

Vacío

En el espacio existe el vacío perfecto?

No es absoluto: Contiene pequeñas cantidades de hidrógeno, polvo, radiación electromagnética y partículas.

Ultra alto vacío: Se clasifica como un entorno con una presión inferior a 10^{-7} hPa(mbar) y una densidad de partículas de entre 10^9 y 10^4 por cm^3 , alcanzando incluso menores densidades en el espacio intergaláctico.

Vacíos Cósmicos: Existen inmensas regiones, llamadas vacíos, que tienen hasta un 20% menos de materia que el promedio cósmico y pueden extenderse por millones de años luz.

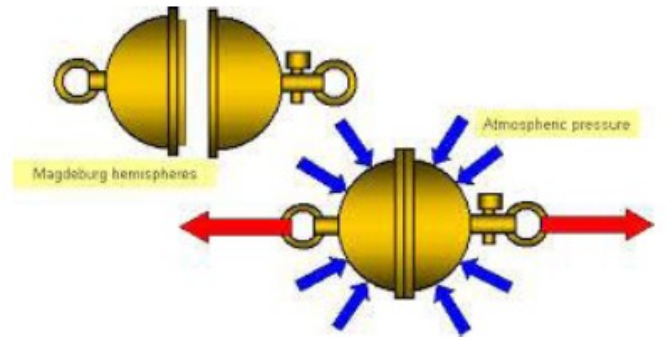
La inmensidad del vacío: El universo observable está compuesto en un 99,999% por espacio vacío, siendo la materia visible apenas el 0,001% del total. espacio

“Vacuum force”: Magdeburg hemisphere

- 1654, Regensburg



Expérience des Hémisphères de Magdebourg,
exécutée par Otto de Guéricke devant l'empereur Ferdinand III, à la diète de Ratisbonne



55 cm diameter → 25 Tons



Otto von Guericke

Vacío

Llamaremos “hacer vacío” a remover en forma parcial el aire de adentro de un recipiente hermético

Para qué o por qué queremos hacer vacío?

Uso industrial

“Limpieza” en un experimento

Aislación térmica

Presión

Unidades

mmHg = Torr (en honor a Torricelli)

Pascal = 1 Nw/m²

bar = 100000 Pascal

1 Atm = 760 mmHg = 101325 Pascal = 1.01325 bar

1 mbar = 0.75 Torr = 100 Pascal

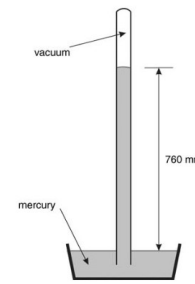


FIGURE 1.1
Torricelli's experiment.



Presión

Rangos

Bajo vacío (Rough vacuum)
Torr

1 atm a 0.1

Vacío medio

0.1 a 10^{-3} Torr

Alto vacío

10^{-3} a 10^{-8} Torr

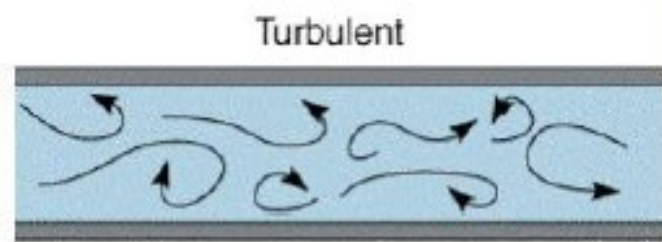
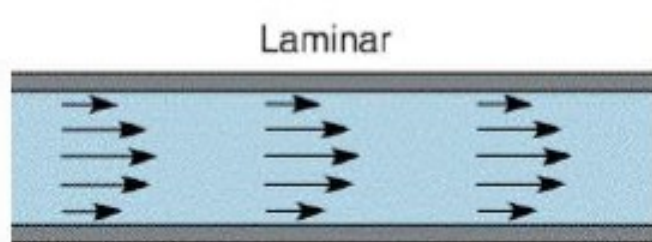
Ultra alto vacío

10^{-8} a 10^{-12} Torr

Propiedades de los gases (y vapores)

Densidades altas (presiones altas) → fluido compresible

Se lo describe con las ecuaciones de Navier-Stokes.
El flujo puede ser laminar o turbulento



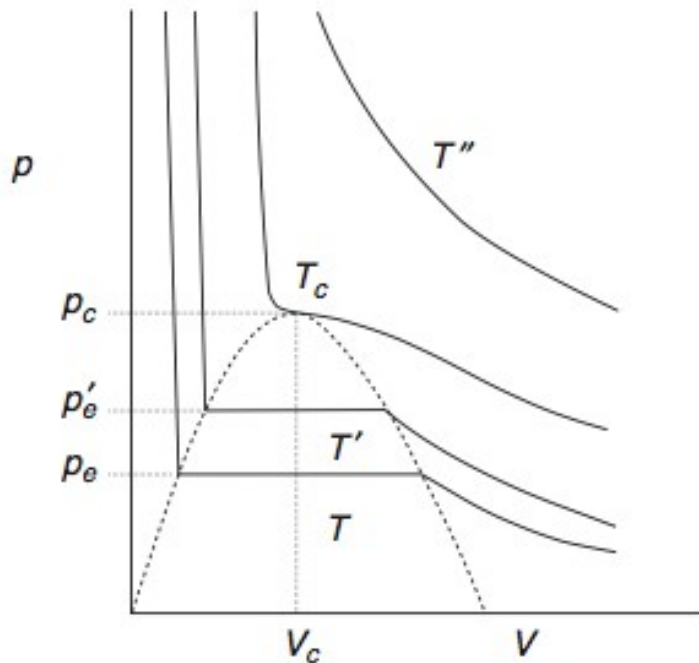
Densidades bajas (presiones bajas) → gas ideal

Se lo describe como una colección de partículas
Hay que usar métodos estadísticos

Propiedades de los gases (y vapores)

Gas de Van der Waals

$$\left(P + \frac{n^2 a}{V^2} \right) (V - nb) = nRT$$



Gas	Temp. Crítica (T_c , K)	Presión Crítica (P_c , atm)	Temp. Ebullición (T_b , K, a 1 atm)
Helio (He)	5.2	2.26	4.2
tabla gases temperatura crítica, presión crítica temperatura ebullición			
Neón (Ne)	44.5	26.9	27.1
Nitrógeno (N_2)	126.0	33.5	77.4
Argón (Ar)	150.9	48.3	87.3
Oxígeno (O_2)	154.6	49.8	90.2
Metano (CH_4)	190.6	45.4	111.7
Monóxido Carbono (CO)	132.9	34.5	81.7
Dióxido Carbono (CO_2)	304.2	73.0	194.7 (sublimación)
Amoniaco (NH_3)	405.6	111.3	239.8
Agua (H_2O)	647.1	217.7	373.2

Valores numéricos para gas a baja presión

Número de partículas que golpean una superficie por unidad de tiempo

$$\frac{dN}{dA dt} = \frac{1}{\sqrt{2\pi m k_B}} \frac{P}{\sqrt{T}}$$

Distribución de Maxwell-Boltzmann

$$\sim \sqrt{T/m}$$

$$\frac{dn}{dt E} = \frac{2N}{\pi^{1/2}} \frac{E^{1/2}}{(kT)^{3/2}} e^{-\frac{E}{kT}}$$

$$v_{\text{mp}} = \left(\frac{2kT}{m}\right)^{1/2} \quad \bar{v} = \left(\frac{8kT}{\pi m}\right)^{1/2} \quad v_{\text{rms}} = \left(\frac{3kT}{m}\right)^{1/2}$$

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = 145 \sqrt{\frac{T}{M}}$$

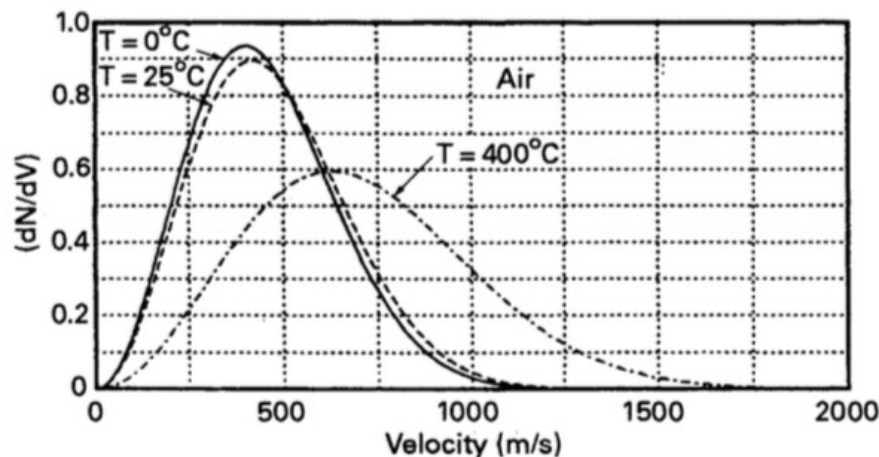


Fig. 2.1 Relative velocity distribution of air at 0°C, 25°C, and 400°C.

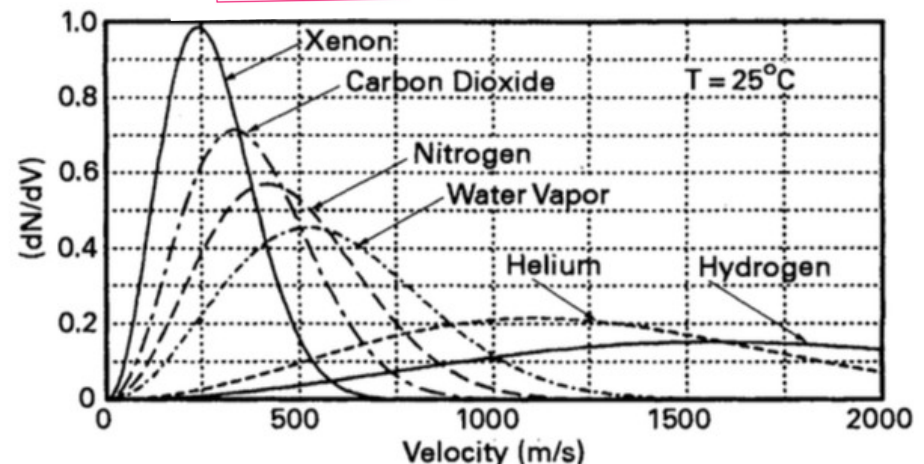


Fig. 2.2 Relative velocity distribution of several gases at 25°C.

Valores numéricos para gas a baja presión

Camino libre medio

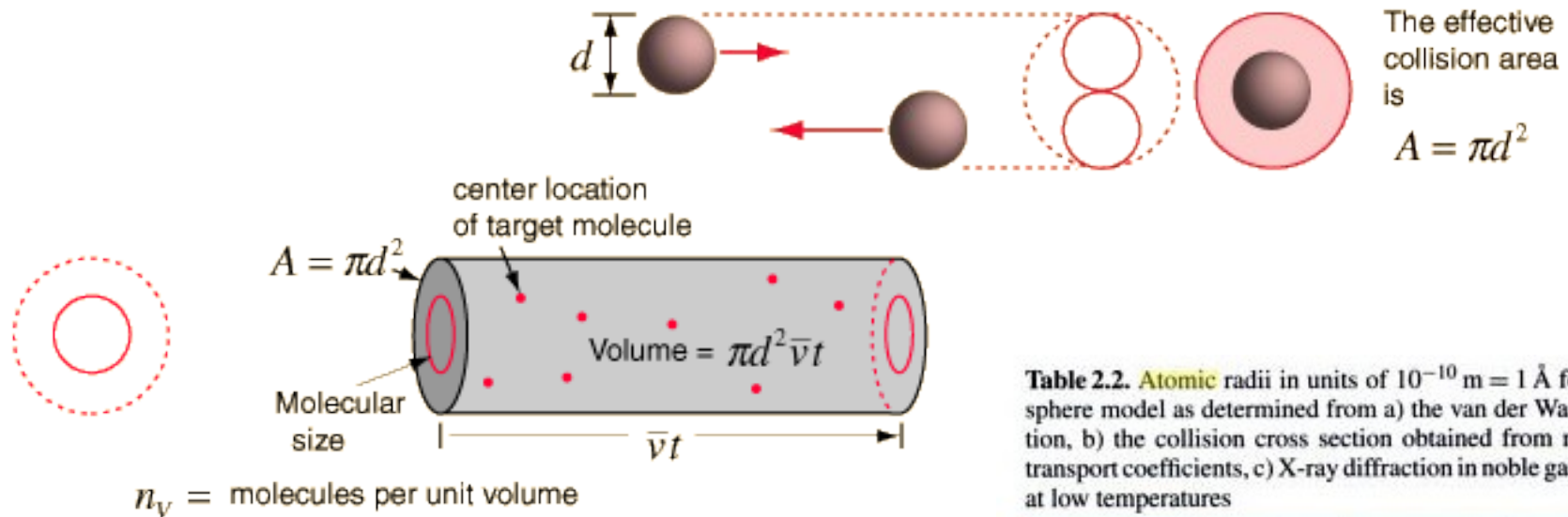


Table 2.2. Atomic radii in units of $10^{-10} \text{ m} = 1 \text{ \AA}$ for a hard sphere model as determined from a) the van der Waals equation, b) the collision cross section obtained from measured transport coefficients, c) X-ray diffraction in noble gas crystals at low temperatures

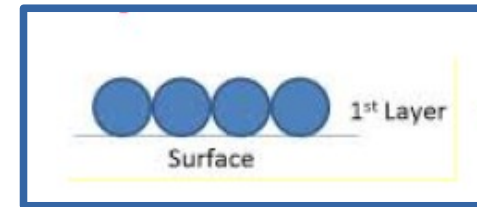
Atom	a)	b)	c)
He	1.33	0.91	1.76
Ne	1.19	1.13	1.59
Ar	1.48	1.49	1.91
Kr	1.59	1.61	2.01
Xe	1.73	1.77	2.20
Hg	2.1	1.4	—

$$\lambda = \frac{k_B T}{\sqrt{2} \pi d^2 P}$$

Aire a
T ambiente

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

Valores numéricos para aire (N₂ 25°C)



Presión (Torr)		n (cm ⁻³)	$d=n^{-1/3}$	λ	$\Gamma=dN/dAdt$ (cm ⁻² s ⁻¹)	Tiempo de monocapa
690	Atmosférica	2.25×10^{19}	3.5 nm	72 nm	2.62×10^{23}	3.3 ns
1		3.27×10^{16}	31 nm	50 μ m	3.8×10^{20}	2.3 μ s
10 ⁻²	Prevacío (mecánica)	3.27×10^{14}	0.14 μ m	5 mm	3.8×10^{18}	0.23 ms
10 ⁻⁴		3.27×10^{12}	0.67 μ m	50 cm	3.8×10^{16}	23 ms
10 ⁻⁶	Alto Vacío (difusora, turbo)	3.27×10^{10}	3.1 μ m	50 m	3.8×10^{14}	2.3 s
10 ⁻⁸	SEM	3.27×10^8	14.5 μ m	5 km	3.8×10^{12}	3.8 m
10 ⁻¹⁰		3.27×10^6	0.067 mm	500 km	3.8×10^{10}	6.5 h
10 ⁻¹²	MBE	3.27×10^4	0.31 mm	50000 km	3.8×10^8	26.6 d

Definiciones sobre flujos de gas

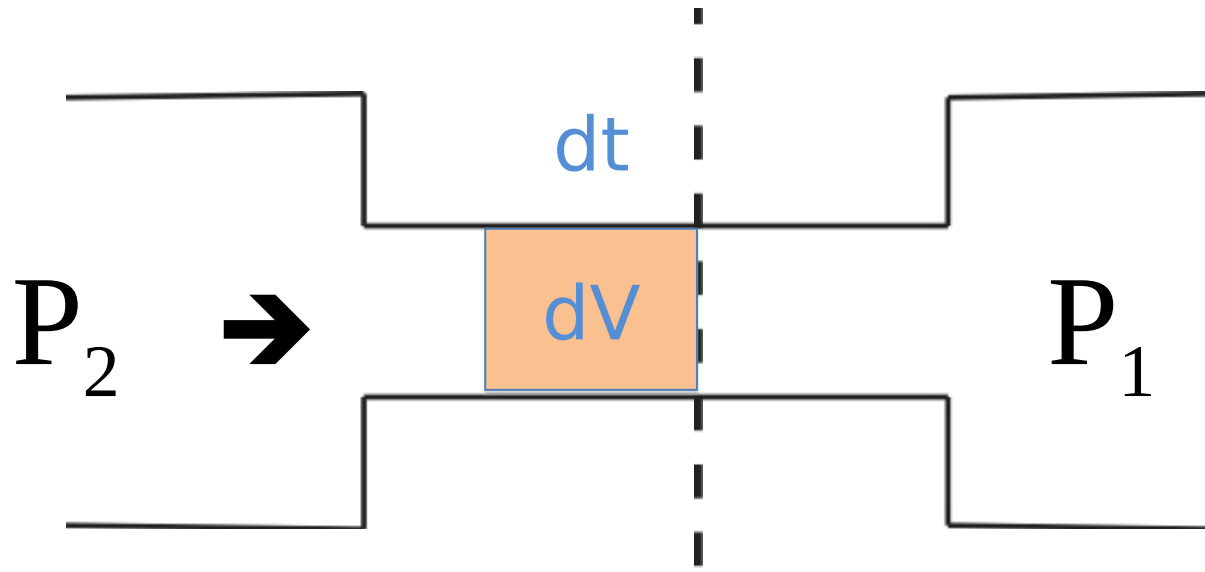
Vamos a hacer una descripción en términos de

- flujos
- diferencias de presión
- conductancias

Es análogo a la descripción de un circuito eléctrico en términos de

- corriente
- diferencias de voltaje
- conductividad

Flujos



Velocidad de bombeo

$$S = \frac{dV}{dt}$$

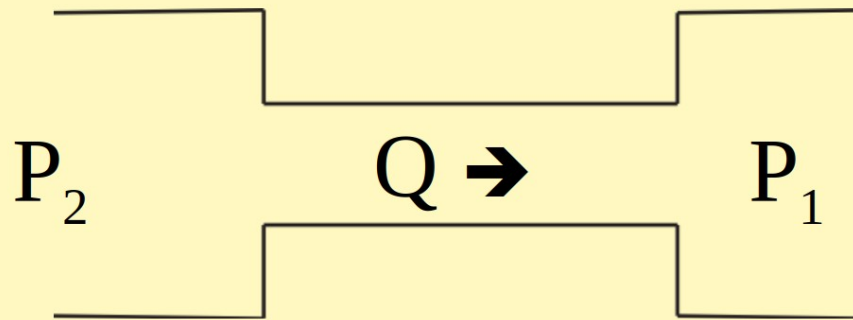
Caudal

$$Q = \frac{d(PV)}{dt} = RT \frac{dn}{dt}$$

Si P es estacionaria

$$Q = P \frac{dV}{dt} = PS$$

Conductancia



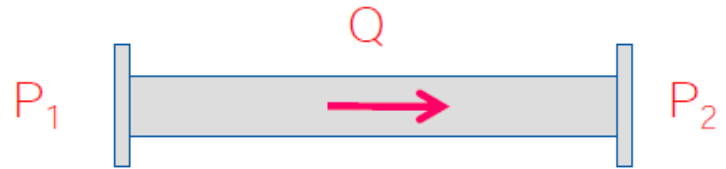
Se define la conductancia $C = \frac{Q}{P_2 - P_1}$

Es similar a la ley de Ohm $C = \frac{1}{R} = \frac{I}{V_2 - V_1}$

CONDUCTANCIA

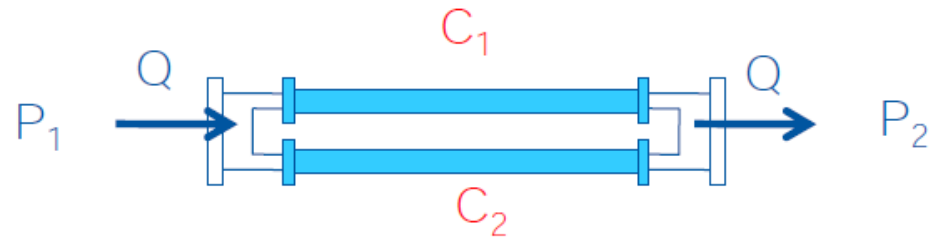
Se define como la razón entre el flujo molecular, Q , y la caída de la presión a lo largo del recipiente. Esto es función de la forma del recipiente, de la naturaleza del gas y de su temperatura

$$C = \frac{Q}{(P_1 - P_2)}$$



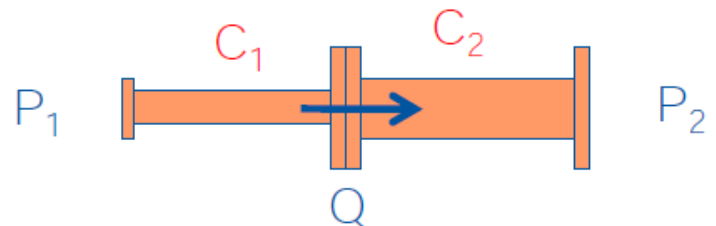
Sumando capacitancias en paralelo

$$C = C_1 + C_2$$



Sumando capacitancias en serie

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

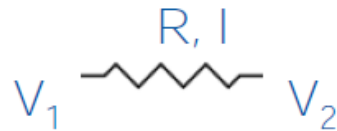


ANALOGÍA CON LA ELECTRICIDAD

El Flujo, Q , corresponde a la corriente I

La presión, P , corresponde al voltaje V

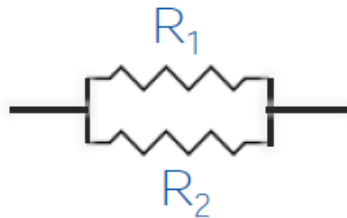
La inversa de la conductancia, C , corresponde a la resistencia, R



Ohm's law:

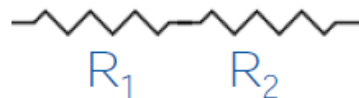
$$(V_1 - V_2) = R I \Leftrightarrow \frac{1}{R} = \frac{I}{(V_1 - V_2)} \longrightarrow \boxed{C = \frac{Q}{(P_1 - P_2)}}$$

Sumando resistencias en paralelo



$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \longrightarrow \boxed{C = C_1 + C_2}$$

Sumando resistencias en serie



$$R = R_1 + R_2 \longrightarrow \boxed{\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}$$