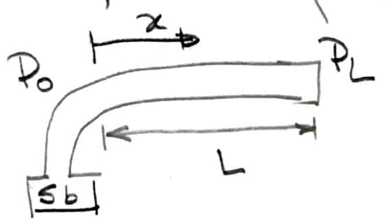
AULA 11

Ciência e Tecnologia do Vácuo

- 2020 -

Resumo da aula anterior.

Perfil da pressão ao longo de um tubo



$$P_x = P_0 + q B \left[\frac{x}{C} - \frac{x^2}{2LC} \right]$$

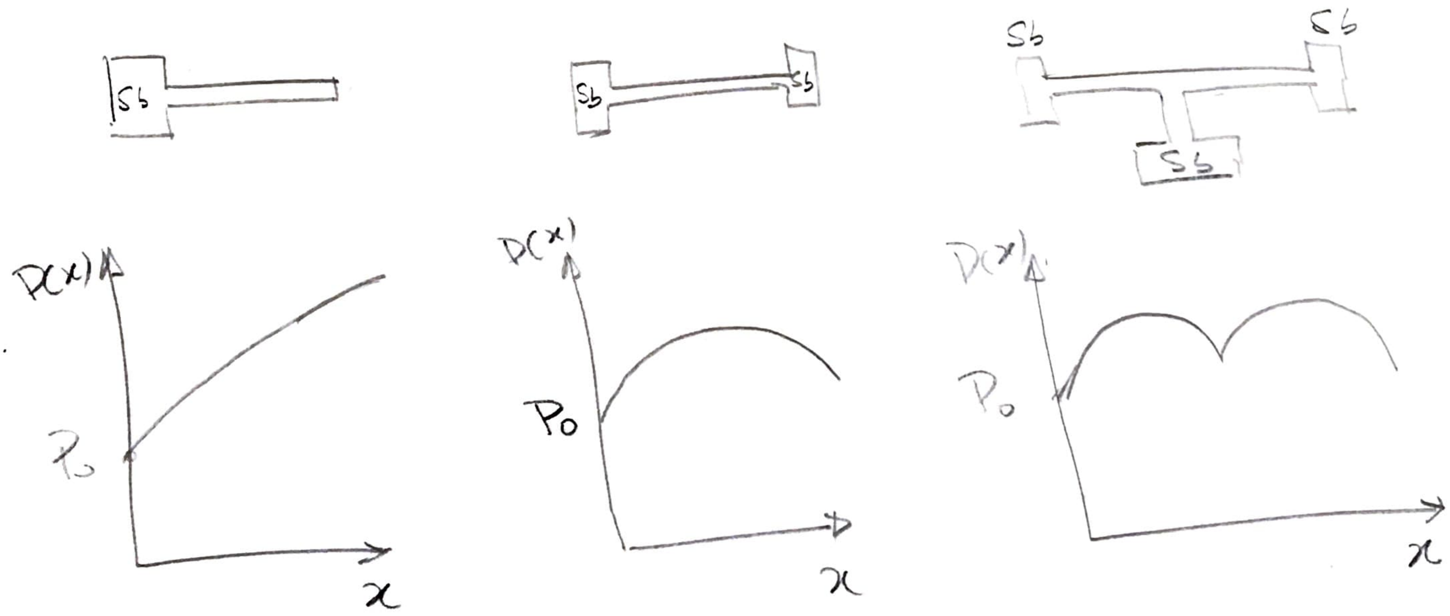
$$\boxed{P_L - P_0 = \frac{q B L}{2C}}$$

Não depende da pressão e nem da velocidade de bombeamento da bomba (S_b)

$$P_0 = \frac{q B L}{S_b}$$

Condições de contorno

$$\begin{cases} \left.\dfrac{dP}{dx}\right)_{x=L} = 0 \\ x = 0 \quad P = P_0 \end{cases}$$



Estudo de Vazamentos

$\left\{ \begin{array}{l} \text{Vazamento real} \\ \text{Vazamento virtual} \end{array} \right.$

Regime viscoso

$$S_{ef} = \frac{S_b \, C_{viscoso}}{S_b + C_{viscoso}} \Rightarrow \boxed{S_{ef} \sim S_{bomba}}$$

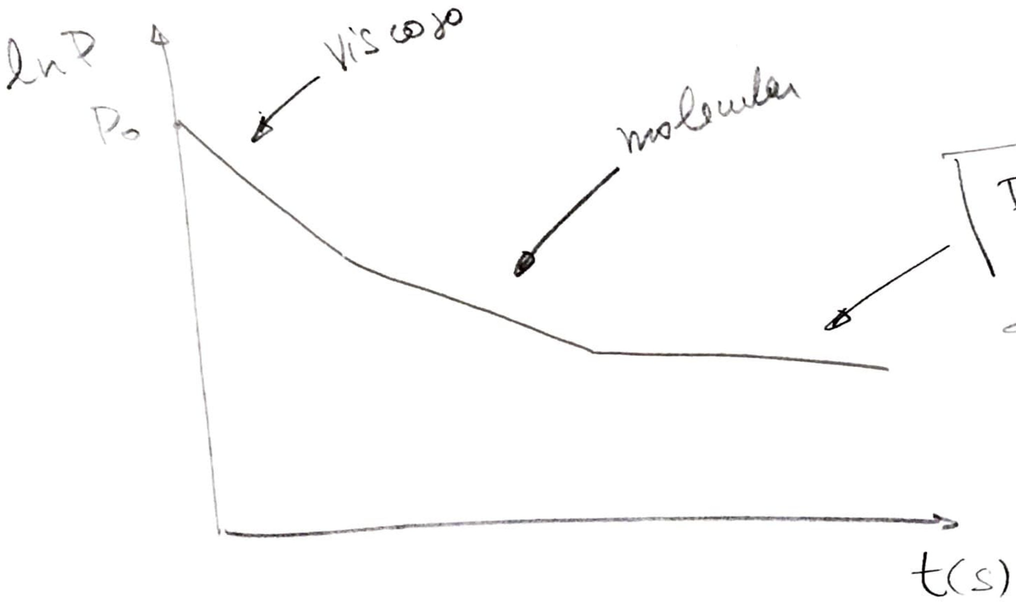
Regime molecular

$$\boxed{S_{ef} = \frac{S_b \, C_{MOLECULAR}}{S_b + C_{MOLECULAR}}}$$

Depende da condutância

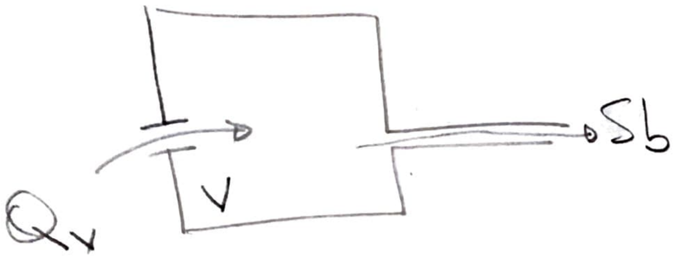
Constante de bombeamento $\boxed{\tau = V/S}$

depende de S, logo



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

Vazamento real



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

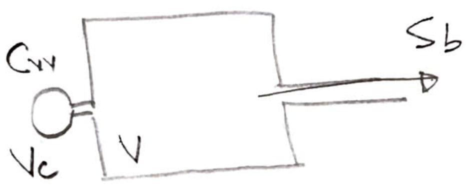
→ pequeno

$$\boxed{P_{ext} \gg P_{int}}$$

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

$$P_{res} = \frac{Q_v}{S} = \frac{C\,P_{ext}}{S} \Rightarrow \boxed{P_{res} = \frac{C_v\,P_{ext}}{S}}$$

Vazamento VIRTUAL



CAVIDADE + ORIFÍCIO PEQUENO

$\equiv$ Vazamento virtual

$$C_{vv} \ll S_b$$

equação geral $\boxed{-V\dfrac{dP}{dt} = PS - \sum_i Q_i}$

Analogamente, podemos escrever

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

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

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

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

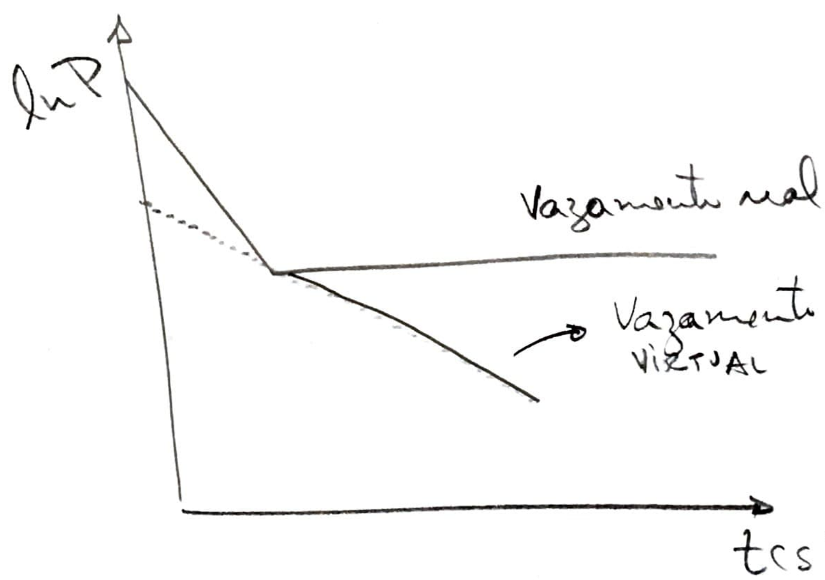
$$\frac{dP_c}{dt} = -\frac{C_{xv} P_c}{V_c} \Rightarrow \text{solução} \quad \boxed{P_c = P_0' e^{-\frac{C_{xv}}{V_c} t}}$$

A pressão residual será $P_{res} = \frac{Q_{vv}}{S}$, então

$$P_{res} = \frac{C_{xx} P_c}{S} \Rightarrow \boxed{P_{res} = \frac{C_{vx}}{S} P_0' e^{-\frac{C_{vv}}{V_c} t}}$$

$\frac{C_{xv}}{S} P_0'$ é cte $\qquad P_0' \sim P_{atm}$

__SLIDE__



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

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

CÁLCULO DE CONDUTÂNCIAS

Dushman

$$Z_{total} = Z_0 + Z_{tubo}$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_0} + \frac{1}{C_t} \qquad \begin{cases} C_0 = 9D^2 \\ C_t = \dfrac{12D^3}{L} \end{cases}$$

N_2, 300K

Regime molecular

Tubos curtos

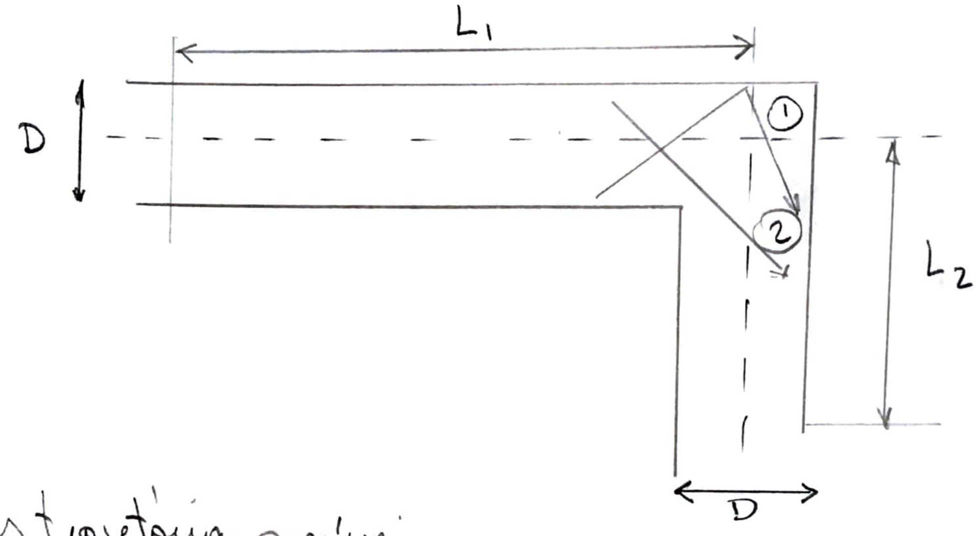
$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{9D^2} + \frac{1}{\frac{12D^3}{L}} = \frac{\frac{12D^3}{L} + 9D^2}{\frac{12D^3}{L} \cdot 9D^2}$$

$$C_T = \frac{12D^3}{L}\left[\frac{9D^2}{9D^2 + \frac{12D^3}{L}}\right]$$ dividido por $3D^2$

$$C_T = \frac{12D^3}{L}\left[\frac{3}{3 + \frac{4D}{L}}\right] = C_{tubo}\left[\frac{1}{1 + \frac{4}{3}\frac{D}{L}}\right]$$

$$\boxed{C_T = \frac{12D^3}{L + \frac{3}{4}D}}$$

COTOVELO



Duas trajetórias possíveis

Trajetória 1:

$$C = \frac{12D^3}{L_1 + L_2 + \frac{4}{3}D} \qquad L = L_1 + L_2$$

Trajetória 2

Não percebe o cotovelo

$$C \simeq \frac{12D^3}{L_1 + L_2}$$

O cotovelo pode ser aproximado por um tubo de diâmetro D e comprimento

$$L_1 + L_2 < L_{COTOVELO} < L_1 + L_2 + \frac{4}{3}D$$

$$\boxed{L_{COTOVELO} = L_1 + L_2 + \frac{4}{3}\frac{\theta}{\pi}D}$$

A. Roth pg 91

CÁLCULO DE ARMADILHAS.

- Armadilha = Proteção do sistema de vácuo

Velocidade de bombeamento de armadilhas

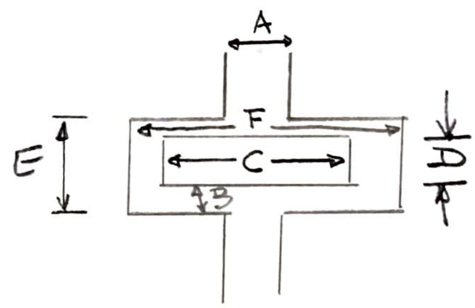
$$\boxed{S \simeq 15\,A\ \ell/s\,cm^2}$$

Coeficiente de adesão (sticking) é 1

Depois entra em equilíbrio

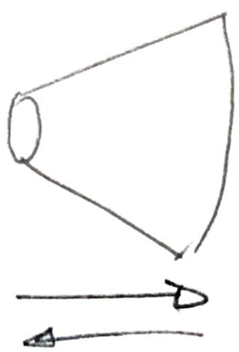
A armadilha pode ser considerada como uma sucessão de dispositivos em série e em paralelo.

EXEMPLO:



A = 10 cm
B = 4 cm
C = 13 cm
D = 25 cm
E = 33 cm
F = 20 cm

A molécula deve encontrar o orifício anular
A molécula deve ter uma trajetória radial



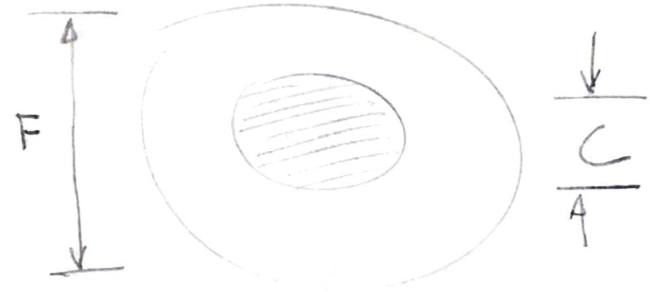
Mesma impedância
Não importa o caminho

① Primeiro trecho

$$C = K\,\frac{4}{3}\,\frac{\bar{v}}{\int^{L} P(\ell)\,d\ell}$$

$P(r) = 2\pi r$

$A(r) = 2\pi r L$



$$C = k\,\frac{4}{3}\,\frac{\bar{\sigma}}{\displaystyle\int_{R_1}^{R_2} \frac{2\pi r\,dr}{(2\pi r L)^2}} = k\,\frac{4}{3}\,\bar{\sigma}\,\frac{1}{\displaystyle\int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{2\pi r L^2}}$$

Substituindo $k = 1$, vem

$$C = \frac{4}{3}\,\bar{\sigma}\,\frac{2\pi L^2}{\displaystyle\int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{r}} \Rightarrow C = \frac{4}{3}\,\bar{\sigma}\,\frac{2\pi L^2}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$$

$L = B = 4\,cm$

$R_1 = 5\,cm$ $(A/2)$

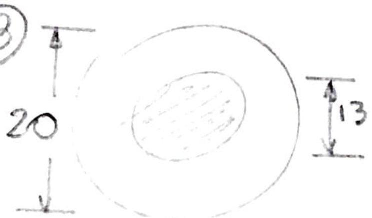
$R_2 = 6{,}5\,cm$ $(C/2)$

$$\boxed{C \sim 24000\ \ell/s}$$

2 $C_{TUBO} = \dfrac{12\,D^3}{L} = \dfrac{12\,(20)^3}{4} = 24000\ \ell/s$

Saindo dessa região a molécula deve encontrar o orifício anular.

3



$C = 9(D_2^2 - D_1^2) = 9(20^2 - 13^2) \sim 2080\ \ell/s$

4 Duto anular

$$C = \frac{12}{L}\left(D_2^3 - D_1^3\right)\left(1 - \frac{D_1}{D_2}\right)$$

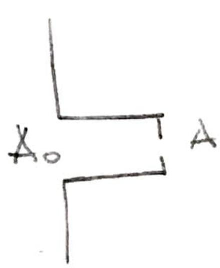
$$C = \frac{12}{25}\left(20^3 - 13^3\right)\left(1 - \frac{13}{20}\right) \sim 975 \; l/s$$

5 Depois as moléculas do gás fazem o caminho inverso ao caminho percorrido na parte superior da armadilha.

6 Abertura circular

$$C = 9D^2 = 9(10)^2 = 900 \; l/s$$

com correção → Condutância de um diafragma



$$\boxed{C_{cf} = 9D^2 \frac{D_0^2}{D_0^2 - D^2}}$$

Devemos aplicar essa correção porque as moléculas estão vindo de uma região com as mesmas dimensões do orifício.

A correção $\frac{D_0^2}{D_0^2 - D^2}$ aumenta a condutância

$$C = 9D^2\left(\frac{D_0^2}{D_0^2 - D^2}\right) = 9(10)^2\left(\frac{20^2}{20^2 - 10^2}\right) \rightarrow \boxed{C = 1200 \; l/s}$$

Finalmente, colocando todas as condutâncias em série

$$\frac{1}{C_T} = \sum_{i=1}^{N} 1/C_i$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{24000} + \frac{1}{2080} + \frac{1}{975} + \frac{1}{24000} + \frac{1}{1200}$$

$$\boxed{C_T = 400 \ l/s}$$

- Considerando o sistema sendo bombeado por uma bomba difusora de 4"

$$S_b = 50\% \ 9D^2 = 460 \ l/s$$

$$S_{ef} = \frac{S_b C}{C + S_b} = \frac{460 \times 400}{460 + 400} \Rightarrow \boxed{S_{ef} = 214 \ l/s}$$

Com N_2 líquido

$$C_{77K} = C_{293} \times \sqrt{\frac{77}{293}} \sim 400 \sqrt{\frac{77}{293}} \sim 205 \ l/s$$

$$S_{ef} = \frac{460 \times 205}{205 + 460} = \boxed{142 \ l/s}$$

Como estimar as pressões de um sistema? (7)

Pela conservação do throughput, temos:

$$Q = S_{ef} \cdot P_{medidor} = S_b \, P_{sistema} = C \Delta P$$

$Q = C \, (P_{medidor} - P_{sistema})$, então

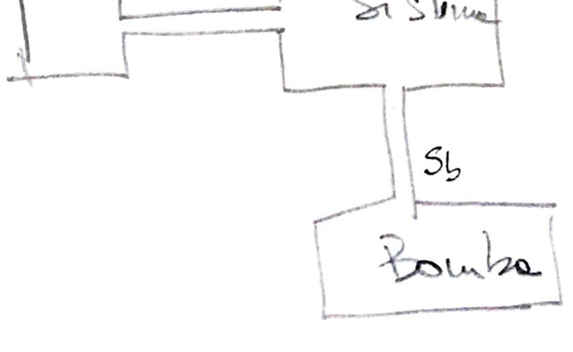
$$S_b \, P_{sistema} = C \, P_{medidor} - C \, P_{sistema}$$

$$(S_b + C) \, P_{sistema} = C \, P_{medidor}$$

$$P_{sistema} = \frac{C \, P_{medidor}}{S_b + C}$$

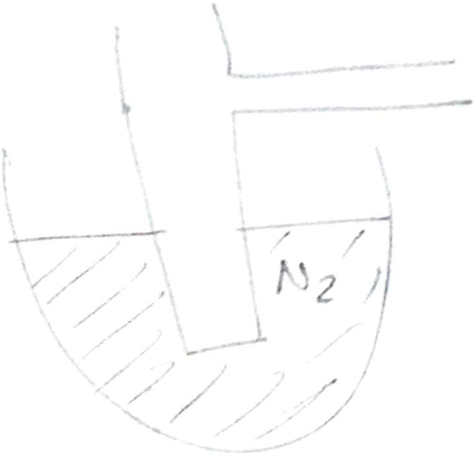
Se $S_b >> C$ então

$$\boxed{P_{sistema} = \frac{C}{S_b} P_{medidor}}$$

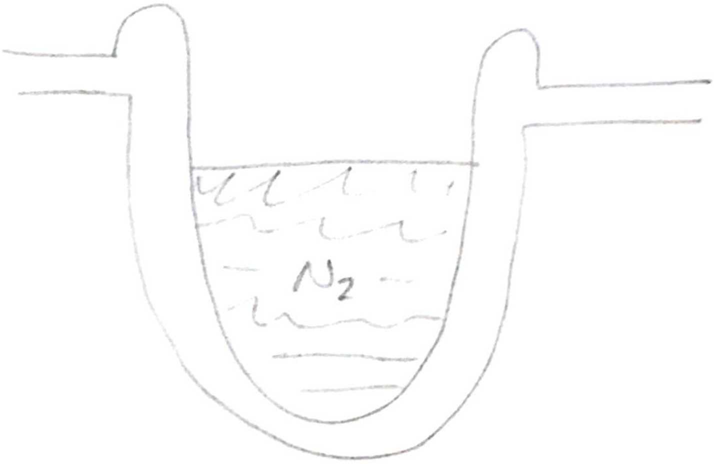


Outros exemplos de armadilha.

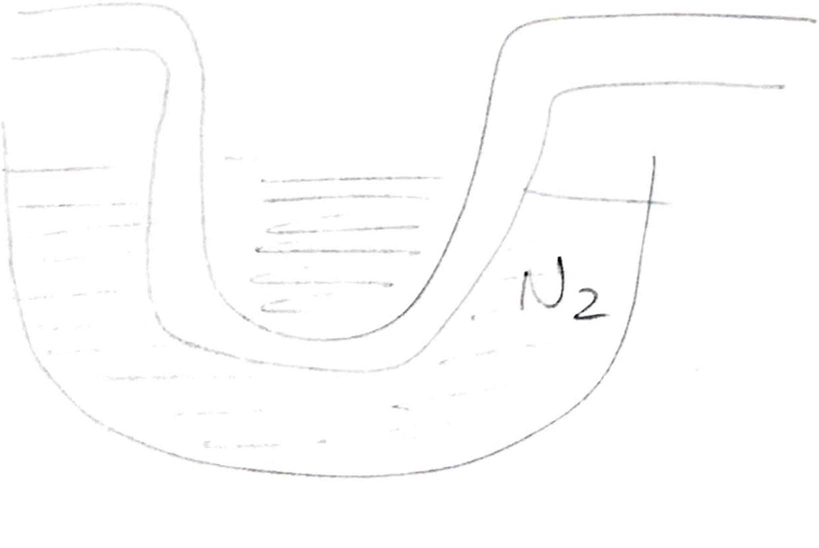
1



2

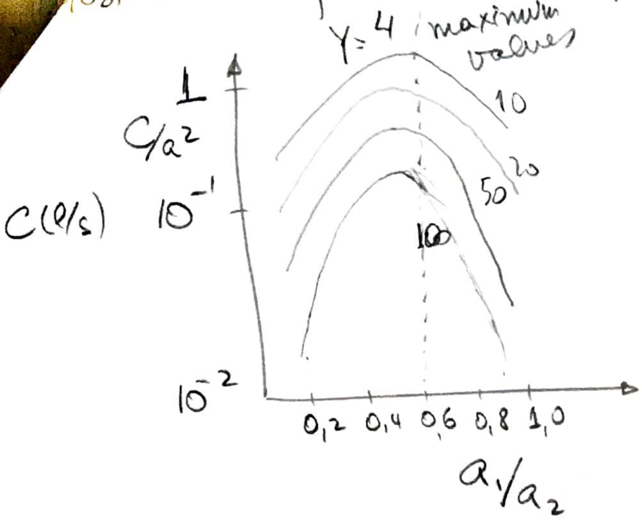


3



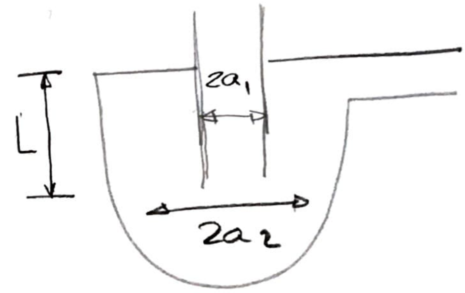
Como dimensionar uma armadilha de N_2 líquido (8)

Mostrar transparência   Roth pag 92



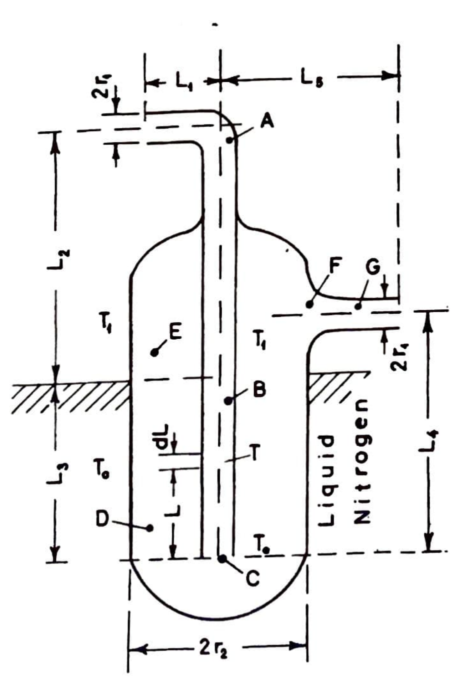
C (l/s)
a_2 (cm)

$$Y = \frac{L}{a_2}$$



Qual a condutância se o trap não estiver totalmente preenchido?

Transparência



Parte	descrição	temperatura
A	catodo	T_1
B	tubo	$T(L)$
C	diafragma	T_0
D	tubo anular	T_0
E	tubo anular	T_1
F	abertura	T_1
G	tubo de saída	T_1

A temperatura do tubo interno deve diminuir linearmente desde T_1 no nível do N_2 líquido até T_0 no final do tubo interno.

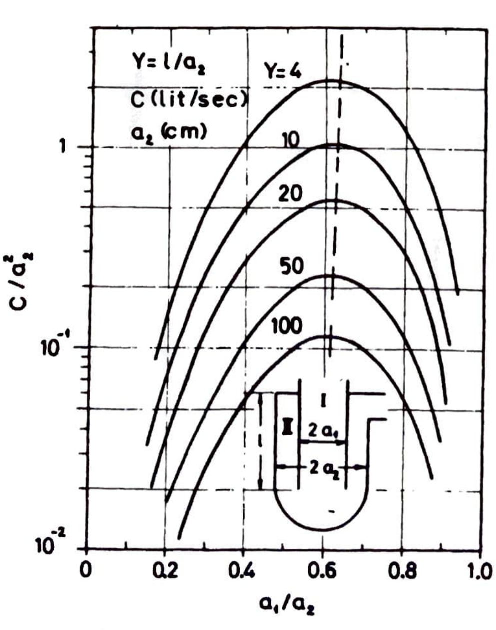
$$T = T_0 + (T_1 - T_0)\frac{L}{L_3}$$

$$T = T_0 + gL \quad \text{onde} \quad g = \frac{T_1 - T_0}{L_3}$$

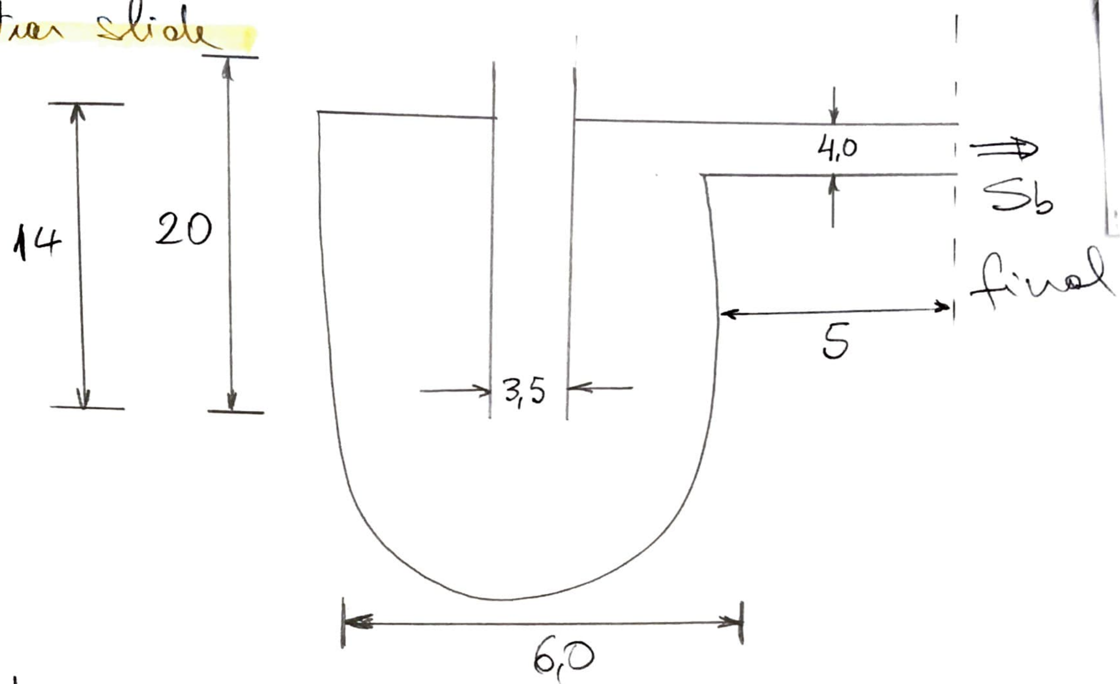
Na parede externa a temperatura é T_0 para $L \leq L_3$ e T_1 para $L > L_3$

Para o cálculo das condutâncias, devem ser consideradas as condutâncias diferentes em função da temperatura.

GAS FLOW AT LOW PRESSURES



Mostrar slide



9

① Duto da boca da armadilha

$$C = \frac{12D^3}{L}$$ Regime molecular

$$C_1 = \frac{12(3,5)^3}{20} \simeq 26 \; l/s$$

$$C_2 = 9(D_2^2 - D_1^2) = 9(6^2 - 3,5^2) \sim 213 \; l/s$$

Orifício anular

A molécula não deve voltar ao tubo de entrada

$$C_3 = \frac{12}{L}(D_2^3 - D_1^3)\left(1 - \frac{D_1}{D_2}\right) = \frac{12}{14}(6^2 - 3,5^2)\left(1 - \frac{3,5}{6,0}\right) \sim 62 \; l/s$$

duto anular

$$C_4 = 9D^2 = 9(4)^2 = 144 \; l/s$$

orifício de saída

$$C_5 = \frac{12D^3}{L} = 12\frac{4^3}{5} = 154 \; l/s$$

duto de saída

$$\boxed{C_T = \sum_{i=1}^{N} 1/C_i}$$

$$\frac{1}{C_T} = \sum_i \frac{1}{C_i} = \frac{1}{26} + \frac{1}{213} + \frac{1}{62} + \frac{1}{144} + \frac{1}{154}$$

$$\boxed{C_T = 14 \; l/s}$$