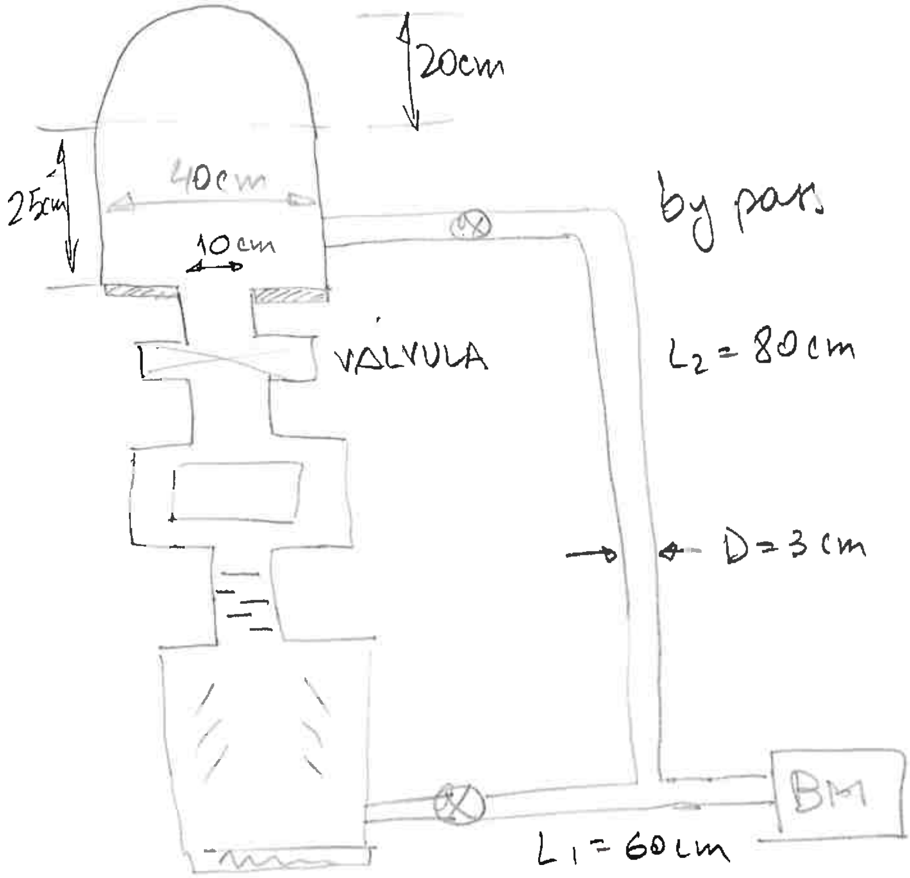
Sistema de vácuo

EXEMPLO II



A pressão de trabalho deve ser $P = 10^{-6}$ Torr

A campânula é de metal (aço "mole" Mild steel) chromium plated chapeado polished.

$$q_{AÇO} = 10^{-8} \frac{Torr\,l}{s\,cm^2}$$

$$q_{AR} = 10^{-9} \frac{Torr\,l}{s\,cm^2}$$

Pressão na traseira da BD $P_F = 10^{-1}$ Torr

$D_1 = D_2 = 3cm$ $L_1 = 60$ cm $L_2 = 80$cm

tempo para fase pré-vácuo fixado em 20 min

Obrigatória a utilização do by pass

Ⓐ Cálculo das áreas e volumes envolvidos.

$$V = \frac{V_{esfera}}{2} + \text{Volume do cilindro}$$

$$= \frac{1}{2}\,\frac{4}{3}\pi R^3 + \pi R^2 H$$

$$= \frac{1}{2}\,\frac{4}{3}\pi (20)^3 + \pi (20)^2\, 25$$

$$= 16746 + 31400 = 48146\,cm^3 = \underline{48\,\ell}$$

Area 1 = cilindro + $\frac{esfera}{2}$ $= 2\pi R H + \frac{1}{2} 4\pi R^2$

$A_1 = 2\pi (20)(25) + \frac{1}{2}\, 4\pi (20)^2$

$A_1 = 3142 + 2513 = \boxed{5655\,cm^2}$

Area 2 = base de Alumínio $= \pi (R_1)^2 - \pi (R_2)^2$

$= \pi (20)^2 - \pi (5)^2$

$= 1257 - 78{,}5 = \boxed{1177\,cm^2}$

Ⓑ CÁLCULO DA DESGASEIFICAÇÃO

$$\dot{Q}_{degas} = q_1 A_1 + q_2 A_2 = 10^{-8}(5655) + 10^{-9}(1177)$$

$$\boxed{Q_{degas} = 5{,}8 \times 10^{-5}\ \frac{Torr\,\ell}{s}}$$

C Admitindo que esse seja o máximo throughput do sistema, temos:

$$Q = PS$$

$$S_{ef\,BD} = \frac{5,8 \times 10^{-5}}{10^{-6}} \sim 58\ l/s$$

D A condutância é um dado do problema, uma vez que foi calculada durante o projeto do sistema.

$$\boxed{C_S = 120\ l/s}$$

então

$$S_{BD} = \frac{S_{eff\,BD} \cdot C}{C - S_{ef\,BD}} = \frac{58 \times 120}{120 - 58} = \boxed{112\ l/s}$$

O diâmetro da bomba difusora será:

$$S_{BD} = 50\%\ C_0 = 50\%\ 9D^2 = 4,5D^2$$

$$112 = 4,5\,D^2 \quad \therefore \boxed{D = 5cm} \quad (2'')$$

E Considerando que o throughput seja conservado, então:

$$Q_1 = Q_2$$

Cálculo da bomba mecânica

$$Q_1 = P_2 S_2 \Rightarrow 5,8 \times 10^{-5}\ \frac{Torr\,l}{s} = 10^{-1}\ S_{ef\,BM}$$

$$\boxed{S_{ef} = 5,8 \times 10^{-4}\ l/s}$$

Para manter o sistema funcionando é necessária uma bomba "muito pequena" (INEXISTENTE)

(F) Se fosse essa a bomba mecânica do sistema, o tempo de escoamento desde 700 Torr até 10^{-1} Torr seria

$$P = P_0 e^{-\frac{S}{V}t} \Rightarrow t = \frac{V}{S} \ln \frac{P_0}{P} \qquad t = \frac{48}{5{,}8 \times 10^{-4}} \ln \frac{700}{10^{-1}}$$

$$\boxed{t = 8{,}5 \text{ dias!!}}$$

Utilizando o tempo fixado em 20 minutos

$$S_{ef\,BM} = \frac{V}{t} \ln \frac{700}{10^{-1}} = \frac{48}{1200} \ln \frac{700}{0{,}1} = 0{,}35\ \ell/s$$

$$\boxed{S_{ef\,BM} = 0{,}35\ \ell/s}$$

(G) CÁLCULO DE S_{BM}, considerando $C_S = 120\ \ell/s$

Na traseira da BD

Supondo regime molecular

$$C_m = \frac{12 D^3}{L} = \frac{12\,(3)^3}{60} \Rightarrow C = 5{,}4\ \ell/s$$

então $$S_{BM} = \frac{C \times S_{ef\,BM}}{C - S_{ef\,BM}} = \frac{5{,}4 \times 0{,}35}{5{,}4 - 0{,}35}$$

$$\boxed{S_{BM} \simeq 0{,}37\ \ell/s}$$

(H) Mas, o regime não é molecular, pois:

$D\bar{P} = 3\times10^{-1} \sim 0,3$ Regime intermediário.

$$C_{int} = C_m \left(0{,}074 \frac{D}{\bar{\lambda}} + 1\right)$$

$$\bar{\lambda} = \frac{5\times10^{-3}}{\bar{P}(\text{Torr})} \Rightarrow \bar{\lambda} = \frac{5\times10^{-3}}{10^{-1}} = 5\times10^{-2}\text{ cm}$$

então $$C_{int} = \underbrace{\frac{12D^3}{L}}_{5,4} \left(0{,}074 \frac{3}{5\times10^{-2}} + 1\right) = 29\ \ell/s$$

$$\therefore \boxed{S_{Bm} = 0{,}35\ \ell/s}$$ estimado pelo tempo de 20 min

(I) Análise do by pass.

$P_0 = 700$ Torr $\Rightarrow P_F = 10^{-1}$ Torr

Análise do regime de escoamento

$DP = 3\times10^{-1} \sim 0,3$ cm Torr

$\therefore$ Regime intermediário.

Na pior situação pois P varia de 700 Torr e 10^{-1} Torr

e no regime viscoso as condutâncias são enormes!

Na pior condição $C_{int} = C_m \left(0{,}074 \frac{D}{\lambda} + 1\right)$

$$C_m = 12 \frac{(3)^3}{80} = 4\ \ell/s$$

$$C_{int} = 4 \left(0{,}074 \frac{3}{5\times10^{-2}} + 1\right) \Rightarrow \boxed{C_{int} = 22\ \ell/s}$$

Essa condutância é muito maior do que a velocidade da Bomba Mecânica efetiva

$$\therefore \boxed{S_{BM} = 0{,}35\ \ell/s}$$

OBSERVAÇÕES

① Supondo um vazamento real com furo $D = 10^{-5}$ cm

$$C = 9(D^2) = 9(10^{-5})^2 = 9\times10^{-10}\ \ell/s$$

$$Q = C\Delta P$$

$$Q = \underbrace{9\times10^{-10}}_{C_0} \times \underbrace{700}_{P_0} = 6{,}3\times10^{-7}\ \frac{\text{Torr}\,\ell}{s}$$

Esse vazamento é bem menor do que a taxa de desgaseificação da câmara $Q = 5{,}8\times10^{-5}\ \frac{\text{Torr}\,\ell}{s}$.

Em todo sistema de vácuo deve ser observado o aspecto da Limpeza. As taxas devido à desorpção térmica podem ser altas.

② Supondo um vazamento de $D = 1\ \mu m = 10^{-4}$ cm

$$C = 9D^2 = 9(10^{-4})^2 = 9\times10^{-8}\ \ell/s$$

$$Q = 9\times10^{-8}\times700 = 6{,}3\times10^{-5}\ \frac{\text{Torr}\,\ell}{s}$$

$$P_{res} = \frac{\sum Q_i}{S} = \frac{5{,}8\times10^{-5} + 6{,}3\times10^{-6}}{58} = 2\times10^{-6}\ \text{Torr}$$

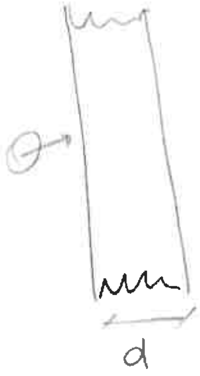
Esse vazamento não interfere na pressão final

ALERTAR PARA A LIMPEZA DO SISTEMA !!!

Fontes de GASES

Mostrar transparência.

Permeação



Lei de Henry

$$\boxed{C = s\,P^{n}}$$

$n = 1$ gases em não metais

$n = 1/2$ gases diatômicos em metais

Equação de difusão (1ª lei de Fick)

$$\boxed{Q = -D \frac{\partial c}{\partial x}}$$

$$D = D_0\, e^{-E/RT}$$

E = energia de ativação

$$\boxed{Q = Ds \frac{\left(P_{ext}^{n} - P_{int}^{n}\right)}{d}}$$

$Ds = k(T)$

constante de permeação

$$\boxed{k = k_0\, e^{-E/RT}}$$

Mostrar transparências ($k \times T$)

Difusão de GASES

Regime de transição

2ª lei de Fick

$$\boxed{D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} = \frac{\partial c}{\partial t}}$$

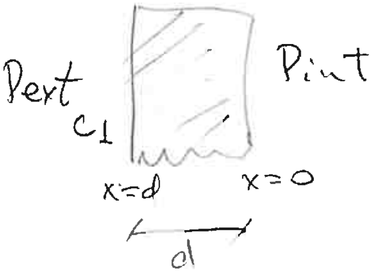
difusão em estado não estacionário.

(A) Permeação - caso transiente

(B) Parede semi-infinita

(C) Parede infinita

(A) Caso transiente



condições iniciais e de contorno

$c=0$	$0 \leq x < d$	$t=0$
$c=0$	$x=0$	$t>0$
$c=c_1$	$x=d$	$t>0$

$c(x,t)$ solução $\boxed{D\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} = \frac{\partial c}{\partial t}}$

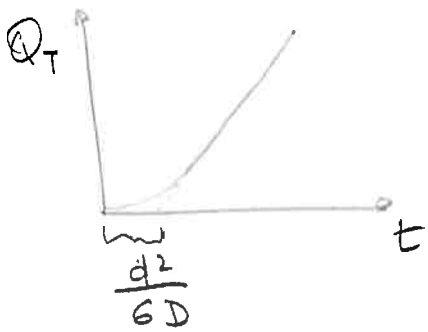
$$Q = D\left(\frac{\partial c}{\partial x}\right)$$

limite $t \to \infty$

$$Q_T = \frac{D c_1}{d}\left[t - \frac{d^2}{6D}\right]$$

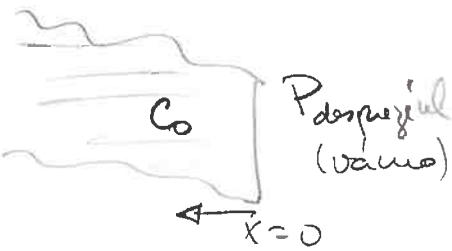
tempo de retardo

$[D] = \frac{cm^2}{s}$



D é o coef. de Difusão

(B) Difusão de gases por uma parede semi-infinita



$C=C_0$	$x \geq 0$	$t=0$
$c=0$	$x=0$	$t>0$

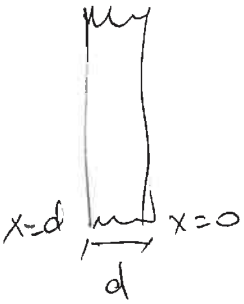
$c(x,t)$ solução de $\boxed{D\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} = \frac{\partial c}{\partial t}}$

$$\boxed{Q = D\left(\frac{\partial c}{\partial x}\right)_{x=0} = C_0 D^{1/2}\frac{1}{\sqrt{\pi t}}}$$

$$Q = PS \qquad P = \frac{C_0 D^{1/2}}{S\sqrt{\pi t}}$$

$$Q_T = \int_0^{\infty} D\left(\frac{\partial c}{\partial x}\right)_{x=0} dt = \frac{2 C_0 D^{1/2}}{\sqrt{\pi}}\sqrt{t}$$

(c) Difusão de gases em uma parede finita

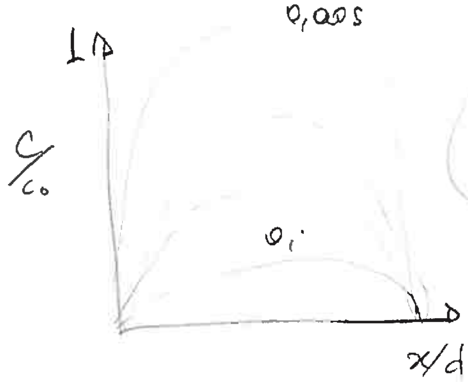


condições iniciais e contorno

$$c = c_0 \qquad 0 \leq x \leq d \qquad t = 0$$

$$c = 0 \qquad x = 0 \quad x = d \qquad t > 0$$

$c(x,t)$ = mostrar transparência



$$\frac{Dt}{d^2}$$ tempo adimensional

$$Q = 2\,D\left(\frac{\partial c}{\partial x}\right)$$

$$Q_T = \int 2D\left(\frac{\partial c}{\partial x}\right)_{x=0} dt$$

O resultado também descreve a absorção de gases por uma placa.

$$\boxed{D = D_0 \exp\frac{-E}{RT}}$$

Difusão aumenta rapidamente com a temperatura.

EVAPORAÇÃO / Vaporização

$\begin{cases} \text{Evaporação (lento)} \\ \text{Ebulição (rápido)} \\ \text{Calefação} \end{cases}$

Pressão do vapor: Pressão exercida pelo vapor de uma substância quando está em equilíbrio com a fase líquida, a uma dada temperatura.

H_2O $\begin{cases} T = 20°C & P_v = 18 \text{ Torr} \\ T = 50°C & P_v = 90 \text{ Torr} \\ T = 100°C & P_v = 760 \text{ Torr} \end{cases}$

Pressão de vapor é a tendência de evaporação de um líquido.

Equação de Clausius-Clapeyron.

$$\frac{dP_v}{dT} = \frac{H_B}{T(v_G - v_B)}$$

H_B é o calor latente de evaporação,
v é o volume específico

$$\boxed{P_v = C e^{-H_B/RT}}$$

$$W = m\nu \longrightarrow \nu = \frac{1}{4} n \bar{v}$$

$$\boxed{W = 0{,}058 \, P_v \left(\frac{M}{T}\right)^{1/2} \, g/cm^2 s}$$

$$\boxed{Q = WA}$$

A é a área do líquido!

$$\boxed{Q = RT \frac{\Delta N}{\Delta t}}$$

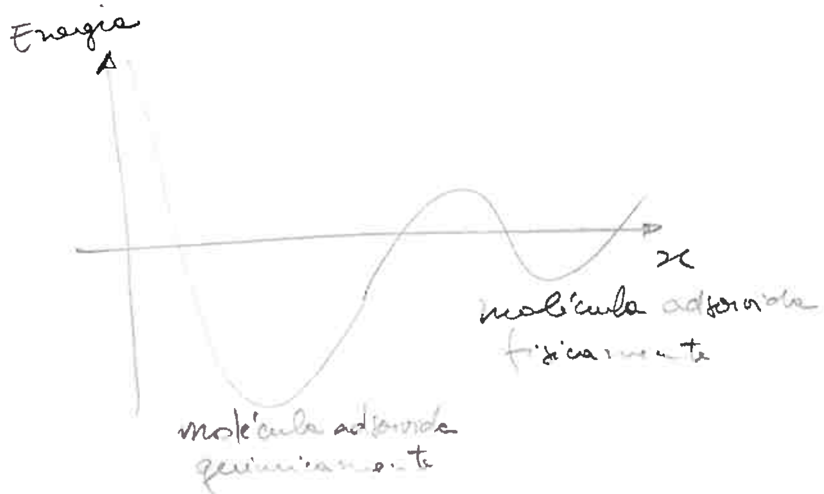
Desorpção Térmica

A taxa de desorpção é função de:

1. Energia de ligação
2. Temperatura de superfície
3. Número de camadas do gás aderidas na superfície

Adsorção Física
Adsorção Química

Principal fonte de gás do sistema



desorpção de primeira ordem

- moléculas que não se dissociam

$$\boxed{\frac{dc}{dt} = -k_1 c}$$

$k = \frac{1}{\tau_{res}}$

τ_{res} = tempo de residência

$$\boxed{c = c_0 e^{-k_1 t}}$$

$\tau_{res} = \tau_0 e^{E_d / N_0 k T}$

$\tau_0 \sim 10^{-12} s$

$$\boxed{\frac{dc}{dt} = -c_0 k_1 e^{-t/\tau_{res}}}$$

desorpção rápida

Desorção de segunda ordem

gases que se dissociam na adsorção e devem se recombinar antes da desorção.

$$H + H \rightarrow H_2$$

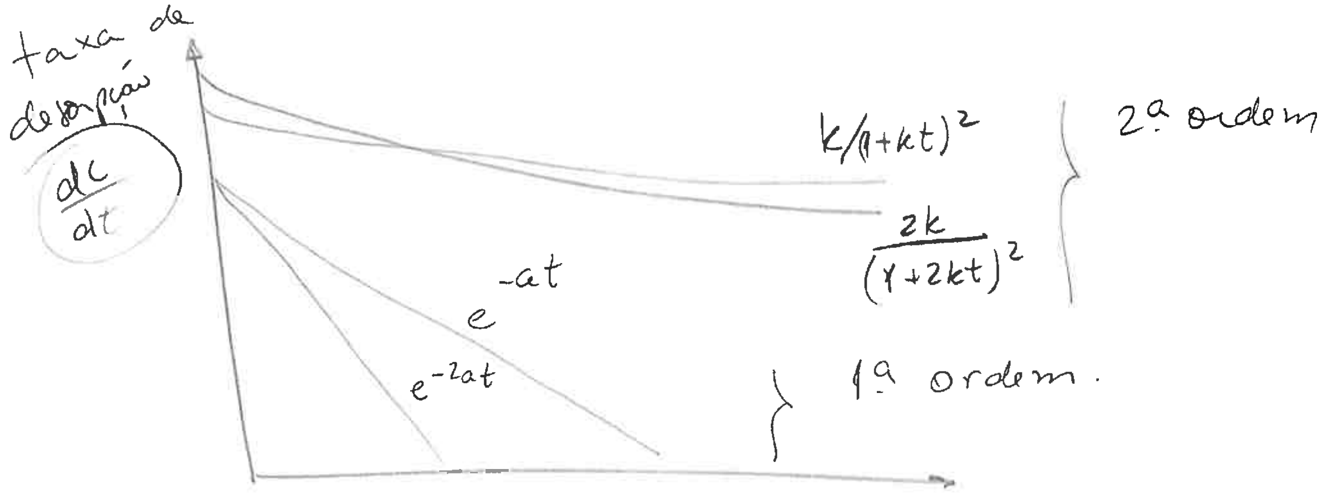
$$\boxed{\frac{dc}{dt} = -k_2 c^2}$$

$$k_2 \sim e^{-E/N_0 k T}$$

$$\boxed{c = \frac{C_0}{1 + C_0 k_2 t}}$$

$$\boxed{\frac{dc}{dt} = \frac{-k_2 C_0^2}{(1 + C_0 k_2 t)^2}}$$

cai lentamente



Superfícies reais

$$\boxed{q_n = \frac{q_1}{t^{\alpha}}}$$

n é o tempo em horas

$0,7 \leq \alpha < 2$ mais usual $\alpha = 1$.