

## Conceptos básicos

Entendemos como “Vacío” a un gas en un recipiente a una presión menor que la atmosférica.

Tecnología asociada a Producir, Mantener y Controlar  
Sistemas de Vacío



Bombas de Vacío, Manómetros y Cierres.

Fundamentals of Vacuum Technology. [www.leybold.com](http://www.leybold.com)

A. Roth. Vacuum Technology (1990)

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

## Motivación

Situación Física	Objetivo
Presión (Disminuir)	Diferencia de presión
Densidad de moléculas $n$ (Disminuir)	-Remover gases reactivos de la atmosfera ( $O_2$ , $H_2O$ )  -Disminuir transferencia de Energía
Camino Libre Medio $\lambda$ (Aumentar)	Evitar Colisiones
Rate de Incidencia $\Phi$ (Disminuir)	Superficies Limpias

### Investigación en Física

- Física de partículas elementales
- Física Atómica y Molecular
- Crecimiento de películas delgadas
- Fusión Nuclear
- Técnicas de Análisis de materiales y de Superficies
- Física de bajas temperaturas.
- Simulación de ambientes espaciales, etc,etc

### Industria

Metalurgia, Química, Semiconductores  
Alimentos, Medicina, Electrónica, etc

## Unidades Presión

-Pascal (SI)

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

-bar/mbar

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} \quad 1 \text{ mbar} = 1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$$

-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	$10^{-8} - 10^{-12}$

Los valores de presión varían enormemente  $\rightarrow 10^{15}$

Rango de Vacío  $\rightarrow$  Tipo de Bomba, Manómetros, Materiales

# Teoría Cinética de los Gases: Modelo microscópico de un Gas ideal

- Distancia promedio entre moléculas  $\delta \gg$  diámetro  $d \sim 3 \text{ \AA}$
- No interactúan. Sólo Colisiones elásticas tipo esferas rígidas
- Mueven en línea recta y al azar.
- Energía Cinética ( $\varepsilon = mv^2/2$ )
- Buena Aproximación para He, Ne, Ar, Kr, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>. (760 Torr, 300K)

Ecuación de Estado  
 $PV = N kT$



Densidad

$$N/V = n = P/kT$$

$$\delta \sim (1/n)^{1/3} = (kT/P)^{1/3}$$

Energía Interna U

$$\langle E \rangle = N \langle \varepsilon \rangle = U = (3/2) N k T$$

$$k = 1.381 \cdot 10^{23} \text{ Joule/K}$$

N = número de moléculas

# Distribución de probabilidades de Maxwell Boltzmann

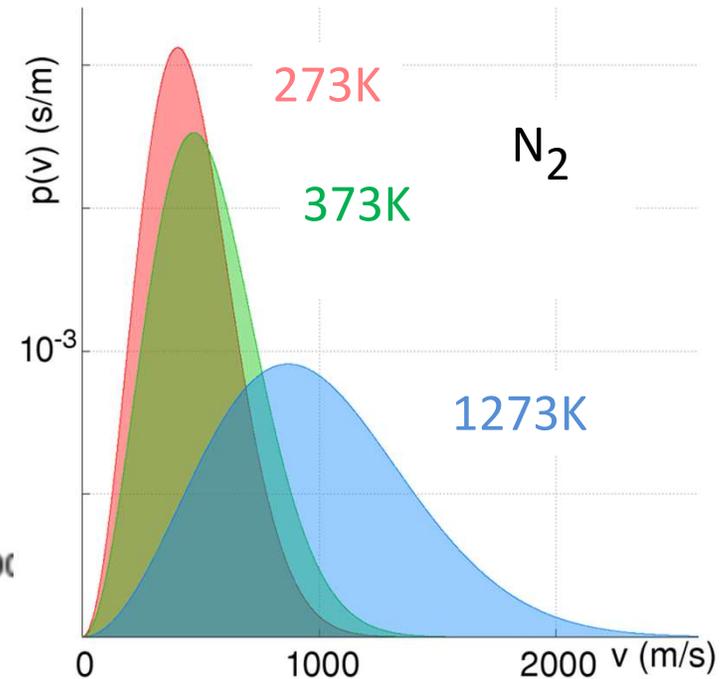
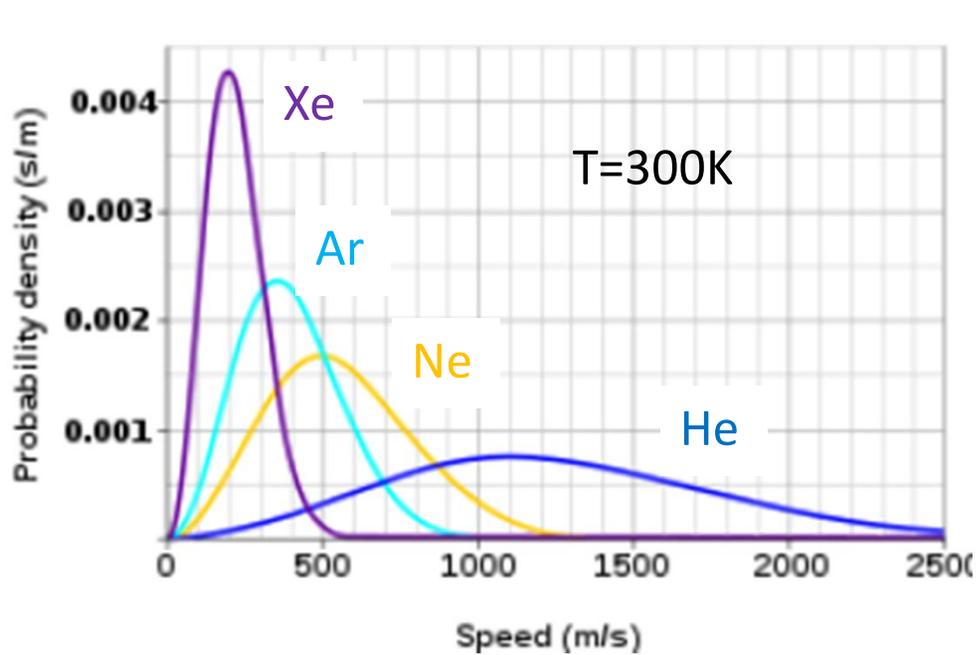
$$f(v) = \sqrt{\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^3} 4\pi v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}}$$

-fracción de moléculas con velocidades en el intervalo  $(v, v+dv)$  (densidad de probabilidad)

$$\langle v \rangle = \int_0^\infty v f(v) dv = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$$

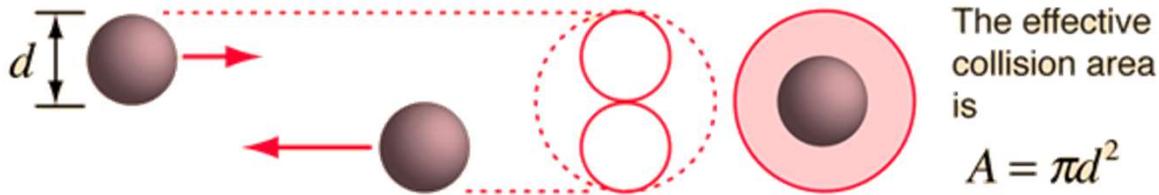
$$\langle v^2 \rangle = (3 k T)/m$$

$$\langle E \rangle = N m \langle v^2 \rangle / 2 = (3/2) N k T$$

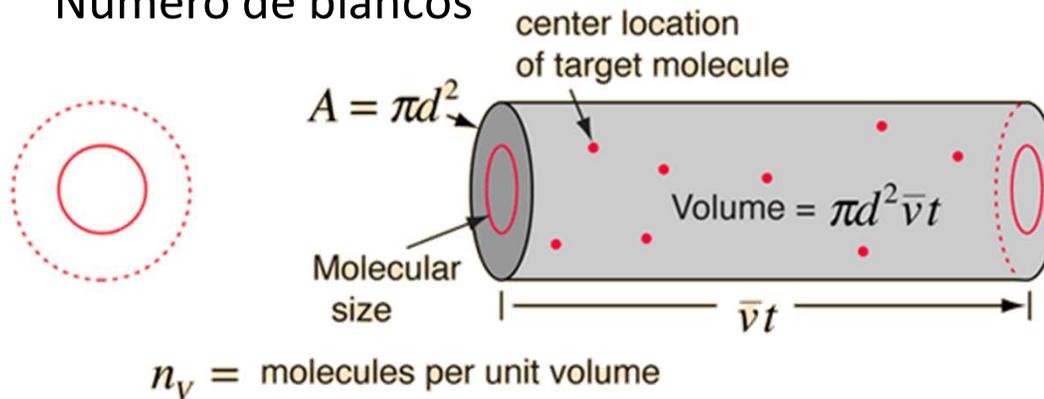


# Camino libre Medio $\lambda$

Choque de esferas rígidas



Numero de blancos



$$\lambda = k T / (\sqrt{2} \pi d^2 P) \quad \longrightarrow$$

$$\lambda[\text{cm}] = 5 \times 10^{-3} / (P [\text{Torr}])$$

$N_2$   $T=300$  K,  $P=760$  Torr  $d=3\text{\AA}$

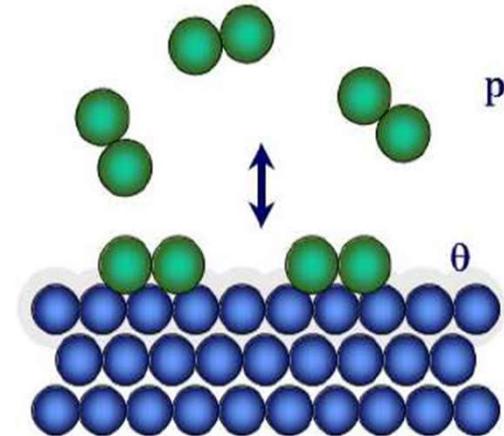
## Incident Rate. $\Phi$

$$\Phi \text{ [moléculas/ cm}^2 \text{ seg ]} = P / (2 m \pi k T)^{1/2}$$

Tiempo de formación de una monocapa  $\tau$ :

$$\tau = \text{Densidad de Superficie} / \Phi$$

(Si todas las moléculas que chocan con la superficie se adsorben. Límite inferior )



Densidad de superficie  $\sim 8.8 \times 10^{14}$  átomos /cm<sup>2</sup>

Nitrógeno T=300 K, P=760 Torr



$$\tau \sim 3 \cdot 10^{-9} \text{ seg}$$

N<sub>2</sub> @298K

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

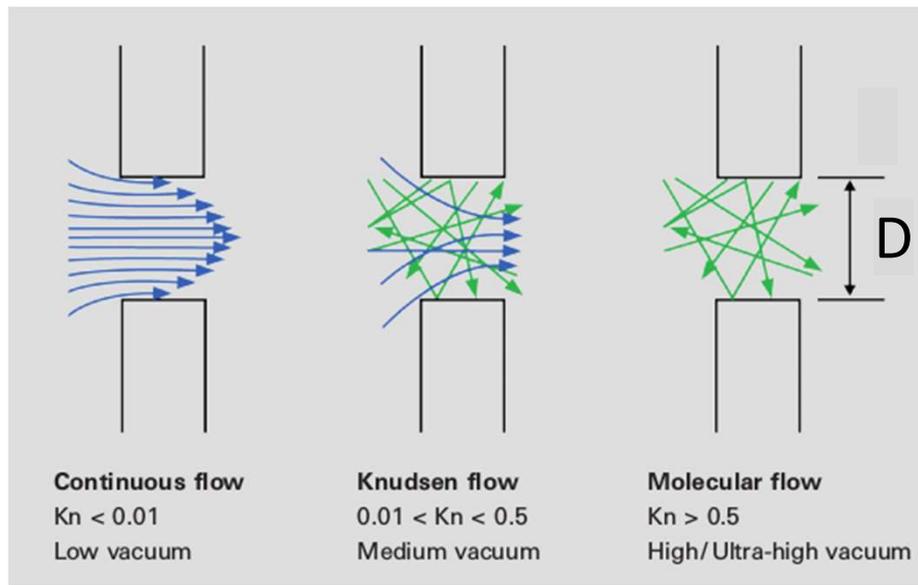
Numero de Knudsen:  $\lambda/D$      D= Distancia típica sistema de vacío

## 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.

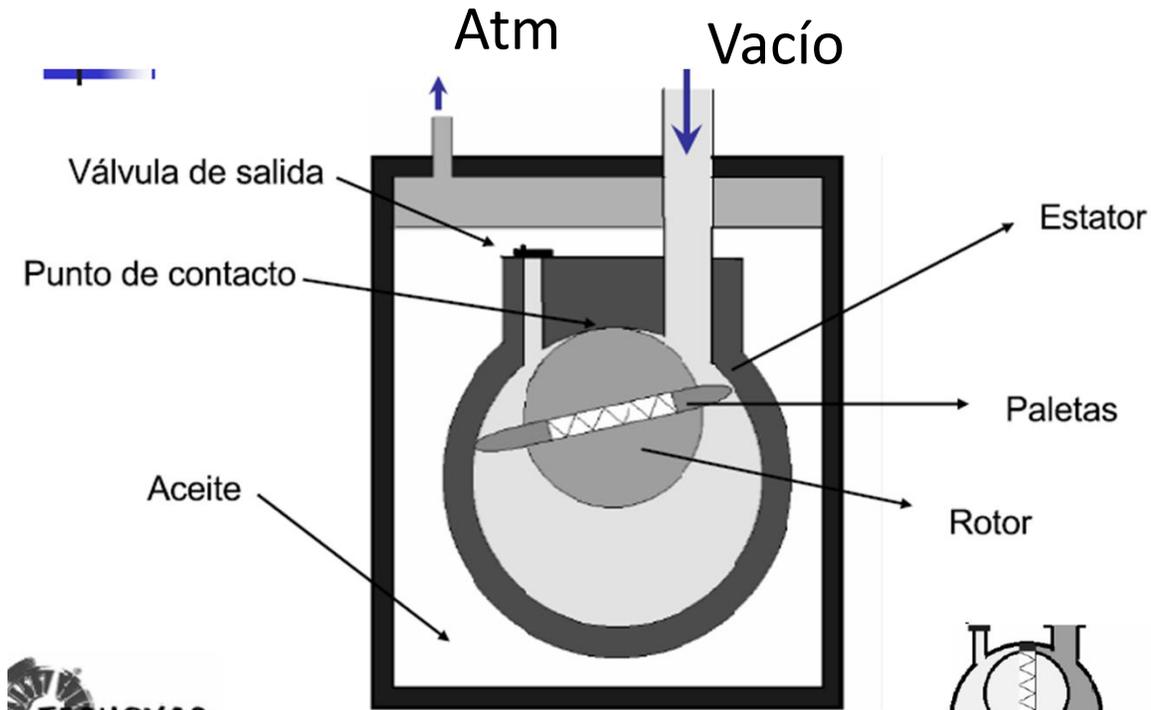


## Bombas de vacío

Se pueden clasificar de diferentes formas:

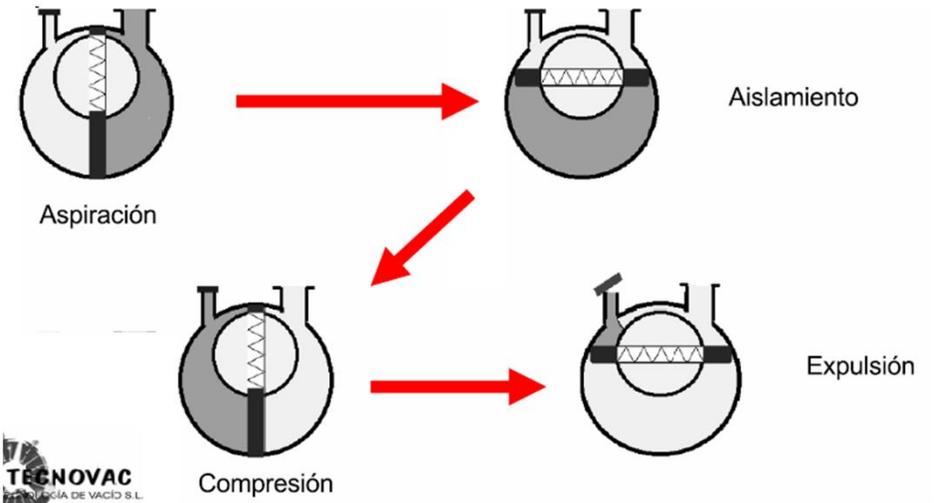
- por su método de hacer vacío,
- su rango de presiones,
- su capacidad de bombeo,
- su limpieza,
- su habilidad de bombear diferentes gases, etc

# Bombas rotatorias de paletas (Bomba Mecánica)

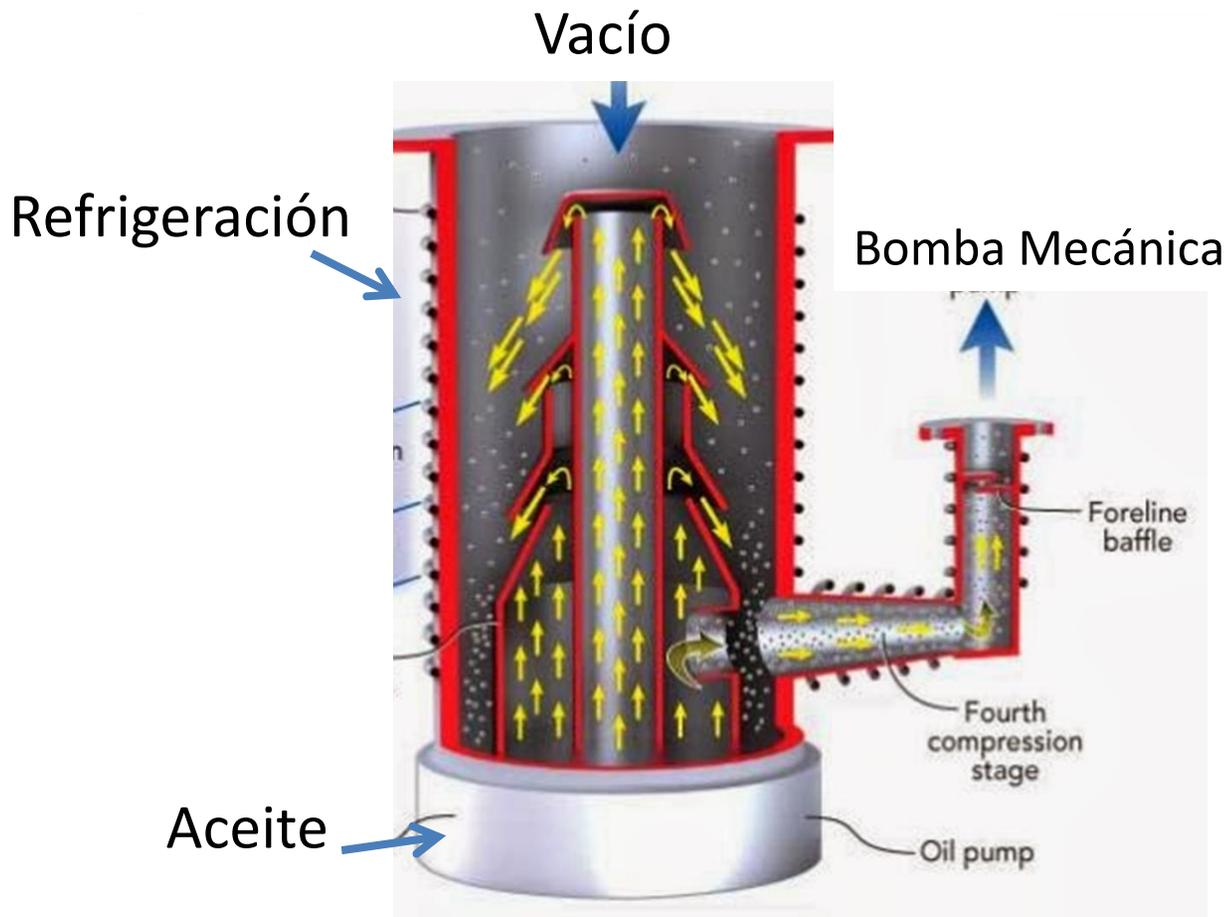


Presión de trabajo:  
760 Torr -  $10^{-3}$  Torr

**Régimen Viscoso**



## Bombas difusoras



Presión de trabajo:  $10^{-4}$  Torr- $10^{-10}$  Torr

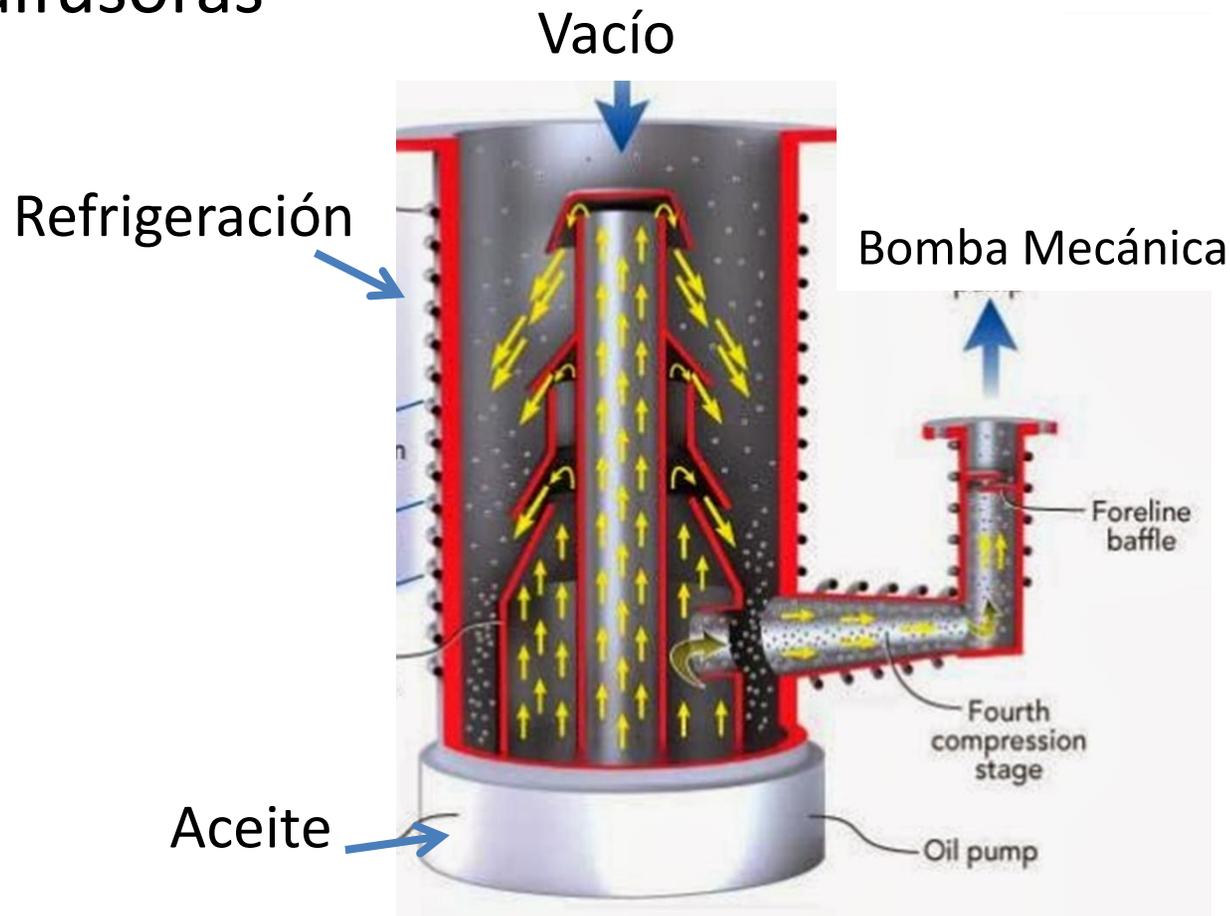
**Régimen Molecular**

## Trampa de N<sub>2</sub> Liquido



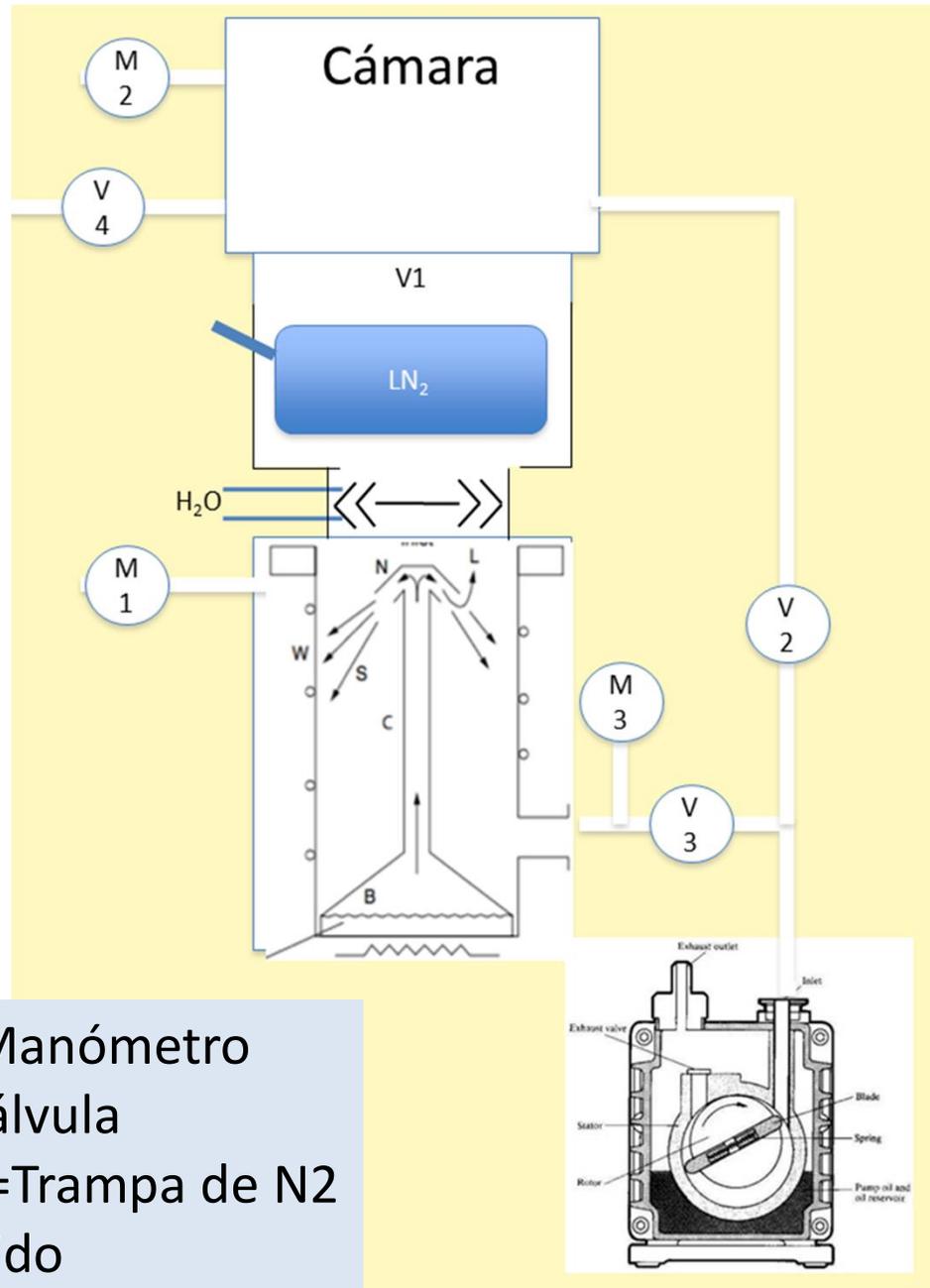
Bomba  
difusora

# Bombas difusoras



- NECESITA** bomba de vacío preliminar y en funcionamiento : **Bomba Mecánica**
- NECESITA** refrigeración
- Recipiente de Aceite QUEMA!!!!**

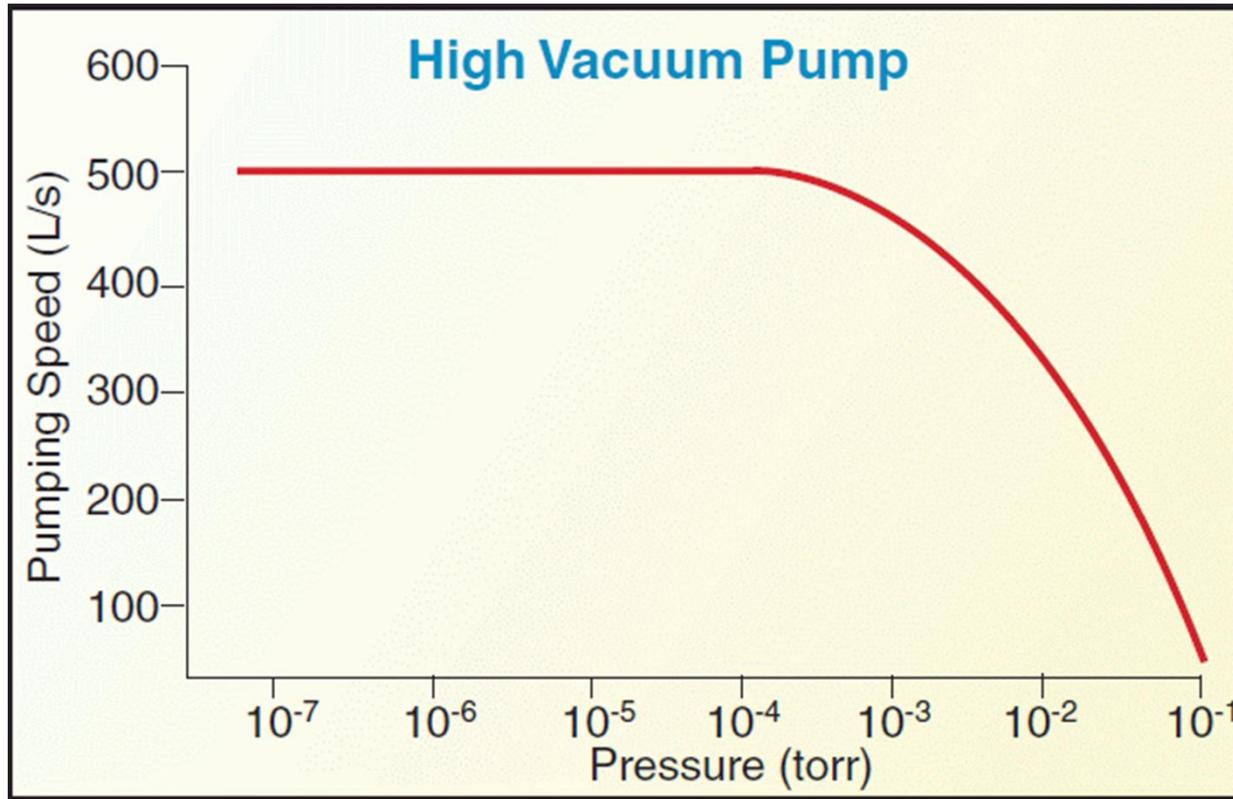
# Esquema de un sistema de vacío



M: Manómetro  
V=Válvula  
LN<sub>2</sub>=Trampa de N<sub>2</sub>  
Líquido

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<sup>3</sup>/hora

## Conceptos básicos

-**P**= presión

-**n**=  $N/V$  densidad de moléculas.  $N$ = número de moléculas.

-Camino Libre Medio (Mean free path)  $\lambda$ :  
distancia promedio que recorre una molécula entre dos colisiones sucesivas con otras moléculas

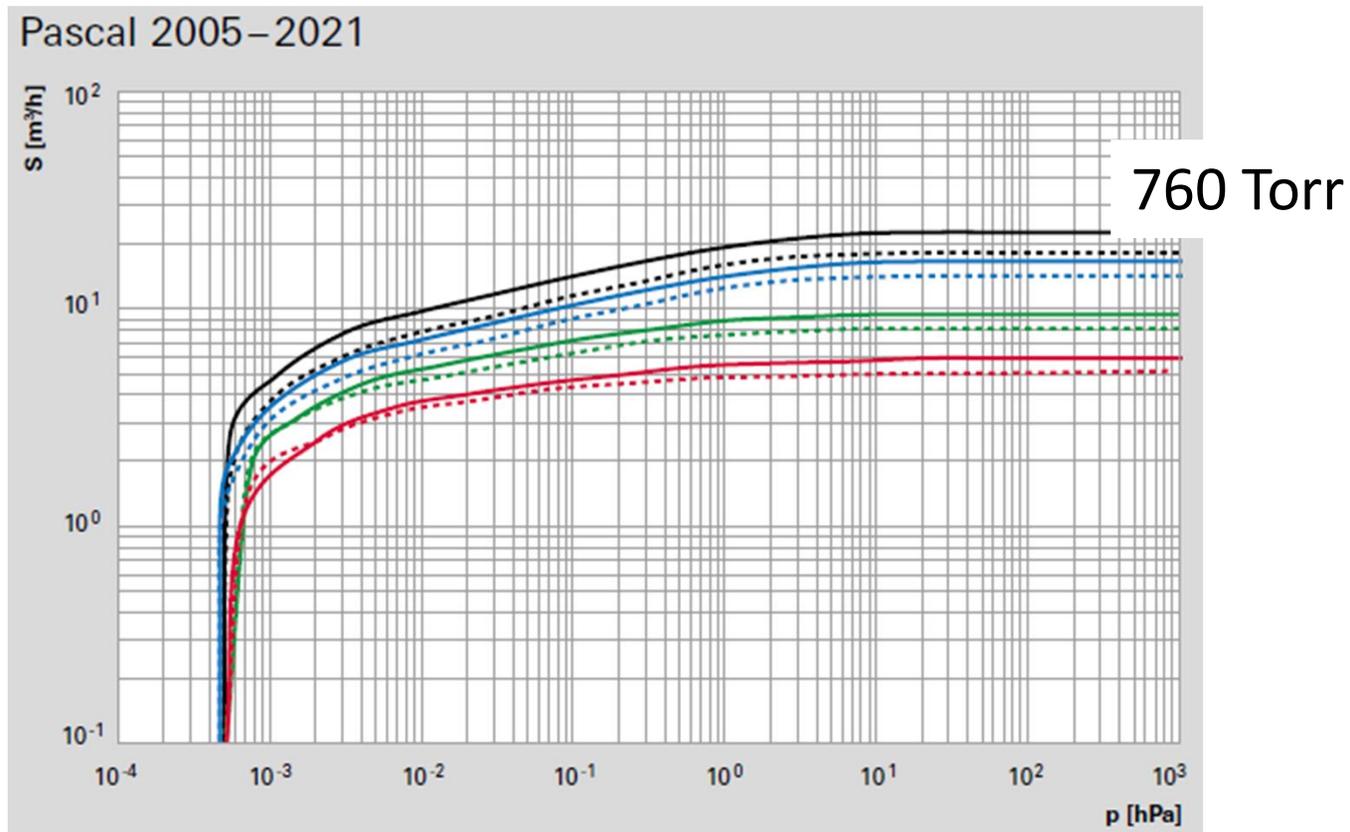
-Incident Rate  $\Phi$ :  $dN/(dA dt)$

Número de moléculas por unidad de tiempo y de superficie

Número de choques sobre una superficie =  $\Phi \Delta A \Delta t$

# Bombas rotatorias de paletas (Bomba Mecánica)

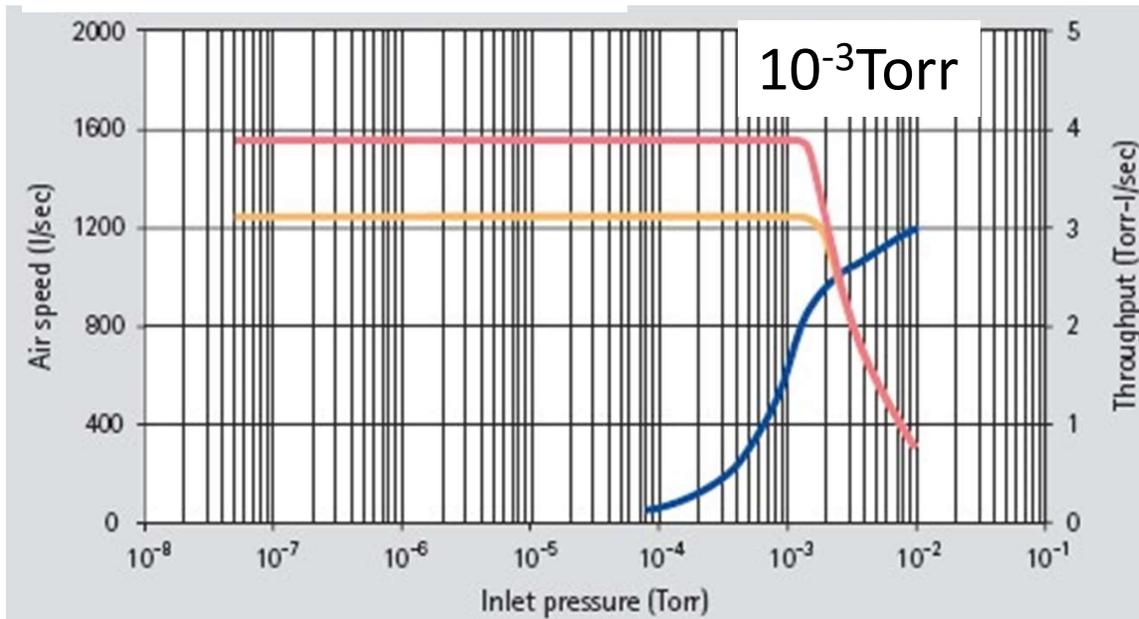
Velocidad de Bombeo  $S=dV/dt$



Presión de trabajo: 760 Torr -  $10^{-3}$  Torr  
Régimen Viscoso

## Bombas difusoras

### Velocidad de Bombeo



### Trampa de N<sub>2</sub> Liquido



**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

Bomba difusora