AULA 14 — Ciência e Tecnologia do Vácuo — 1

- 2022 -

Lista de presença
distribuir lista 4

- Cálculo de condutâncias $\left\{ \begin{array}{l} \text{ARMADILHAS} \\ \text{COTOVELOS} \end{array} \right.$

- Sistemas de Vácuo

Fontes de Gases $\left\{ \begin{array}{l} \text{Permeação} \\ \text{Difusão de gases} \\ \text{Evaporação / vaporização} \\ \text{Desorpção térmica} \\ \text{Adsorção química} \\ \text{Superfícies reais} \end{array} \right.$

—/—

Cálculo de condutâncias

Dushman

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

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_0} + \frac{1}{C_t} \quad \left\{ \begin{array}{ll} C_0 = 9D^2 & N_2 \; 300K \\ C_t = \frac{12D^3}{L} & \text{Regime molecular} \end{array} \right.$$

Tubos curtos

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{9D^2} + \frac{1}{\frac{12D^3}{L}} \Longrightarrow \frac{\frac{12D^3}{L} + 9D^2}{\left(\frac{12D^3}{L}\right) 9D^2}$$

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

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

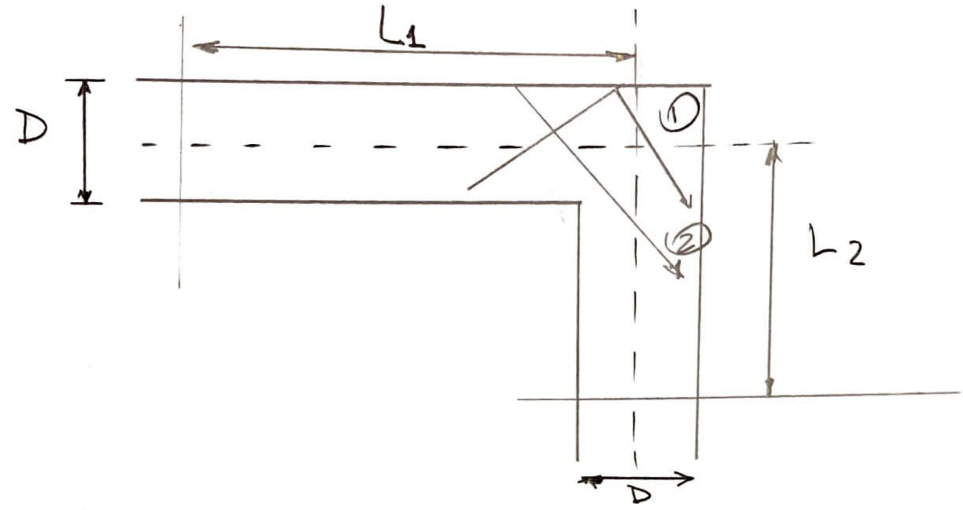
$$C_T = \frac{12D^3}{L}\left[\frac{1}{1+\frac{4}{3}\frac{D}{L}}\right]$$

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

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

$$\therefore \boxed{C_{Total} = \frac{12D^3}{L+\frac{4}{3}D}}$$

CÁLCULO DA CONDUTÂNCIA DE COTOVELOS



DUAS TRAJETÓRIAS POSSÍVEIS

TRAJETÓRIA 1 $\quad C = \dfrac{12 D^3}{L_1 + L_2 + \frac{4}{3} D}$ $\quad \boxed{L = L_1 + L_2}$

TRAJETÓRIA 2 $\quad$ NÃO PERCEBE O COTOVELO

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

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

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

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

A. Roth pag 91

CÁLCULO DE ARMADILHAS

Proteção do Sistema de Vácuo

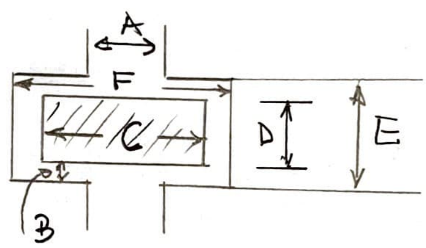
Velocidade de bombeamento da armadilha

$$\boxed{S \simeq 15A \ [\ell/s]}$$

Coeficiente de adesão é 1,0
Depois entra em equilíbrio

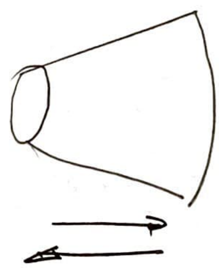
Armadilha: Sucessão de dispositivos em paralelo e série:

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



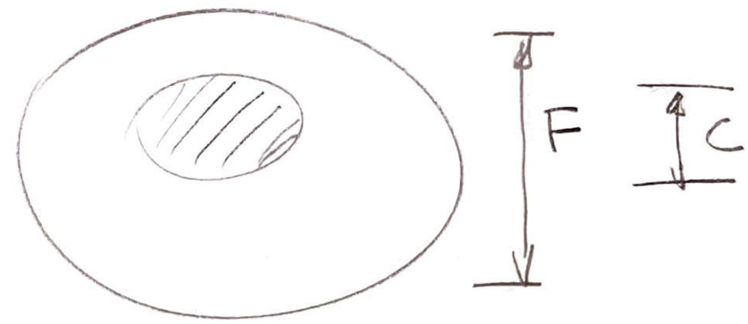
Mesma impedância
Não importa o caminho

① Primeiro trecho

$$\boxed{C = K \frac{4}{3} \frac{\bar{v}}{\int_0^L \frac{P(\ell)\,d\ell}{A^2}}}$$

$P(r) = 2\pi r$

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



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

Substituindo $K = 1$, vem:

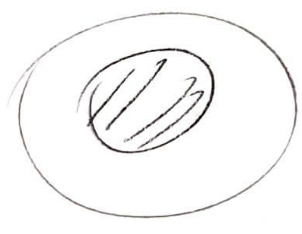
$$C = \frac{4}{3} \bar{v} \frac{2\pi L^2}{\int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{r}} = \frac{4}{3} \bar{v} \frac{2\pi L^2}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \quad \left\{ \begin{array}{l} L = 4\,cm \\ R_1 = 5\,cm \\ R_2 = 6{,}5\,cm \end{array} \right.$$

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

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

Saindo desta região a molécula deve encontrar o orifício anular

(3)



$C = 9(D_2^2 - D_1^2) = 9(20^2 - 13^2)$

$C \simeq 2080\ \ell/s$

4 - Duto Anular

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

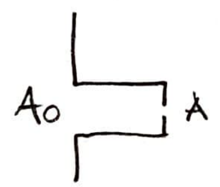
$$C = \frac{12}{25}(20^3 - 13^3)\left(1 - \frac{13}{20}\right) \approx 975\ \ell/s$$

5 Depois as moléculas devem fazer o caminho inverso ao caminho percorrido na parte superior da armadilha

6 abertura circular

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

Condutância de um diafragma



$$C_{ef} = 9D^2 \frac{D_o^2}{D_o^2 - D^2}$$

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

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

$$C = 9D^2\left(\frac{D_o^2}{D_o^2 - D^2}\right) \Rightarrow 9D^2\left(\frac{20^2}{20^2 - 10^2}\right) = 1200\ \ell/s$$

$$\boxed{C = 1200\ \ell/s}$$

Colocando todas as condutâncias em série

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

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

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

Considerando o sistema 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

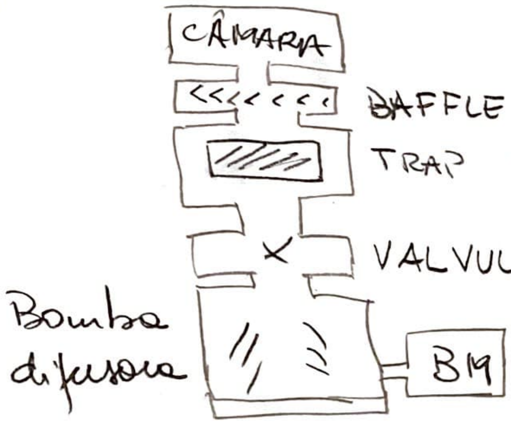
$$C_{77K} = C_{293} \times \sqrt{\frac{77}{293}} \approx 400 \sqrt{\frac{77}{293}} \approx 205 \ l/s$$

$$S_{ef} = \frac{460 \ 205}{460 + 205}$$

$$\therefore \boxed{S_{ef} = 142 \ l/s}$$

Exercício 20 - lista 3

Bomba difusora $D = 3'' \sim 7{,}5\,cm$



TRAP = Abertura anular $\begin{cases} L = 30\,cm \\ D_1 = 16\,cm \\ D_2 = 20\,cm \end{cases}$

ⓐ Calcule: Sef da BD na boca do sistema sem N_2

$S_{BD} \sim 50\%\, C_o = 4{,}5\, D^2$ condutância do orifício

$S_{BD} \sim 4{,}5(7{,}5)^2 = 253\, \ell/s$

3 impedâncias em série

Válvula + trap + baffle

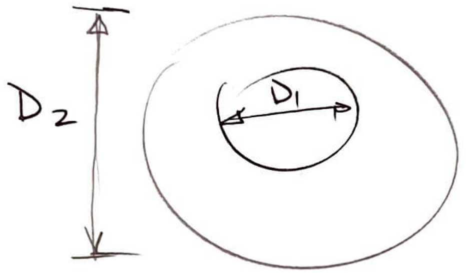
$C_{VALVULA} = \dfrac{12D^3}{L} \quad \begin{cases} L = 5\,cm \\ D = 8\,cm \end{cases}$

$C_{VÁLVULA} = \dfrac{12(8)^3}{5} \sim 1228\, \ell/s$

$C_{BAFFLE} = 500\, \ell/s$

$C_{armadilha} = ?$

$\boxed{S_{ef} = ?}$



$$\begin{cases} D_1 = 16 \text{ cm} \\ D_2 = 20 \text{ cm} \\ L = 30 \text{ cm} \end{cases}$$

$$C = 9\,(D_2^2 - D_1^2)$$

$$C = 9\,(20^2 - 16^2) = 1296 \ \ell/s \quad \text{abertura anular}$$

$$C_{\text{duto anular}} = \frac{12}{L}\,(D_2^3 - D_1^3)\left(1 - \frac{D_1}{D_2}\right)$$

$$C_{\text{duto anular}} = \frac{12}{30}\,(20^3 - 16^3)\left(1 - \frac{16}{20}\right) = 312 \ \ell/s$$

$$\frac{1}{C_{total}} = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{C_i} = \text{Válvula} + \text{baffle} + \text{abertura anular} + \text{duto anular}$$

$$\frac{1}{C_{total}} = \frac{1}{1228} + \frac{1}{500} + \frac{1}{1296} + \frac{1}{312}$$

$$\boxed{C = 147 \ \ell/s}$$ sem nitrogênio líquido

$$S_{ef} = \frac{S_b \times C}{S_b + C} = \frac{253 \times 147}{147 + 253} = 93 \ \ell/s$$

Calcule S_{ef} na boca do sistema com N_2 líquido

O N_2 líquido atua apenas na armadilha

$$C \propto \sqrt{T}$$

$$\frac{C_{293}}{C_{77}} = \frac{\sqrt{293}}{\sqrt{77}} \simeq 1,95 \qquad \frac{C_{77}}{C_{293}} \sim 0,5$$

Ou seja a condutância cai pela metade

abertura anular $1296\ \ell/s \longrightarrow 661\ \ell/s$

tubo anular $312\ \ell/s \longrightarrow 159\ \ell/s$

Então:

$$\frac{1}{C_{TOTAL}} = \sum_i \frac{1}{C_i} = \frac{1}{1228} + \frac{1}{500} + \frac{1}{661} + \frac{1}{159}$$

$$\boxed{C_T = 94\ \ell/s}$$

$$S_{ef} = \frac{S_b C}{C + S_b} = \frac{253 \times 94}{94 + 253} \Longrightarrow \boxed{S_{ef} = 68\ \ell/s}$$

Admitimos a conservação do throughput

$\Rightarrow$ A eficiência da Bomba Difusora diminui

(c) Aplicado a uma câmara de $D = 30\ cm$ com pressão de operação $P = 10^{-6}$ Torr, qual pode ser a máxima taxa de desgaseificação dessa câmara para se manter essa pressão em 10^{-6} Torr?

$$Q = PS = 10^{-6} \times 68$$

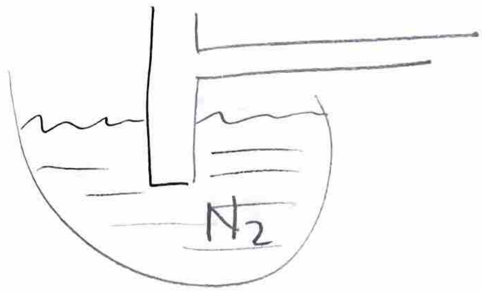
$$\therefore Q = 6{,}8 \times 10^{-5} \ \frac{Torr\ \ell}{s}$$

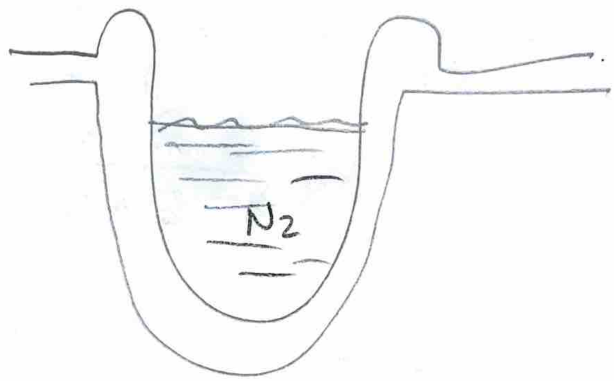
$D = 30\ cm$ $\qquad A = 4\pi R^2 = 2826\ cm^2$

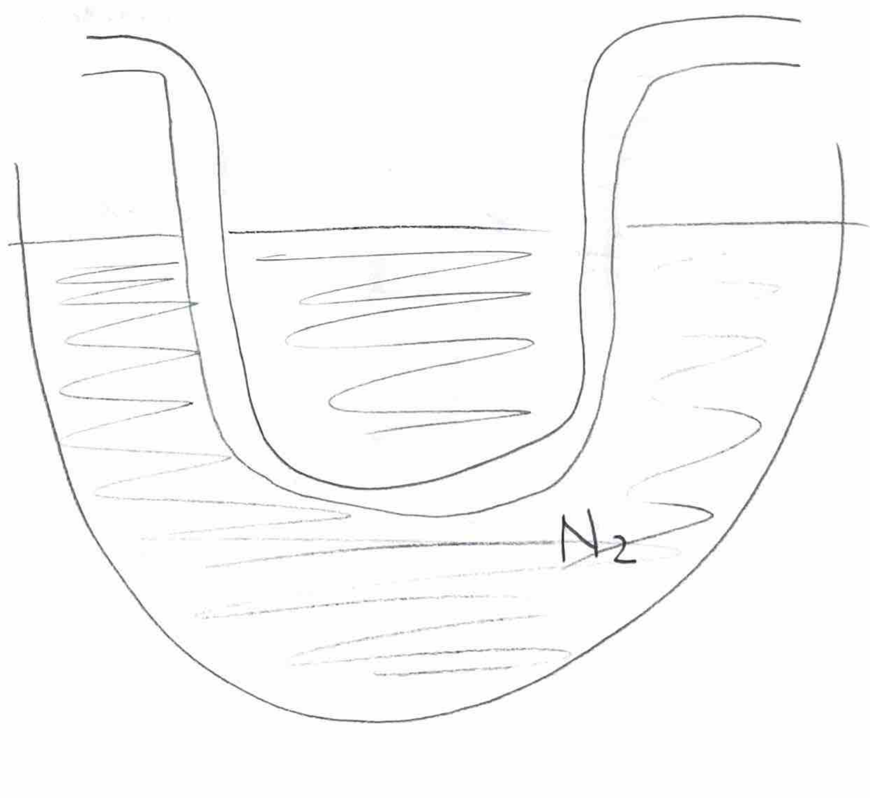
$$q = \frac{Q}{A} \qquad q = \frac{6{,}8 \times 10^{-5}}{2826} \ \frac{Torr\ \ell}{cm^2\ s}$$

$$\therefore \boxed{q = 2{,}5 \times 10^{-8} \ \frac{Torr\ \ell}{s\ cm^2}}$$

Exemplos de armadilhas

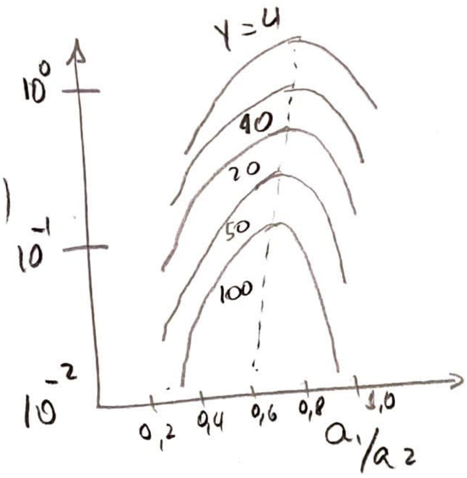
1


2


3


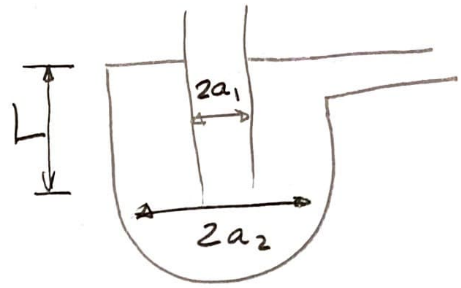
Como dimensionar uma armadilha de N_2 líquido

SLIDE



C (l/s)
a_2 (cm)

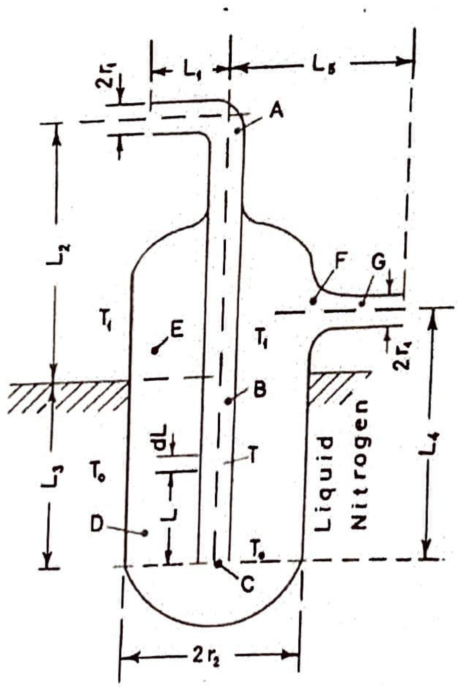
$$Y = \frac{L}{a_2}$$



Roth pag 92

Qual a condutância se o trap não estiver totalmente preenchido?

<u>slide</u>



Parte	descrição	temperatura
A	cotovelo	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

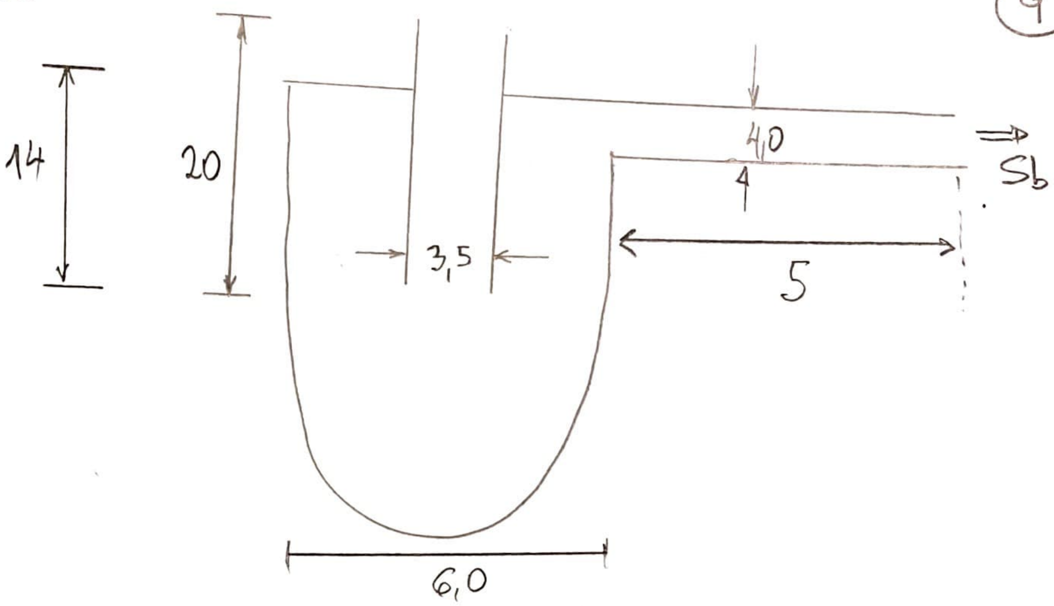
$$T = T_0 + (T_1 - T_0)\frac{L}{L_3}$$

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

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 mostrar slide

9



① Duto da boca da armadilha

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

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

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

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

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

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

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

Como estimar as pressões de um sistema de vácuo?

Pela conservação do throughput, temos:

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

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

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

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

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

se $S_b \gg C$ então

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