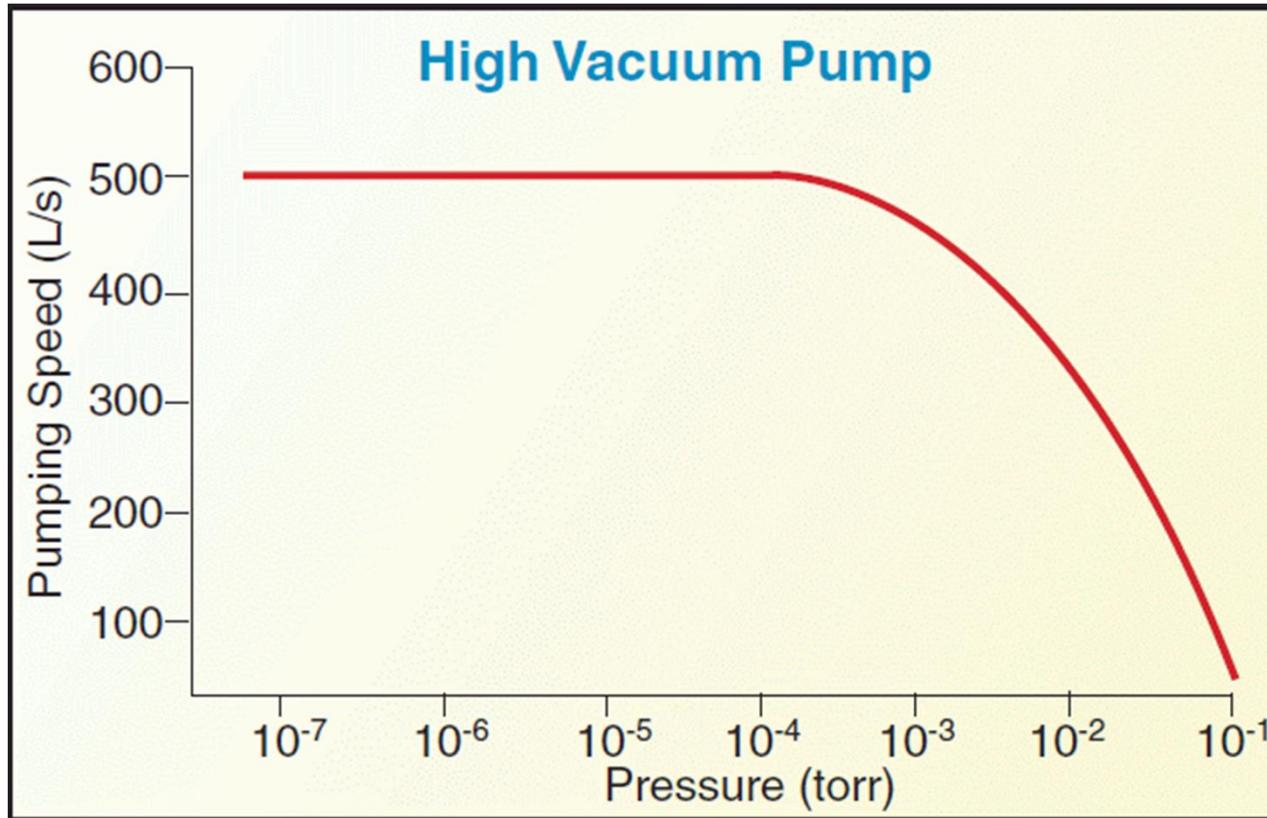
Fundamentals of Vacuum Technology. www.leybold.com

A. Roth. Vacuum Technology (1990)

Igor Bello. Vacuum and Ultravacuum: Physics and Technology(2018)

Velocidad de Bombeo $S=dV/dt$

Volumen de gas por unidad de tiempo que se remueve del sistema a la presión de entrada de la bomba



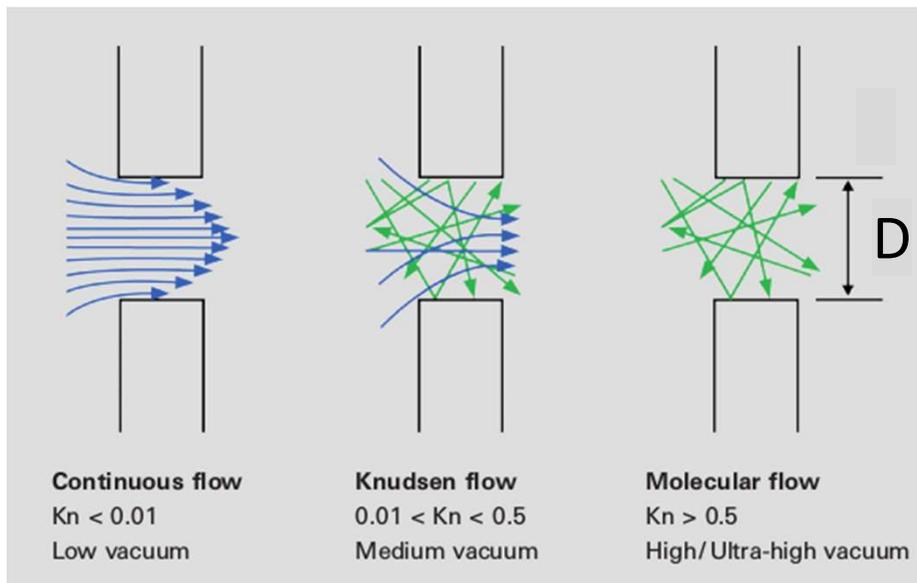
Unidades \rightarrow litro/seg = 3.6 m³/hora

Regímenes de flujo en Sistemas de Vacío

$\lambda/D \ll 1$: Régimen Viscoso. Interacción entre moléculas. (Vacío Bajo)

$\lambda/D \gg 1$: Régimen Molecular. Interacción con las paredes del recipiente
Vacío Alto y ultra alto.

$\lambda/D \sim 1$: Régimen intermedio. Vacío Medio.



-Camino Libre λ :
distancia promedio que
recorre una molécula entre
dos colisiones sucesivas con
otras moléculas

N₂ @298K

Presión [Torr]	n [cm ⁻³]	$\delta=n^{-1/3}$	λ	Φ [cm ⁻² s ⁻¹]	τ
760	2.56x10 ¹⁹	3.4 nm	67 nm	2.9x10 ²³	3 ns
1	3.27x10 ¹⁶	31 nm	50 μ m	3.8x10 ²⁰	2.3 μ s
10 ⁻²	3.27x10 ¹⁴	0.14 μ m	5 mm	3.8x10 ¹⁸	0.23 ms
10 ⁻⁴	3.27x10 ¹²	0.67 μ m	50 cm	3.8x10 ¹⁶	23 ms
10 ⁻⁶	3.27x10 ¹⁰	3.1 μ m	50 m	3.8x10 ¹⁴	2.3 s
10 ⁻⁸	3.27x10 ⁸	14.5 μ m	5 km	3.8x10 ¹²	3.8 m
10 ⁻¹⁰	3.27x10 ⁶	67 μ m	500 km	3.8x10 ¹⁰	6.5 h
10 ⁻¹²	3.27x10 ⁴	0.31 mm	50000 km	3.8x10 ⁸	26.6 d

Numero de Knudsen: λ/D D= Distancia típica sistema de vacío

Método de producir vacío

Movimiento del gas desde la cámara de vacío hacia la atmósfera
(Compresión)

Retención de gases dentro del sistema
(Condensación y adsorción)

Desplazamiento de Gas (desplazamiento Positivos)

- Rotatorias de paletas (mecánicas)
- Roots
- Scroll

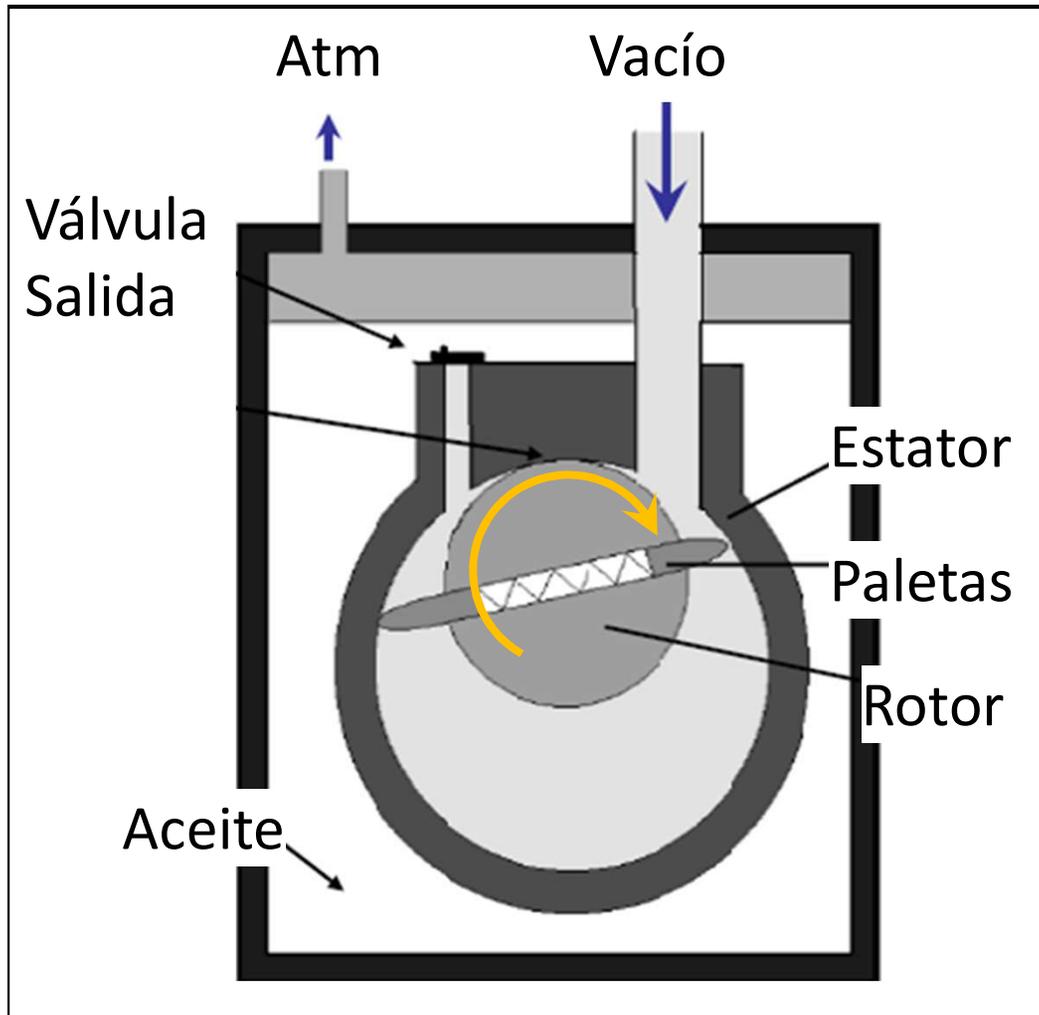
Cinéticas o por transferencia de impulso

- Difusoras de aceite
- Turbomoleculares

Condensación y adsorción

- Getters o de adsorción
- Criogénicas
- Sublimación de Ti
- Iónicas

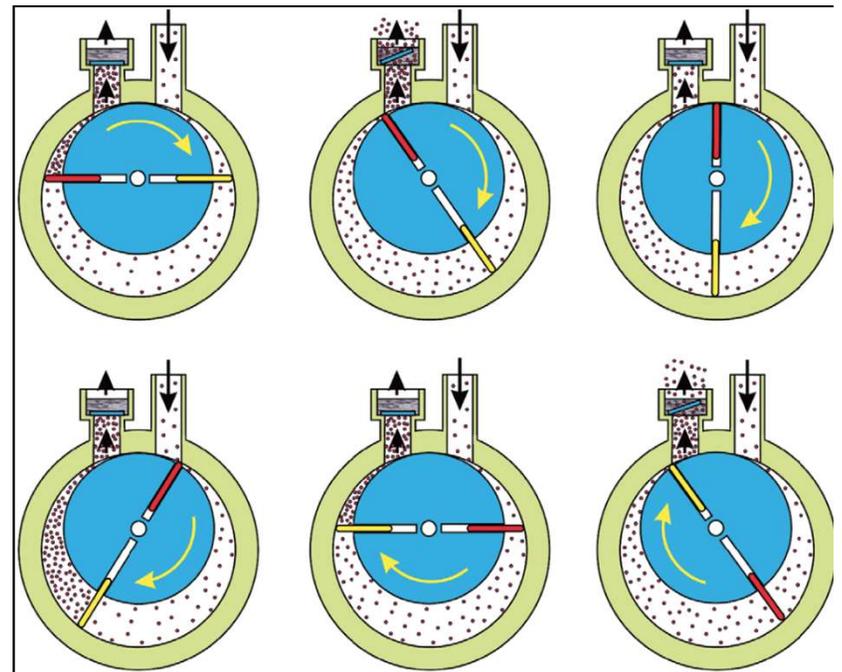
Bomba rotatoria de paletas (Bomba Mecánica)



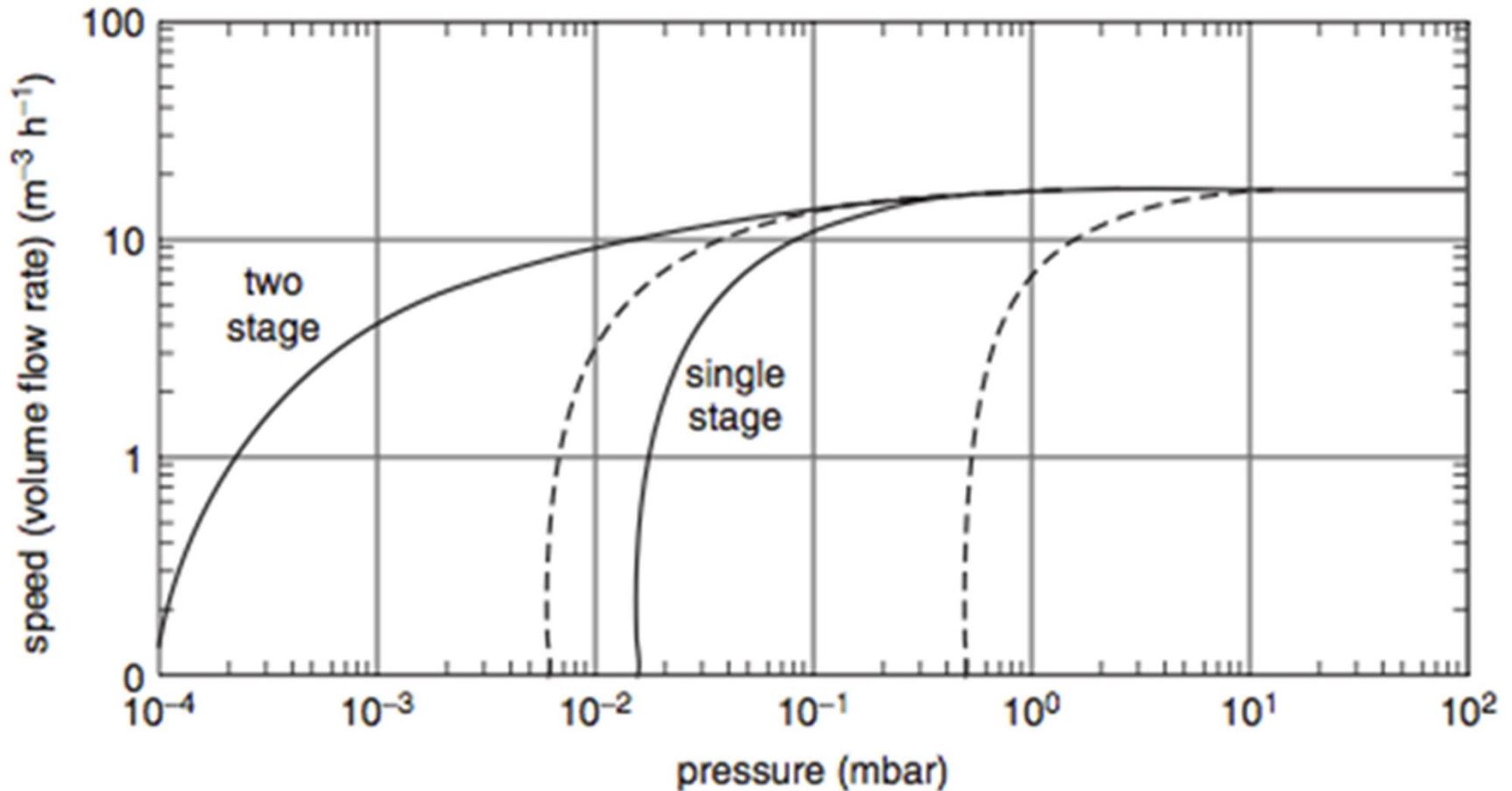
Presión de trabajo:

760 Torr – 10^{-3} Torr

Régimen Viscoso



Bombas rotatorias de paletas (Bomba Mecánica)



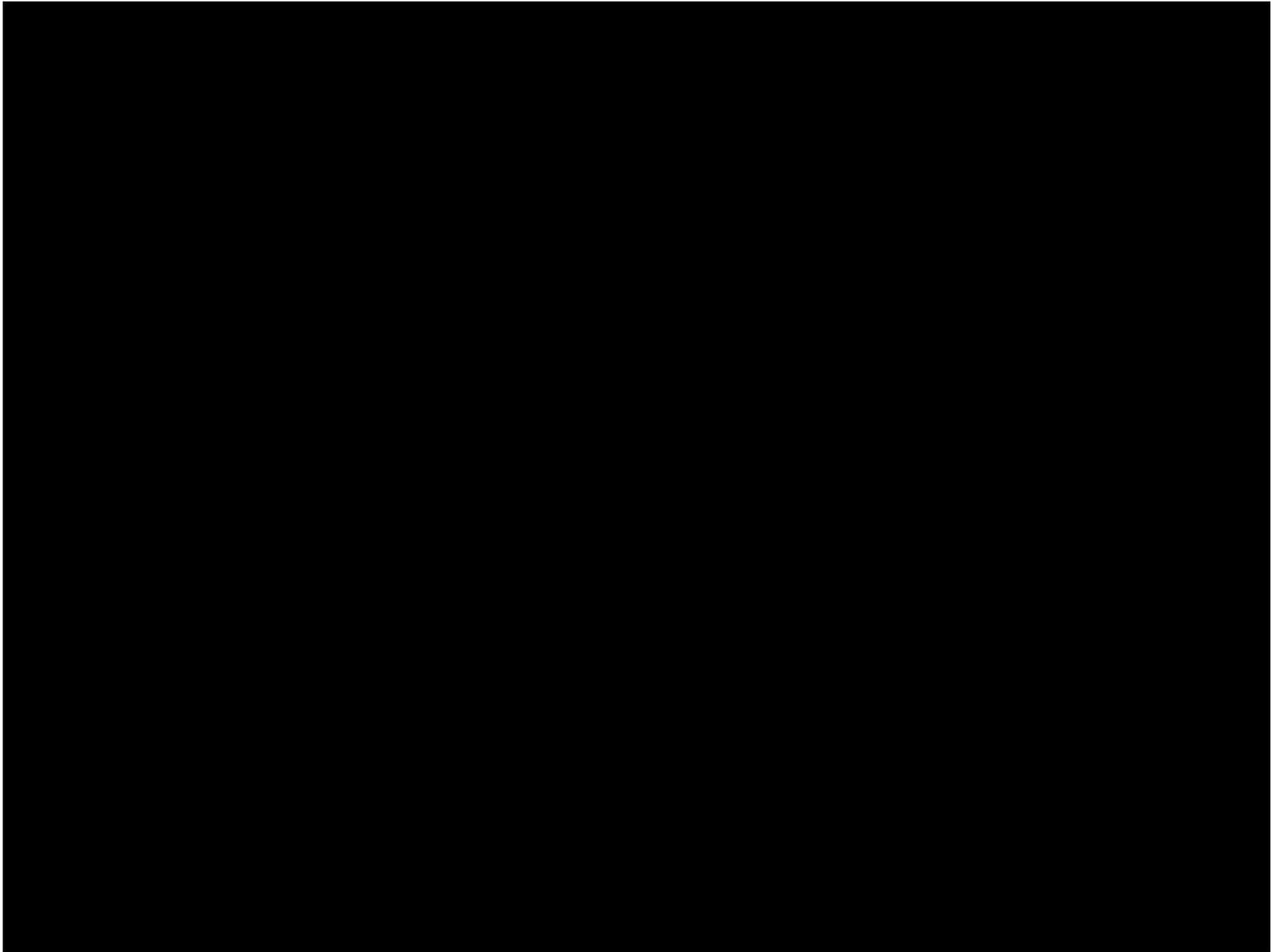
Rango de presión: 10^{-3} Torr – Atm. Régimen Viscoso

Presión a la salida P_o = atmosférica, no necesita bomba de vacío preliminar.

Bomba rotatoria de paletas (Bomba Mecánica)

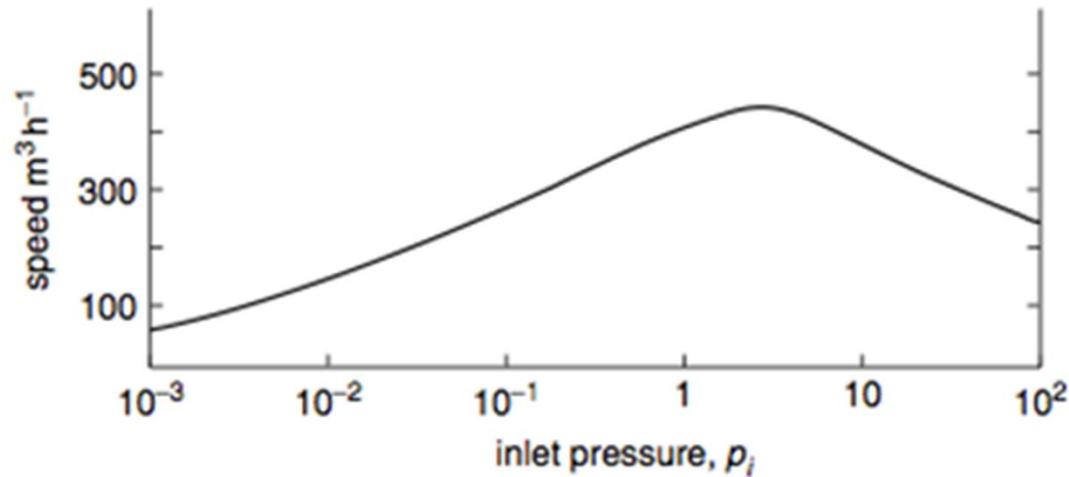
- Ventajas:
 - Simples, robustas, bajo costo, muy confiables y bajo mantenimiento.
 - Ideales par el uso en laboratorios de investigación.
 - Pueden bombear contra presión atmosférica a la salida.
- Desventajas:
 - Generan vapor de aceite en la entrada de la bomba. Se reduce apreciablemente con filtros.
 - Emiten pequeñas cantidades de vapor de aceite por la boca de salida cuando opera a presiones elevadas. Se reduce apreciablemente usando filtros o conectando la salida al exterior.
 - El aceite está en contacto con el gas → **Contaminación, reacciones químicas.**
 - Requieren aceites especiales (caros) para operar con algunos gases corrosivos.

Bombas Roots

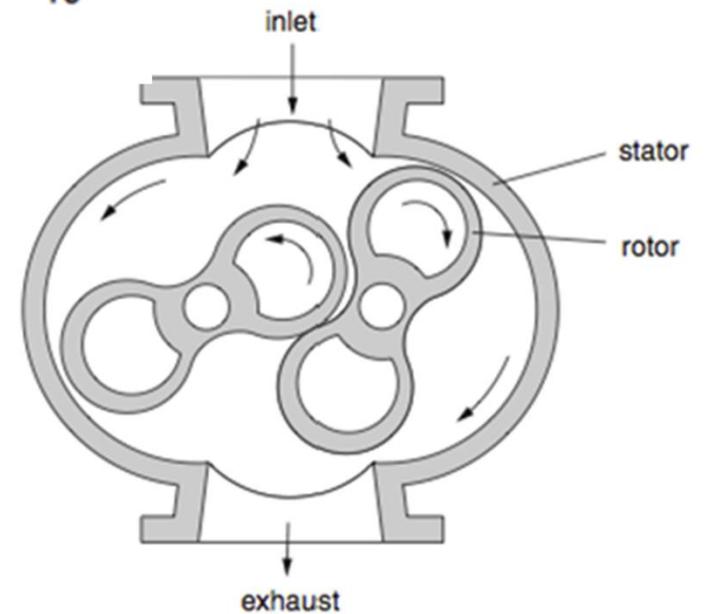


Bombas Roots

Rango 10^2 Torr - 10^{-4} Torr



- Secas, sin aceite.
- Muy alta velocidad de bombeo.
- Costo de funcionamiento bajo.
- Bomba de vacío preliminar



Método de producir vacío

Movimiento del gas desde la cámara de vacío hacia la atmósfera
(Compresión)

Retención de gases dentro del sistema
(Condensación y adsorción)

Desplazamiento de Gas (desplazamiento Positivos)

- Rotatorias de paletas (mecánicas)
- Roots
- Scroll

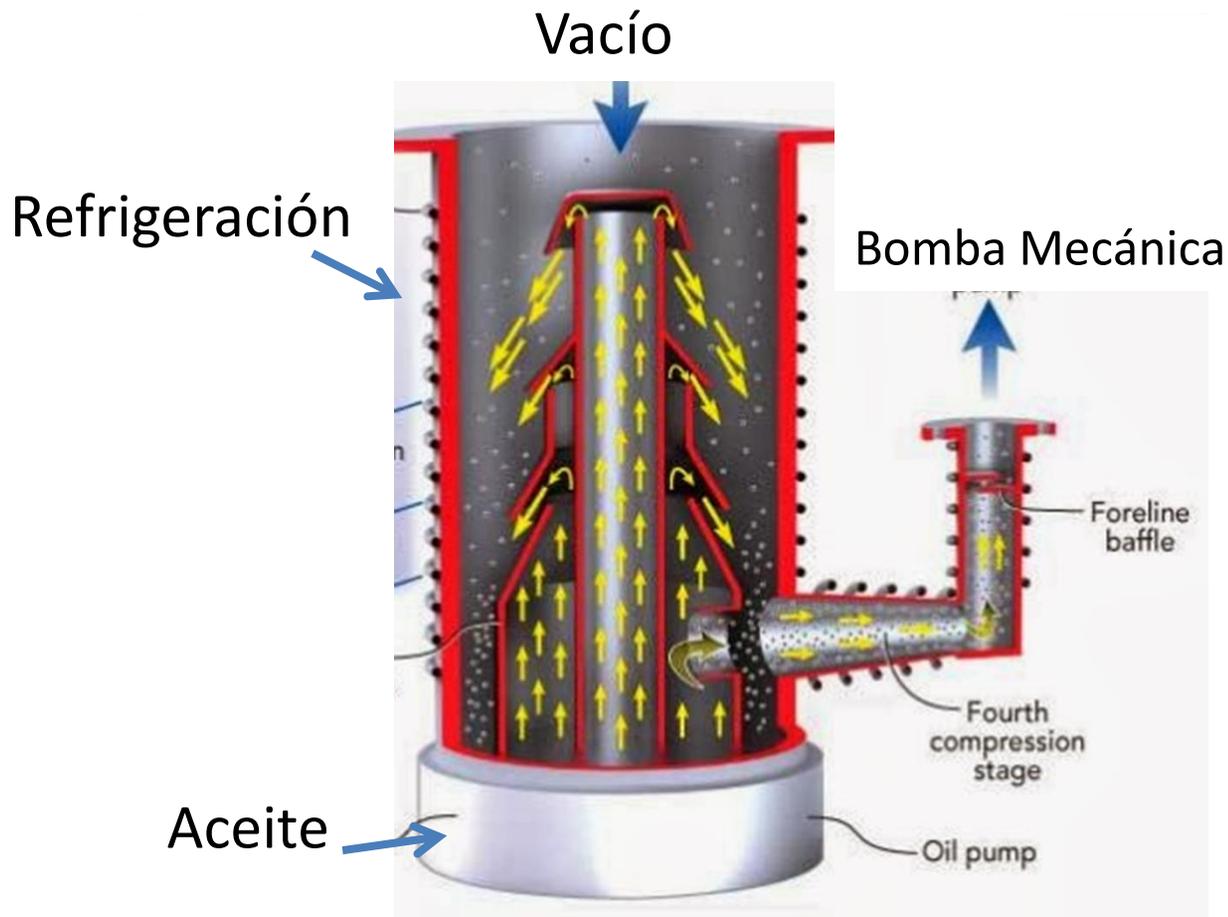
Cinéticas o por transferencia de impulso

- Difusoras de aceite
- Turbomoleculares

Condensación y adsorción

- Getters o de adsorción
- Sublimación de Ti
- Iónicas

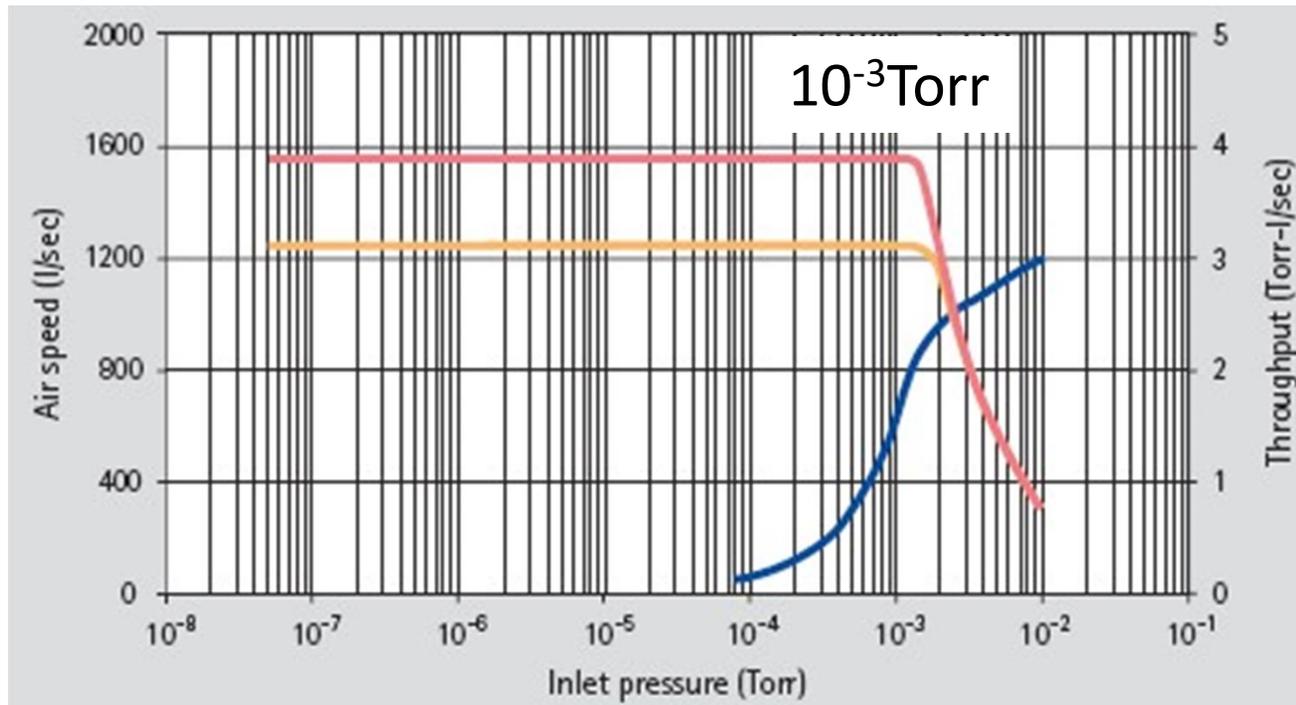
Bombas difusoras



Presión de trabajo: 10^{-4} Torr- 10^{-10} Torr
Régimen Molecular

Bombas difusoras

Velocidad de Bombeo



NECESITA bomba de vacío preliminar y en funcionamiento

NECESITA refrigeración, generalmente por agua.
Se usan con trampas de nitrógeno (o wafer con agua) para mejorar la presión final

Trampas de LN₂



Bomba difusora

Bombas difusoras

NECESITA bomba de vacío preliminar y en funcionamiento
NECESITA refrigeración

Ventajas:

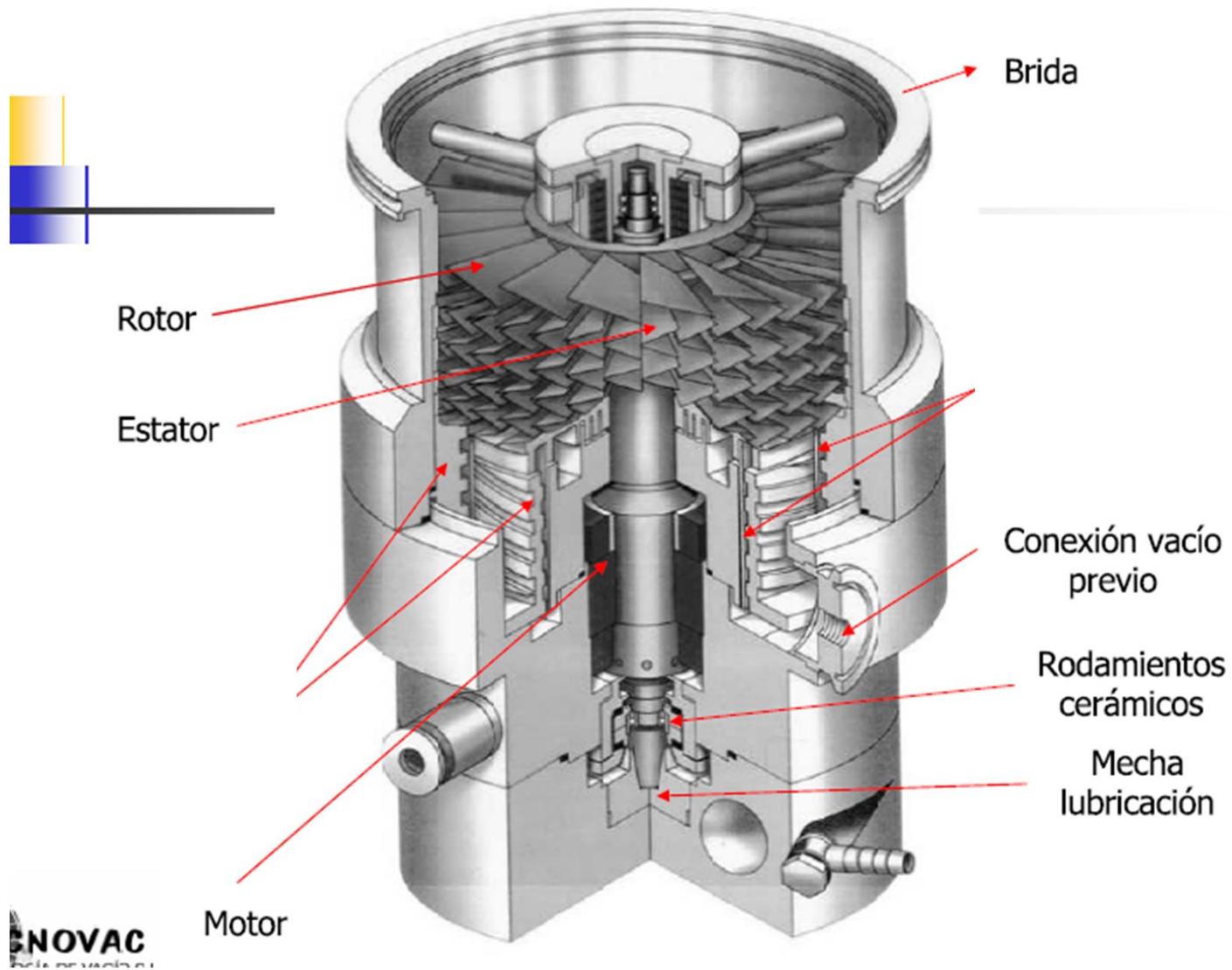
- Sistema durable y robusto.
- No tiene partes móviles
- Alta velocidad de bombeo.
- Costo de funcionamiento bajo.
- Silenciosas

Desventajas:

- Posible contaminación en la cámara por el aceite. Se soluciona con trampas de nitrógeno líquido.
- Requiere atención y/o sistemas de seguridad para asegurar refrigeración y pre-vacío.



Bombas TurboMolecular



Bombas TurboMolecular



Bombas TurboMolecular

Vel. Rot.: 24000 - 82000 rpm

Rango de presión: 10^{-10} Torr < P_b < 10^{-3} Torr

NECESITA bomba de vacío preliminar.

NECESITA refrigeración por agua, o por aire forzado.

- Ventajas:

- Vacío limpio, sin aceite

- No requiere trampas frías.

- Pueden arrancar desde presión atmosférica (volúmenes pequeños)

- Desventajas:

- Vibraciones

- Muy sensible a golpes durante su funcionamiento.

- Se vuelve ruidosas con el desgaste natural de los rodamientos.

- Mantenimiento más costoso que las difusoras.

- Requiere sistemas de seguridad para asegurar refrigeración y pre-vacío.

Método de producir vacío

Movimiento del gas desde la cámara de vacío hacia la atmósfera
(Compresión)

Retención de gases dentro del sistema
(Condensación y adsorción)

Desplazamiento de Gas (desplazamiento Positivos)

- Rotatorias de paletas (mecánicas)
- Roots
- Scroll

Cinéticas o por transferencia de impulso

- Difusoras de aceite
- Turbomoleculares

Condensación y adsorción

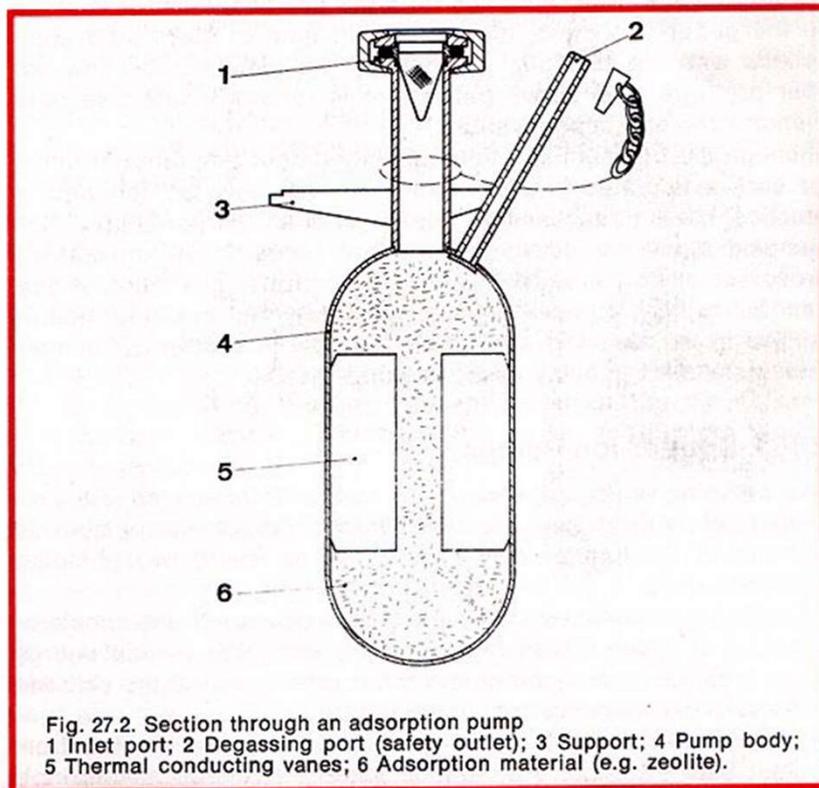
- Getters o de adsorción
- Sublimación de Ti
- Iónicas

Bomba de Adsorción

Rango de presión: 10^{-4} Torr -Atm

Para mejorar la presión final es recomendable hacer vacío preliminar a la cámara.

La capacidad de adsorción de la bomba depende de su temperatura, del tamaño de la molécula y de su presión de vapor.



Bomba de Adsorción

- Ventajas:

- Secas, sin aceite.

- Costo de funcionamiento bajo.

- Silenciosas

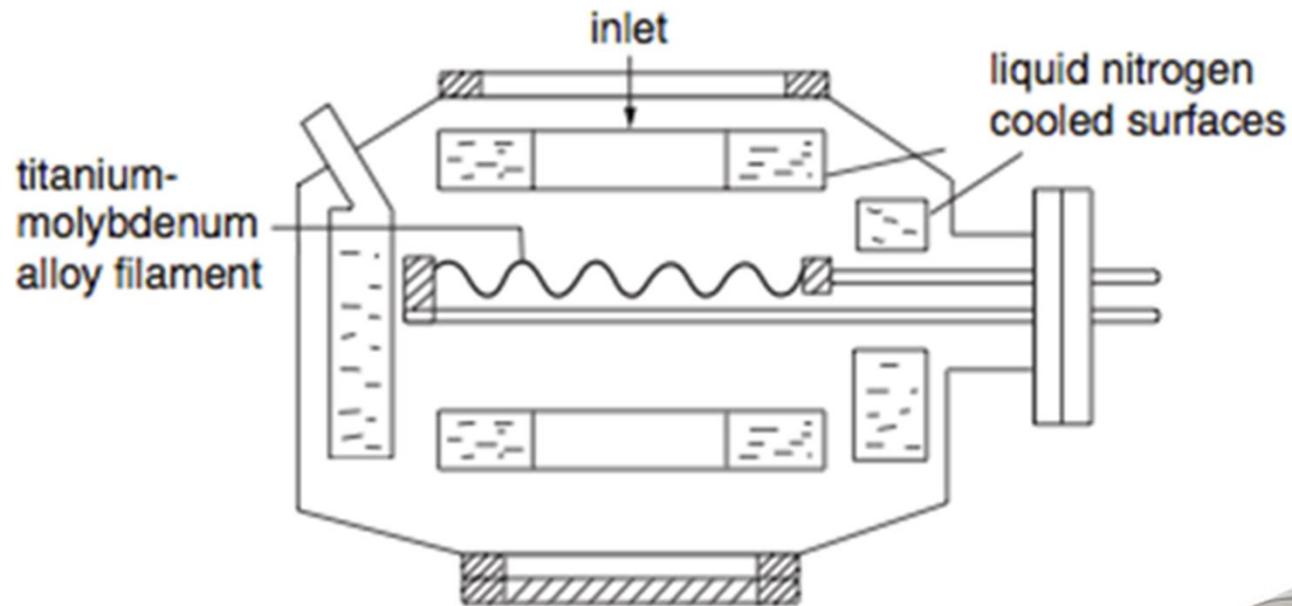
- Desventajas:

- Se saturan con cada ciclo de evacuación.

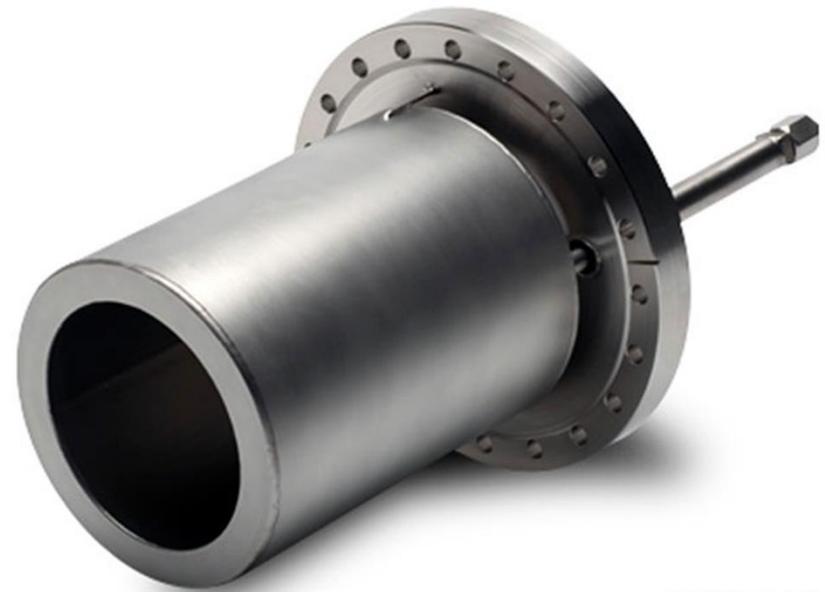
- Necesitan ser regeneradas constantemente.

- Necesitan líquidos criogénicos

Bomba de sublimación de Titanio



Filament Cartridge



Liquid Cryoshroud

Bomba de sublimación de Titanio

Rango de presión: 10^{-12} Torr - 10^{-7} Torr **Régimen Molecular**

Bomba auxiliar en sistemas de ultra alto vacío (Bombee H₂)

Su capacidad de adsorción se incrementa si se evapora en superficies refrigeradas con N-liq.

-Ventajas:

Sin ruidos ni vibraciones.

Bombee gases reactivos

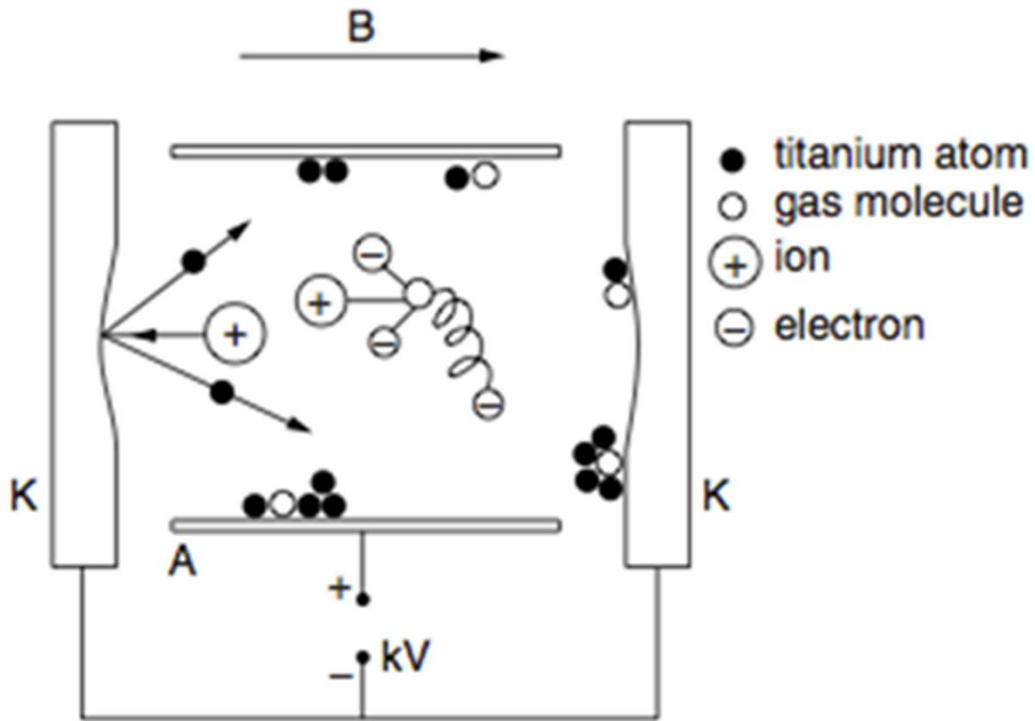
Muy buena presión final.

Ultra alto vacío.

-Desventajas

No bombee gases nobles.

Bombas iónicas (Sputter-ion pumps)



Descarga Penning
-Ioniza el gas → Catodo
Implantación - Reacción
-Sputtering de Ti

Cátodos de Ti
V=3-7 kV
B=0.1 Tesla



Bombas iónicas

Rango de presión: 10^{-11} Torr - 10^{-4} Torr. **Régimen Molecular**
Requiere hacer alto vacío en la cámara con otra bomba antes de prender la bomba iónica.

-Ventajas:

Sin ruidos ni vibraciones.

Bajo mantenimiento (años a $P < 10^{-7}$ Torr)

Muy buena presión final

Muy alta velocidad de bombeo en ultra alto vacío

Vacío muy limpio

-Desventajas:

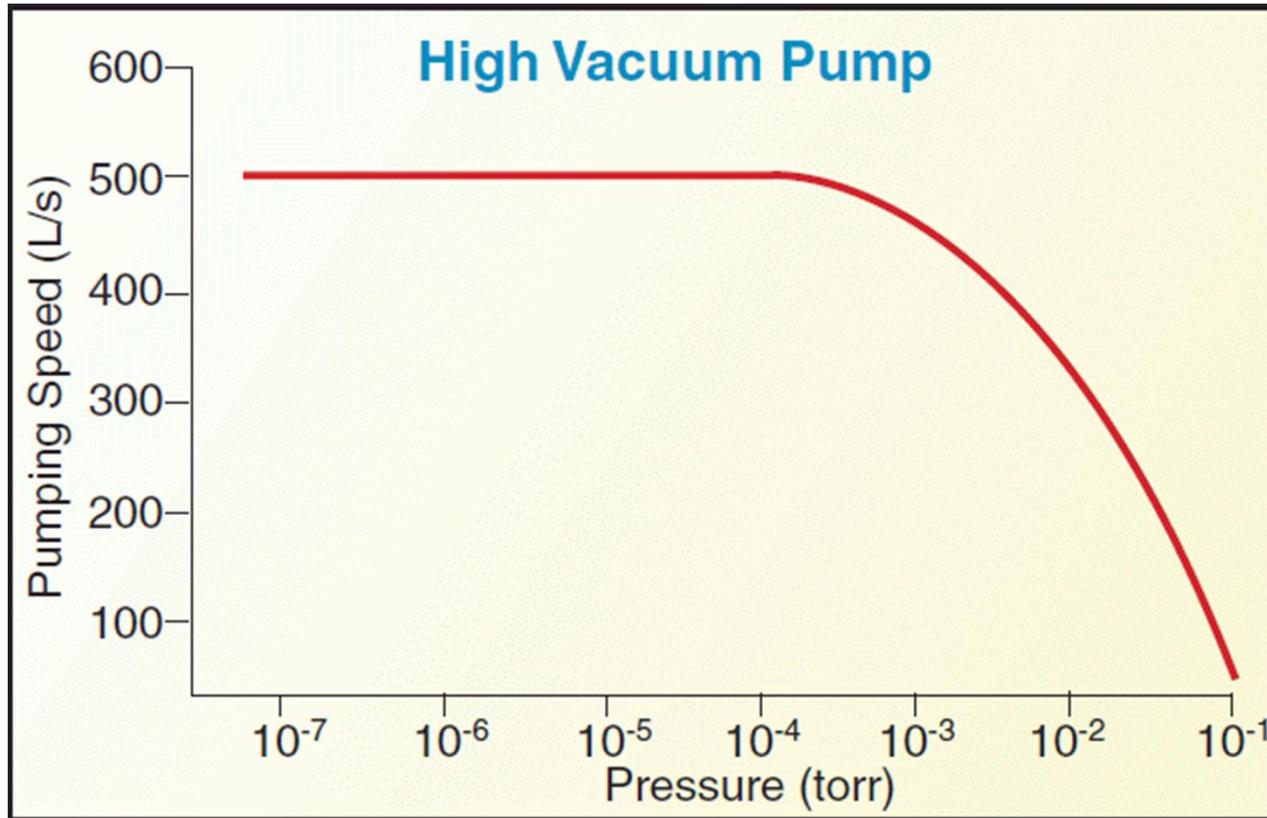
Requiere un pre-vacío del sistema para comenzar a funcionar

Muy pesada. (Imanes)

No bombea Gases Nobles

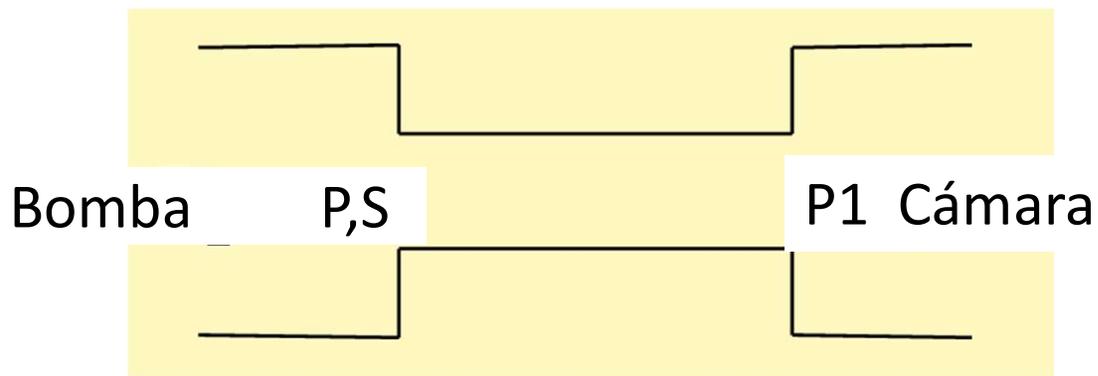
Velocidad de Bombeo $S=dV/dt$

Volumen de gas por unidad de tiempo que se remueve del sistema a la presión de entrada de la bomba



Unidades \rightarrow litro/seg = 3.6 m^3 /hora

Velocidad de Bombeo



Bomba-Conexión-Cámara
Misma Temperatura

-Caudal $Q \equiv P S = P dV/dt = k T dN/dt$. Gas ideal.

- $Q=cte$ (T es la misma en el sistema Bomba-Conexión-Cámara)

Podemos definir velocidad de **Bombeo efectiva** en 1 $\rightarrow S_1 = Q/P_1$

-De manera similar a la ley de Ohm $\rightarrow Q = C(P_1 - P)$.

C=conductancia de la conexión.

$$1/S_1 = 1/S + 1/C.$$



$$S_1 < S$$

Unidades Presión

-Pascal (SI)

$$\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$$

-bar/mbar

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} \quad 1 \text{ mbar} = 1 \text{ hPa}$$

-Torr o mmHg

$$760 \text{ Torr} = 1013.25 \text{ mbar}$$

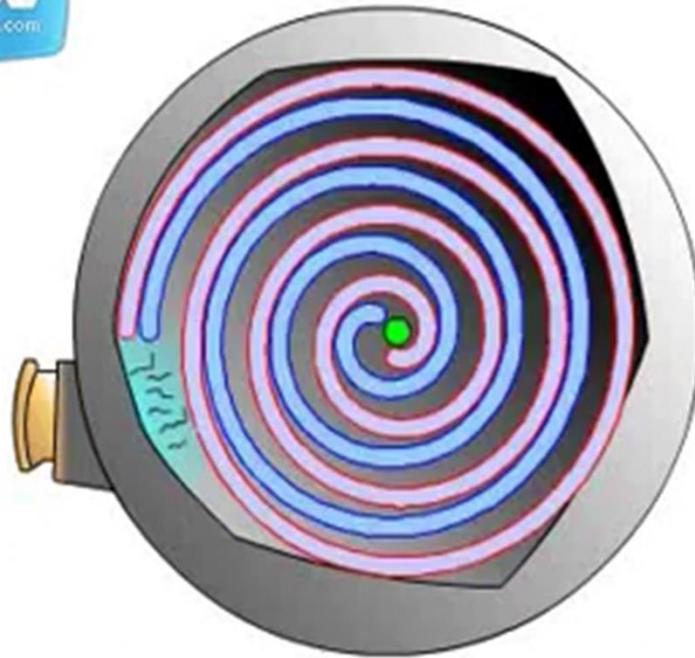
- Atmósfera

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ Torr} = 1013.25 \text{ mbar}$$

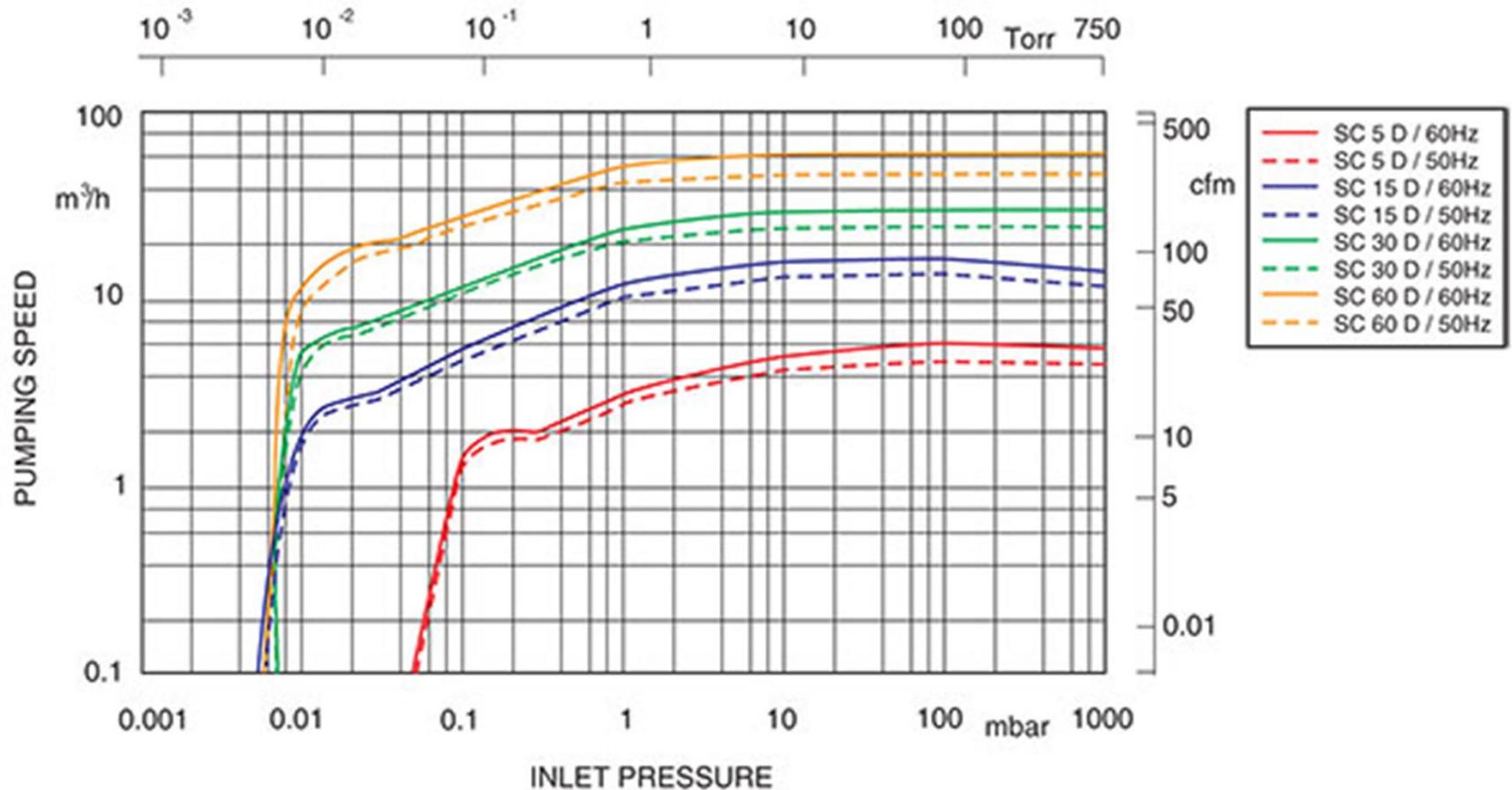
Rangos de Vacío	Presión [Torr]
Bajo	760 - 1
Medio	$1 - 10^{-3}$
Alto	$10^{-3} - 10^{-8}$
Ultra-Alto	$10^{-8} - 10^{-12}$

Rango de Vacío → Tipo de Bomba, Manómetros, Materiales,

Bombas scroll



Bombas scroll



Rango de presión: 1×10^{-2} Torr - Atm

Presión a la salida $P_o =$ atmosférica, no necesita bomba de vacío preliminar.

Bombas scroll

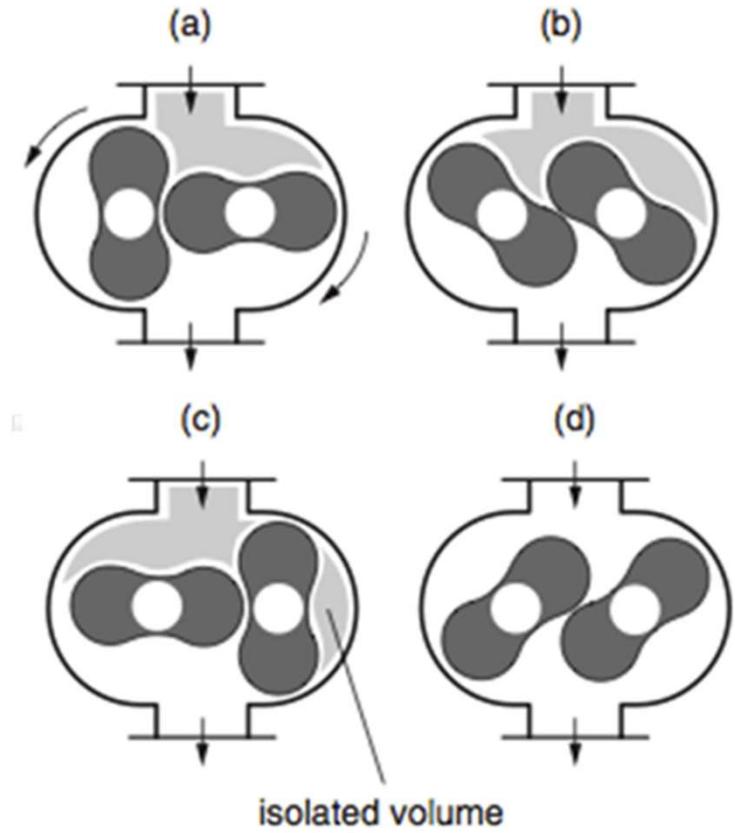
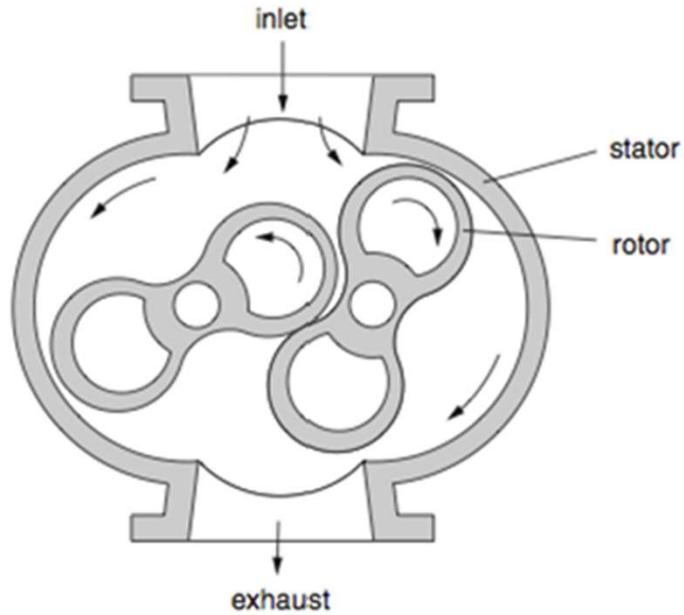


- Ventajas:
 - Secas, sin aceite.
- Desventajas
 - Las juntas se desgastan rápidamente por fricción. Hay que reemplazarlas con frecuencia (anualmente)



Bombas Roots

Rango 10^2 Torr - 10^{-4} Torr



Bomba de sublimación de Titanio

Rango de presión: 10^{-12} Torr - 10^{-7} Torr **Régimen Molecular**

Bomba auxiliar en sistemas de ultra alto vacío (Bombee H2)

Su capacidad de adsorción se incrementa si se evapora en superficies refrigeradas con N-liq.

Gas type	H ₂	D ₂	H ₂ O	CO	N ₂	O ₂	CO ₂
300 K	2.6	3.1	7.3	8.2	3.5	8.7	4.7
77 K	17.0	6.2	14.6	11.0	8.2	11.0	9.3

Maximal pumping speed in l/s cm⁻² of Ti films at different temperatures.

(Source: Kimo M. Welch, Capture Pumping Technology, Pergamon Press, 1991)

-Ventajas:

Sin ruidos ni vibraciones.

Bombee gases reactivos

Muy buena presión final.

Ultra alto vacío.

-Desventajas

No bombee gases nobles.