

Passar lista de exercícios

Resumo da aula anterior

Perfil da pressão ao longo de um tubo



$$P_x = P_0 + \rho B \left[\frac{x}{c} - \frac{x^2}{2Lc} \right]$$

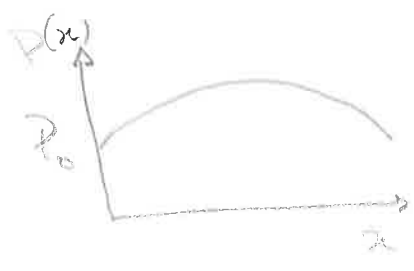
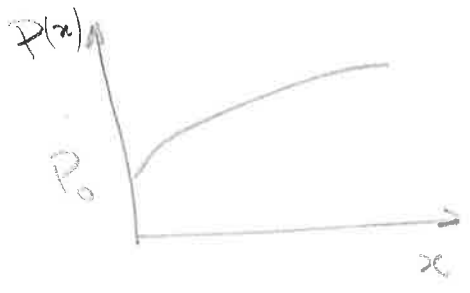
$$P_L - P_0 = \frac{\rho BL}{2c}$$

não depende da pressão

$$P_0 = \frac{\rho BL}{S_b}$$

Condições de contorno

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{(a)} \quad \frac{dP}{dx} \Big|_{x=L} = 0 \\ \text{(b)} \quad x=0 \quad P = P_0 \end{array} \right.$$



Estudo de Vazamentos

- Vazamento Real
- Vazamento Virtual

Regime viscoso

$$S_{ef} = \frac{S_b C_{viscoso}}{S_b + C_{viscoso}}$$



$$S_{ef} \approx S_{bomba}$$

Regime molecular

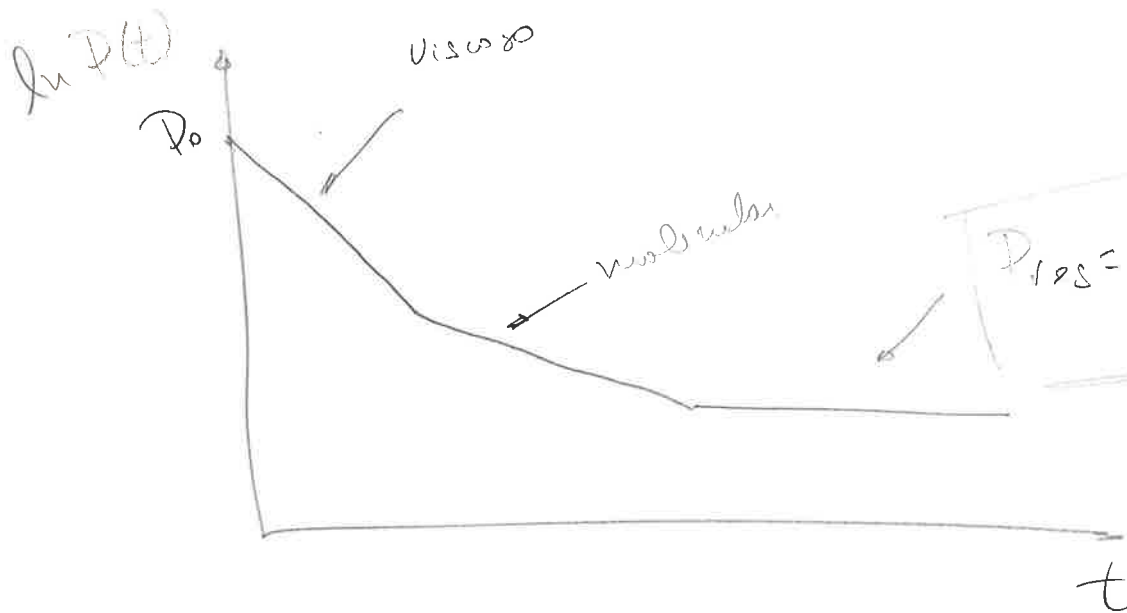
$$S_{ef} = \frac{S_b C_{molecular}}{S_b + C_{molecular}}$$

Depende de condutância

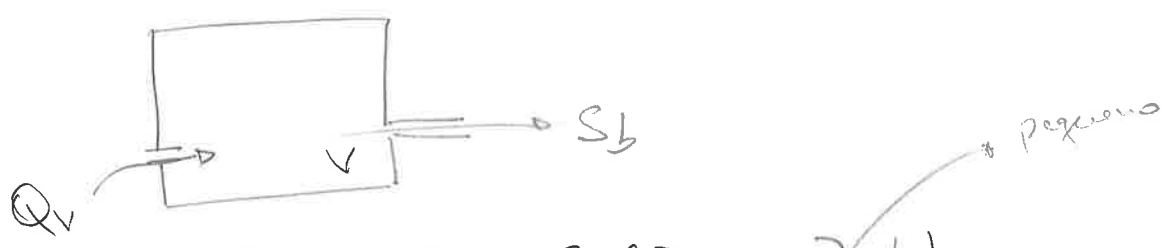
Constante de bombeamento

$$G = V/S$$

Depende de S, logo:



Vazamento Real



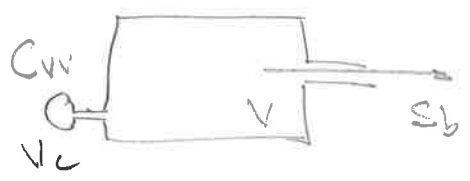
$$Q = C \Delta P = C (P_{ext} - P_{int})$$

$$P_{res} = \frac{\sum Q_i}{S}$$

$$P_{res} = \frac{Q_v}{S} = \frac{C P_{ext}}{S} \quad P_{ext} \gg P_{int}$$

$$P_{res} = \frac{C_v P_{atm}}{S}$$

Vazamento Virtual



CAVIDADE + ORIFÍCIO PEQUENO

≡ VAZAMENTO VIRTUAL

$$C_{vv} \ll S_b$$

equação geral

$$-V \frac{dP}{dt} = P S - \sum Q_i$$

Analogamente, podemos escrever

$$-V \frac{dP_c}{dt} = Q_{vv}$$

$$Q_{vv} = C_{vv} (P_c - P_{int}) \quad \text{com } P_c \gg P_{int}, \text{ logo:}$$

$$Q_{vv} = C_{vv} P_c$$

então $-V_c \frac{dP_c}{dt} = C_{vr} P_c$

$\frac{dP_c}{dt} = - \frac{C_{vr}}{V_c} P_c$

solução

$$P_c = P_0' e^{-\frac{C_{vr} t}{V_c}}$$

A pressão residual será $P_{res} = Q_{vr}/S$, então

$P_{res} = \frac{C_{vr} P_c}{S}$

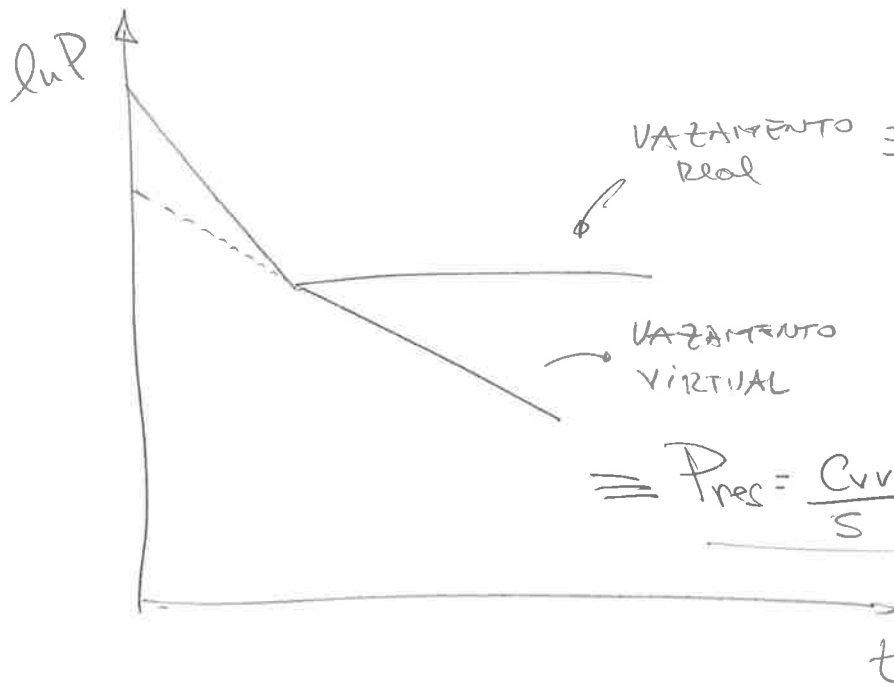
⇒

$$P_{res} = \frac{C_{vr}}{S} P_0' e^{-\frac{C_{vr} t}{V_c}}$$

$\frac{C_{vr} P_0'}{S}$ é cte

$P_0' \sim P_{atm}$

MOSTRAR SLIDE



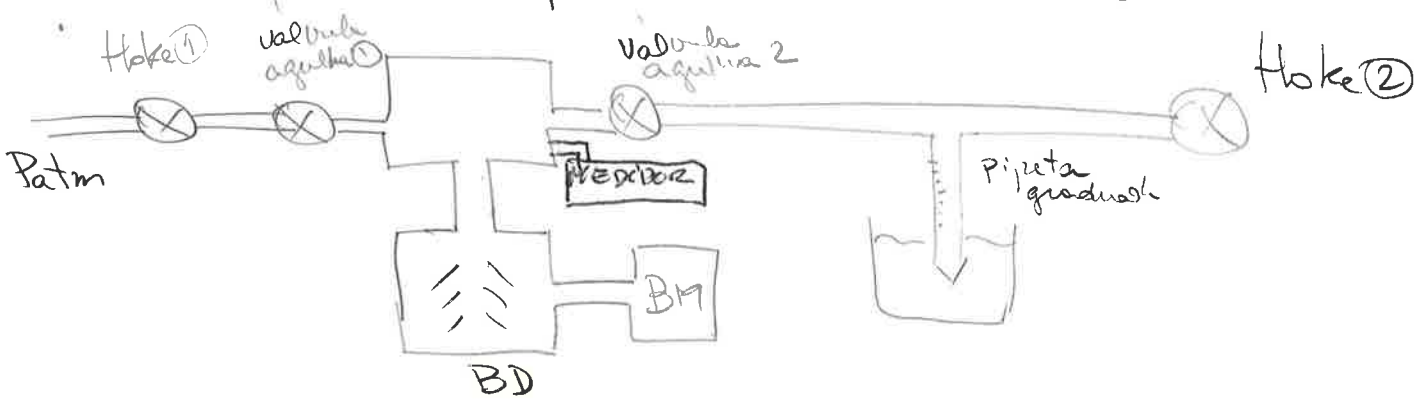
VAZAMENTO REAL $\equiv P_R = \frac{C_R P_{atm}}{S}$

VAZAMENTO VIRTUAL

$\equiv P_{res} = \frac{C_{vr}}{S} P_{atm} e^{-\frac{C_{vr} t}{V_c}}$

Sistema para o Estudo de vazamentos

3



① Medida da pressão em função do tempo $P(t)$
- bombeamento até 10^{-6} Torr
- todas as válvulas fechadas
- Abriu-se a válvula agulha 1, a pressão pode ser ajustada até 10^{-3} Torr. A válvula Hoke 1 deve estar aberta
Fechando-se a válvula agulha 1 pode-se medir a pressão em função do tempo $P(t)$

② Simulando um vazamento real.
- bombeamento até 10^{-6} Torr
- Abrir-se a válvula agulha 1, pode-se elevar a pressão até 10^{-5} Torr
- Com a válvula agulha 2 aberta, a pressão pode atingir um valor de pressão mais alto ($P \approx 10^{-3}$ Torr)
Fechando-se a válvula agulha 2 pode-se medir $P(t)$
com a válvula Hoke 1 aberta, estamos simulando um vazamento real.

③ Simulando um vazamento virtual
Nas mesmas condições do item anterior, com a válvula Hoke 1 FECHADA estamos simulando um VAZAMENTO VIRTUAL

Parâmetros do Sistema

MOSTRAR
SLIDE

{ Sistema sem vazamentos
Vazamento real
Vazamento VIRTUAL

Situaçõe Inicial

- Bombamento até 10^{-6} Torr

Com a válvula agulha ① a pressão é elevada até 10^{-5} Torr

Com a válvula agulha ② a pressão é elevada até 8×10^{-4} Torr

Fechando-se a válvula agulha ② foi medida a pressão em função do tempo $P(t)$.

Com a válvula Hoke ① aberta temos vazamento REAL

Com a válvula Hoke ② fechada temos vazamento VIRTUAL

Ref. Apostila Prof. Helcio Owsic e prof Luiz Marcos

CÁLCULOS

① Vazamento Real (vide gráfico)

$$P_{res} = \frac{C_R P_{atm}}{S}$$

$$C_R = \frac{P_{res} S}{P_{atm}}$$

$$C_R = \frac{10^{-5} \times S}{700}$$

sendo

$$S = 50 \text{ l/s (vide gráfico)}$$

$$\text{então } C_R = \frac{10^{-5} \cdot 50}{700}$$

$$\Rightarrow C_R = 7 \times 10^{-7} \text{ l/s}$$

Ma,

$$C_0 = 9D^2$$

$$D^2 = \frac{7 \times 10^{-7}}{9}$$

$$\therefore D = 2,8 \times 10^{-4} \text{ cm}$$

$$2,8 \mu\text{m}$$

Vazamento VIRTUAL

$S = 50 \text{ l/s}$ → Simula-se fechando a válvula Hokei

$$P_{res} = \frac{C_{vv} P_0'}{S} e^{-\frac{C_{vv}}{V_c} t} \quad \text{VAZAMENTO VIRTUAL}$$

Podemos estimar $\frac{C_{vv} P_0'}{S}$ diretamente do gráfico

$$\frac{C_{vv} P_0'}{S} = 10^{-5}$$

$$C_{vv} = \frac{10^{-5} \cdot 500}{700} \Rightarrow C_{vv} = 7 \times 10^{-7} \text{ l/s}$$

$$P_{res} = \frac{C_{vv} P_0'}{S} e^{-\frac{C_{vv}}{V_c} t} \Rightarrow P_{res} = P' e^{-\frac{C_{vv}}{V_c} t}$$

$$P' = \frac{C_{vv} P_0'}{S} = 10^{-5} \text{ Torr}$$

leitura do gráfico

$$P_{res} = 7 \times 10^{-6} \text{ Torr em } 1000 \text{ s}$$

$$\ln \frac{P_{res}}{\frac{C_{vv} P_0'}{S}} = \ln e^{-\frac{C_{vv}}{V_c} t} \Rightarrow \ln \frac{P_{res}}{\frac{C_{vv} P_0'}{S}} = -\frac{C_{vv}}{V_c} t$$

$$V_c = \frac{C_{vv} t}{\ln \left(\frac{C_{vv} P_0'}{S P_{res}} \right)} = \frac{7 \times 10^{-7} \cdot 1000}{\ln \frac{10^{-5}}{7 \times 10^{-6}}} = 2 \times 10^{-3} \text{ l}$$

$$\therefore V_c \approx 2 \text{ ml}$$

Exercício: Vazamento Virtual

5

a) Qual o tempo para esse sistema atingir uma pressão sem vazamento de $P = 2 \times 10^{-6}$ Torr?

$$P = P_0 e^{-\frac{C_{vv}}{V_c} t}$$

$$\ln \frac{P}{P_0} = -\frac{C_{vv}}{V_c} t \quad \Rightarrow \quad \ln \frac{P_0}{P} = \frac{C_{vv}}{V_c} t$$

$$\Rightarrow t = \frac{V_c}{C_{vv}} \ln \frac{P_0}{P}$$

Substituindo os valores

$$t = \frac{2 \times 10^{-3}}{7 \times 10^{-7}} \ln \frac{10^{-5}}{2 \times 10^{-6}}$$

$$t = 4598 \text{ s}$$

$$\rightarrow t \sim 1,3 \text{ horas}$$

b) Qual o diâmetro da abertura equivalente

$$C_0 = 9D^2 \quad D^2 = \frac{7 \times 10^{-7}}{9} \quad \Rightarrow \quad D = 3 \times 10^{-4} \text{ cm}$$

$$3 \mu\text{m}$$

observações: Os vazamentos virtuais não são fáceis de serem detectados por estarem no interior das câmaras e a correção uma queda de pressão muito lenta

Deve-se sempre ter cuidado para se evitar a formação de cavidades internas conectadas ao sistema através de grandes impedâncias.

EXERCÍCIO: VAZAMENTO VIRTUAL

a) Suponha $V_c = 10^{-5}$ l conectado a um capilar de diâmetro $D = 10^{-4}$ cm e comprimento $L = 2$ cm

Qual o tempo necessário para a pressão cair por um fator 10? (Regime molecular)

$$P = P_0 e^{-\frac{C_{vr}}{V_c} t} \implies t = \frac{V_c}{C_{vr}} \ln \frac{P_0}{P}$$

$$C_{vr} = \frac{12D^3}{L} = 6 \times 10^{-12} \text{ l/s}$$

$$V_c = 10^{-5} \text{ l} \text{ então } t = \frac{10^{-5}}{6 \times 10^{-12}} \ln 10 \implies t = 44 \text{ dias}$$

b) Na pressão atmosférica, qual o número de moléculas nesse cavidade a $T = 300$ K?

$$N_v = \frac{PV}{kT} \quad V_c = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{4}{3} \pi \frac{D^3}{8} = \frac{\pi D^3}{6} \quad \left\{ \begin{array}{l} k = 10^{-22} \frac{\text{Torrr}}{\text{K}} \\ k = 10^{-19} \frac{\text{Torrr cm}^3}{\text{K}} \end{array} \right.$$
$$N_v = \frac{700 (10^{-5})}{10^{-22} 300} \sim \frac{2 \times 10^{17} \text{ moléculas}}{}$$

c) Qual a área equivalente que teria esse número de moléculas em uma mono-camada? $\Sigma_{N_2} = 3,7 \times 10^{-8}$ cm

área ocupada por uma molécula $A = \frac{\pi \delta^2}{4}$

Mono camada

$$\frac{\text{n.º de partículas}}{\text{cm}^2} = \frac{1}{A} = \frac{4}{\pi \delta^2} \sim 10^{15} \text{ moléculas/cm}^2$$

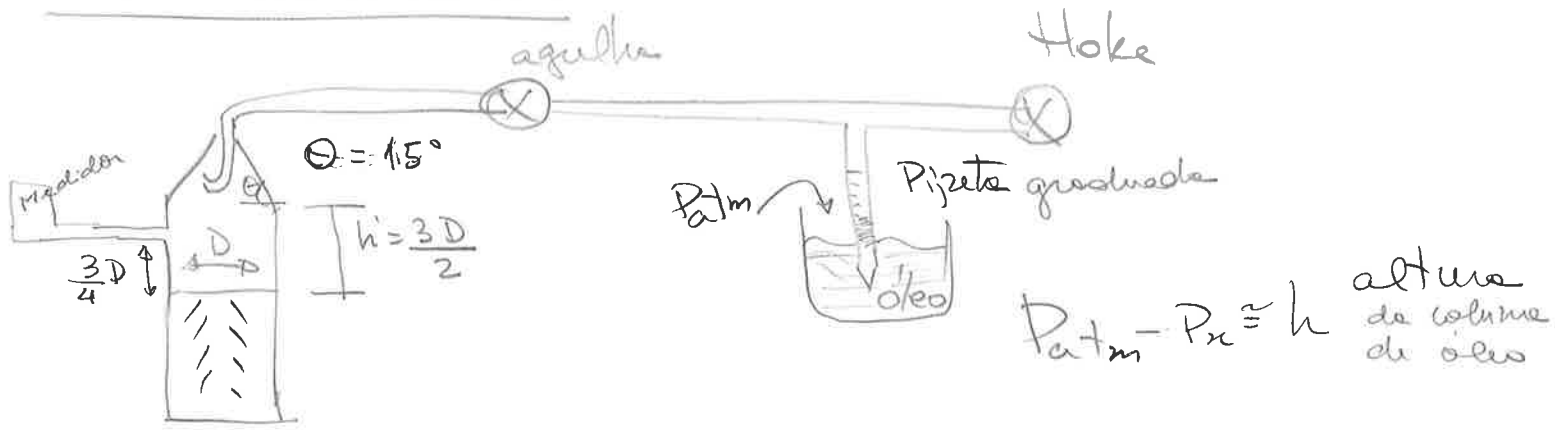
A área total equivalente para se ter 2×10^{17} moléculas seria então uma área de 200 cm^2

i.e. uma placa de $(20 \times 10) \text{ cm}^2$

Método da Pipeta

(6)

Método para a medição da velocidade de bombeamento
Norma internacional



Fluxo de massa ou throughput é constante ao longo do sistema

$$Q = PS$$

$$Q = P_s S = P_x \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$P_{atm} - P_x = h$$

$$P_{atm} \approx 700 \text{ Torr}$$

h é a altura da coluna de óleo

$$\rho_{Hg} = 13,6 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{oleo} \approx 0,84 \text{ g/cm}^3$$

$$2 \text{ cm óleo} \sim 0,1 \text{ cm Hg}$$

$$\rho_{oleo} \times h_{oleo} = \rho_{Hg} y_{Hg}$$

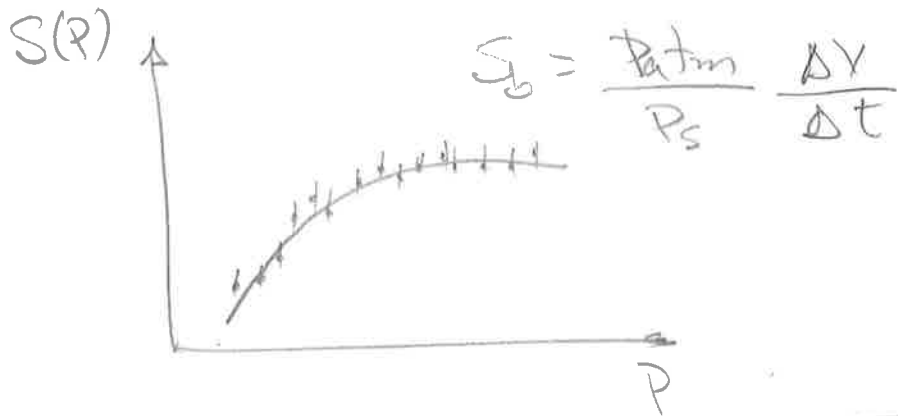
$$\frac{\rho_{Hg}}{\rho_{oleo}} \sim 20$$

então $y_{Hg} \sim 0,1 \text{ cm}$ ou 1 mm Hg

$$P_{ATM} = 11,25 \text{ m de óleo}$$

$$Q = P_s S = P_{atm} \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Velocidade de bombeamento



Mas $P_{res} = \frac{Q_{degas}}{S} \therefore \boxed{Q_{degas} = P_{res} S}$

então $S P_s = P_{atm} \frac{\Delta V}{\Delta t} + P_{res} S$

$$S (P_s - P_{res}) = P_{atm} \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$\therefore \boxed{S = \frac{P_{atm}}{P_s - P_{res}} \frac{\Delta V}{\Delta t}}$$

Deve-se medir P_{res} com todas as
válvulas fechadas antes e depois das
medições !!

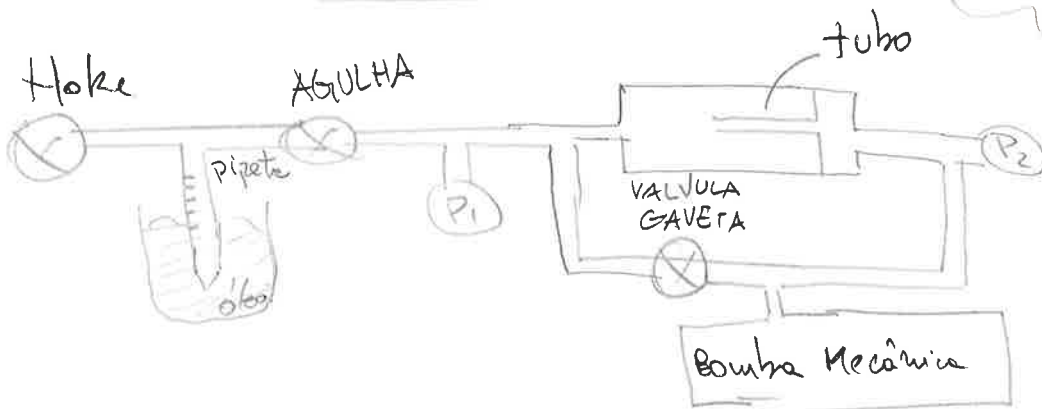
Medidas de Condutância

Método da pipeta

(7)

$$C_{AB} = \frac{1}{Z_{AB}} = \frac{Q}{P_A - P_B}$$

$$C_{exp} = \frac{PS}{P_A - P_B}$$



$$C_{exp} = P_{atm} \frac{\Delta V}{\Delta t} \frac{1}{P_1 - P_2}$$

$$P_{1res} \neq P_{2res}$$

(a) O que significa condutância

$$Q = C \Delta P = C (P_{atm} - P_s) = \frac{\Delta V}{\Delta t} P_x$$

↑
proximo

$$Q = C P_{atm} = \frac{\Delta V}{\Delta t} P_x$$

$$C = \frac{\Delta V}{\Delta t} \frac{P_x}{P_{atm}} \quad \text{mas } P_x \sim P_{atm}$$

então

$$C \sim \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

⑥ Por que o método funciona?

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{10^{-3}}{P_{atm}} = \frac{10^{-3}}{700} \sim 10^{-6} \text{ l/s}$$

$$10^{-6} \frac{\text{l}}{\text{s}} = 10^{-3} \frac{\text{ml}}{\text{s}} = 10^{-3} \text{ ml} \frac{60}{\text{min}}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} \sim 0,1 \text{ ml/min}$$

Quantidade mensurável

A agulha estrangula o sistema!

Condutâncias

Regime viscoso

$$C_{N_2} = \frac{180 D^4 \bar{P}}{L}$$

Regime molecular

$$C_{N_2} = \frac{12 D^3}{L}$$

Intermediário

$$C_{int} = C_v + \alpha C_m$$

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

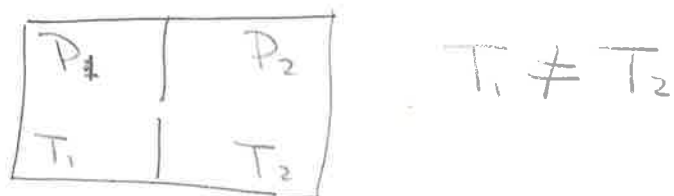
$$\alpha = \frac{1 + \frac{125 D}{\bar{\lambda}}}{1 + 1,55 D / \bar{\lambda}}$$

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

Exercício 13 - Lista 2

(8)

Determine a expressão da condutância de um orifício para temperaturas diferentes.



$$Q = P \frac{\Delta V}{\Delta t} = kT \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

$$v = \frac{\text{n.º de moléculas}}{\text{área tempo}} \equiv v = \frac{1}{4} n \bar{v}$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = vA \quad \therefore Q = kT vA = kT \frac{n \bar{v}}{4} A \quad \left. \begin{array}{l} \bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \\ n = \frac{P}{kT} \end{array} \right\}$$

$$Q_T = Q_1 - Q_2$$

$$Q_T = \sqrt{\frac{k}{2\pi m}} A (\sqrt{T_1} P_1 - \sqrt{T_2} P_2)$$

$$Q = C \Delta P \implies Q = C (P_1 - P_2)$$

$$C = A \sqrt{\frac{k}{2\pi m}} \frac{(\sqrt{T_1} P_1 - \sqrt{T_2} P_2)}{P_1 - P_2}$$

Pragor

Trande



Pristema

Tristema

É possível estimar o bombeamento de superfície, fias

→ Envolva a probabilidade de adsorção

