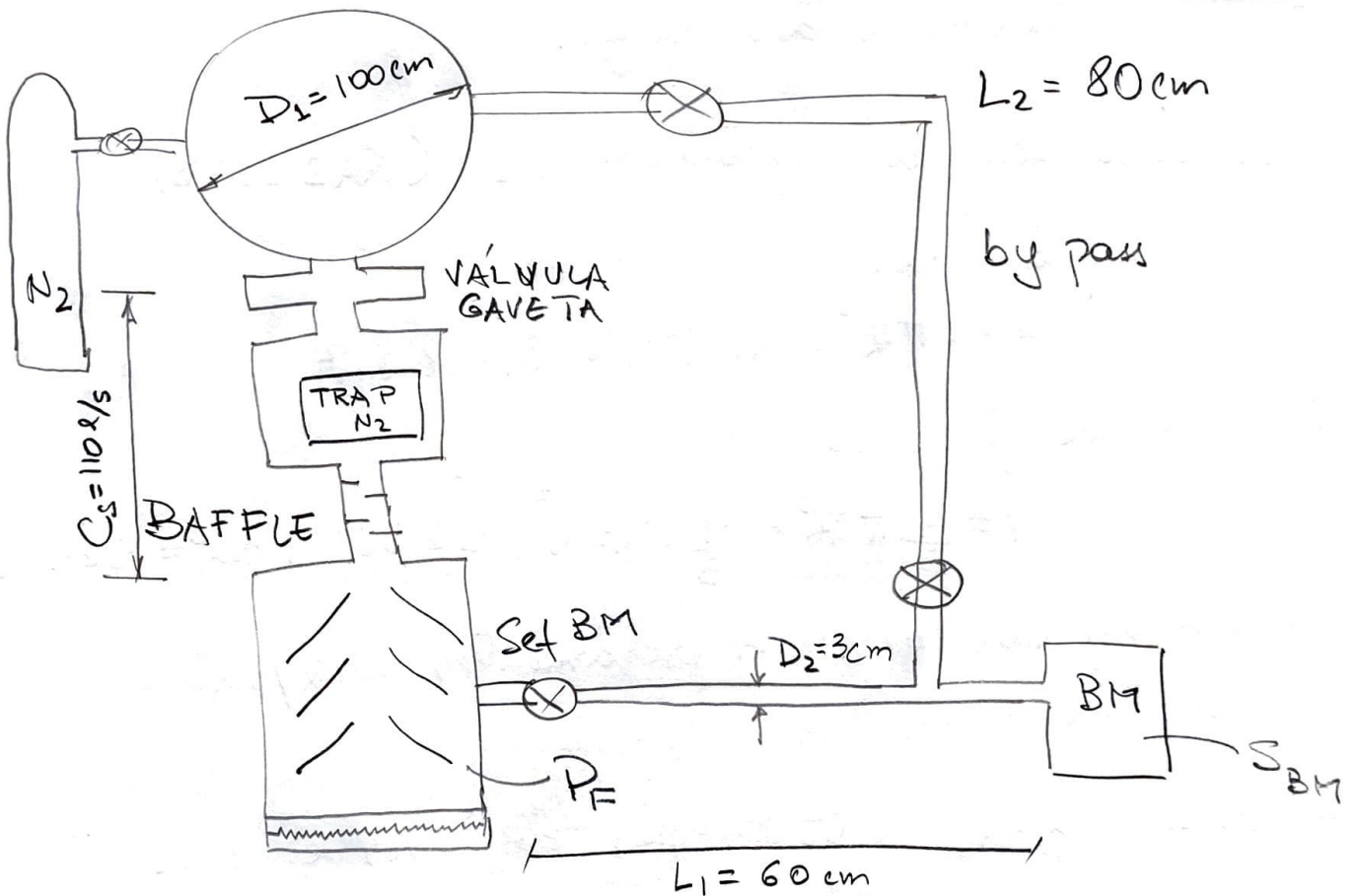


Sistemas de Vácuo



A câmara de vácuo com  $D = 100\text{cm}$  deve ser operada em pressões  $P \approx 6 \times 10^{-7}$  Torr, após 24 horas de bombeamento

- Sistema todo de metal

De vez em quando  $N_2$  é injetado até a pressão do sistema atingir  $P = 10^{-3}$  Torr, sem estranhar o sistema.

Pressão para o início da operação da bomba difusora  $P_F \approx 2 \times 10^{-1}$  Torr

Considere que a condutância entre a entrada da bomba difusora (BD) e a entrada da câmara seja  $C_S \equiv 110$  l/s

Problema a resolver:

Determinar  $S_{BD}$  e  $S_{BM}$

Elaborar hipóteses adicionais

Ⓐ Cálculo sem a injeção de  $N_2$  (GAS LOAD)

Área da câmara

$$A = 4\pi R^2 = 4\pi (50)^2 = 31416 \text{ cm}^2$$

Volume da câmara

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi (50)^3 = 523599 \text{ cm}^3 = 524 \text{ l}$$

Supondo que não existam vazamentos real/virtual na pressão de trabalho desejada.

A desgaseificação (DESORÇÃO TÉRMICA) é de ordem de  $q = 10^{-9} \frac{\text{Torr l}}{\text{s cm}^2}$ , para metal após algumas horas de bombeamento (sem aquecimento)

$$Q = 10^{-9} \times A (\text{cm}^2) \left( \frac{\text{Torr l}}{\text{s cm}^2} \right)$$

$$Q_{\text{deg}} \approx 10^{-9} (31416) \sim 3 \times 10^{-5} \frac{\text{Torr l}}{\text{s}}$$

$$P_{res} = \frac{\sum Q_i}{S_{ef BD}} \Rightarrow S_{ef} = \frac{3 \times 10^{-5}}{6 \times 10^{-7}} \frac{\text{Torr} \cdot \text{l}}{\text{s} \cdot \text{Torr}} \quad (2)$$

$$\therefore \boxed{S_{ef} = 50 \text{ l/s}}$$

CÁLCULO DE  $S_{BD}$

$$S_{ef BD} = \frac{S_{BD} \times C_s}{S_{BD} + C_s}$$

$$S_{BD} = \frac{S_{ef BD} \cdot C_s}{C_s - S_{ef BD}}$$

$$\therefore S_{BD} = \frac{50 \times 110}{110 - 50}$$

$$\boxed{S_{BD} = 92 \text{ l/s}}$$

## OBSERVAÇÕES:

A condutância do sistema ( $G_s$ ) é a condutância total entre a "boca" da BD e a boca do sistema.  
⇒ As condutâncias devem ser calculadas antes de finalizar o projeto do sistema

O próximo passo é calcular a velocidade de bombeamento da bomba mecânica ( $S_{BM}$ )

Para isso, devemos estimar a  $S_{ef\ BM}$

Devemos levar em conta o throughput de desgasificação da câmara ⇒  $Q = 3,5 \times 10^{-5} \frac{\text{Torr l}}{\text{s}}$

## Atenção

Nesse sistema hipotético,  $N_2$  será injetado até a pressão atingir  $10^{-3}$  Torr, ou seja:

$$Q_{injeção\ N_2} = S_{ef\ BD} \times P_{injeção} = 50 \times 10^{-3} = 5 \times 10^{-2} \frac{\text{Torr l}}{\text{s}}$$

Isso significa que  $Q_{injeção\ N_2} \sim 1000 Q_{degas}$  !!

Portanto, a bomba mecânica deve ser dimensionada para suportar esse throughput.

Cálculo de  $S_{BM}$  considerando a injeção de  $N_2$  (3)

$$P_{\text{sistema}} = 10^{-3} \text{ Torr}$$

Supondo que  $S_{BD}$  e  $S_{BM}$  sejam constantes na faixa de trabalho, temos:

$$Q_{N_2 \text{ injetado}} = P_S \times S_{\text{efBD}} = 10^{-3} \times 50 = 5 \times 10^{-2} \frac{\text{Torr l}}{\text{s}}$$

Para o cálculo da velocidade da bomba mecânica ( $S_{BM}$ ) devemos considerar a conservação do throughput

$$\therefore \boxed{Q_1 = Q_2}$$

Então,

$$P_S S_{\text{efBD}} = P_F S_{\text{efBM}}$$

$$10^{-3} \times 50 = 2 \times 10^{-1} S_{\text{efBM}}$$

$$\text{Logo: } S_{\text{efBM}} \approx 0,25 \text{ l/s} \Rightarrow$$

$$\boxed{15 \text{ l/min}}$$

Com isso, vemos que para manter o sistema operando, mesmo com a adição de throughput de injeção de  $N_2$ , precisamos de uma bomba mecânica de pequena porte.

Isso ocorre porque na conservação do throughput a bomba mecânica trabalha em pressões mais altas. ( $10^{-1} \text{ Torr}$ )

A partir de  $S_{\text{efBM}}$  podemos calcular  $S_{BM}$

© Temos que verificar um ponto pendente!

A bomba mecânica é usada também, através do "bypass", para levar o sistema desde a pressão atmosférica até  $\sim 10^{-1}$  Torr para poder abrir a válvula da bomba difusora (BD)

Cálculo do tempo de bombeamento

$$P = P_0 e^{-\frac{S}{V}t} \quad \ln P - \ln P_0 = -\frac{S}{V}t$$

$$\therefore t = \frac{V}{S} \ln \frac{P_0}{P}$$

Substituindo

$$t = \frac{525}{0,25} \ln \frac{700}{10^{-1}}$$

$$t = 5,2 \text{ horas}$$

Esse tempo é inaceitável!!

⓪ A escolha da bomba mecânica (BM) vai depender se é necessário abrir o sistema de vácuo várias vezes ou não.

- Se o sistema não for aberto constantemente

Podemos usar uma outra bomba de maior porte, cuja velocidade de bombeamento depende do tempo de esprea, escolhido pelo pesquisador, para levar o sistema desde a pressão atmosférica até

$$P_F = 10^{-1} \text{ Torr.}$$

Só a partir dessa pressão podemos ligar a bomba difusora e também abrir o sistema para a bomba difusora em funcionamento.

Para a operação do sistema recolocamos a BM de menor porte. Entretanto, isso não é usual.

- Se o sistema for aberto algumas vezes, devemos imaginar que a câmara vai estar na pressão atmosférica (entrada de ar) e a válvula gaveta vai estar fechada. Logo, o restante do sistema vai continuar operando.

Nessa situação, a câmara será evacuada da pressão atmosférica até  $10^{-1}$  Torr. Só a partir dessa pressão podemos abrir a válvula gaveta e continuar a operação.

Logicamente, podemos usar a solução anterior, ou seja, colocar uma outra bomba de maior porte para reduzir a pressão da câmara. Neste caso, devemos projetar uma entrada adicional, com uma válvula para essa outra bomba.

Esta solução também não é usual?!

⇒ Alguns "leak detectors" têm uma bomba mecânica adicional

## ⑤ Utilização do aqualho (by pass) (DESVIO)

Em geral, utiliza-se a mesma bomba mecânica, seja para a operação do sistema BD+BP, seja para fazer o pré-vaçuo 700 Torr  $\rightarrow$  10<sup>-1</sup> Torr. Neste caso, é possível uma ramificação adicional que liga a bomba mecânica (BP) à câmara de vácuo. Nesta situação, existe um tempo limite.

Quando o sistema for aberto na pressão atmosférica a válvula acima da armadilha deve ser fechada. Portanto, todo o sistema continua operando (é o quente na BD).

Quando o sistema for fechado, a câmara deve ser bombeada até 10<sup>-1</sup> Torr, para poder abrir a válvula quente. Dessa forma, o é o quente da BD não ficará exposto à pressões altas.

Esse bombardeio é feito pela bomba mecânica. Com isto, deve ser fechada a válvula de comunicação entre a BP e a BD. Utilizamos o "by-pass".

A bomba difusora fica por um tempo sem bombardeio da bomba mecânica.

O tempo máximo para a BD ficar sem o bombardeio da BP é de até 30 minutos !!



Finalmente, podemos calcular  $S_{BM}$

5

$$P = P_0 e^{-\frac{S}{L}t} \quad \text{Supondo } t = 30 \text{ min} = 1800 \text{ s}$$

$t = 30 \text{ min}$  também é, aproximadamente, o tempo para esquentar o óleo da BD.

$$t = \frac{V}{S} \ln \frac{P_0}{P} \implies S_{el} = \frac{525}{1800} \ln \frac{700}{10^{-1}}$$

$$\therefore \boxed{S_{el \text{ BM}} = 2,6 \text{ l/s} \equiv 155 \text{ l/min}}$$

6 **Cálculo da condutância do leg. por.**

$$\begin{cases} D = 3 \text{ cm} \\ L = 80 \text{ cm} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} P_0 &= 700 \text{ Torr} \\ P &= 10^{-1} \text{ Torr} \end{aligned}$$

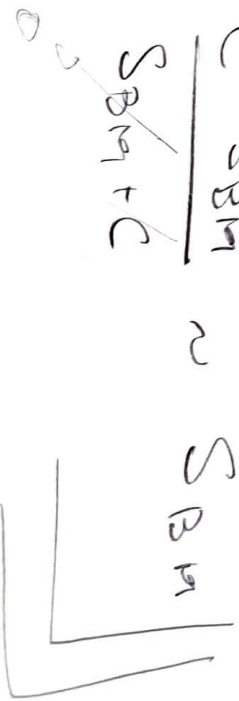
Limite do regime viscoso  $D\bar{P} = 1$   $\bar{P} = \frac{1}{3} = 3 \times 10^{-1} \text{ Torr}$

Condutância no regime viscoso entre 700 e  $10^{-1} \text{ Torr}$

$$C = 180 \frac{D^4 \bar{P}}{L} = \frac{180 D^3 D \bar{P}}{L} = \frac{180 (3)^3}{80} \times 1 \approx 61 \text{ l/s}$$

$$\therefore C \gg S_{el \text{ BM}} \text{ então } S_{BM} \approx S_{el \text{ BM}}$$

$$S_{el \text{ BM}} = \frac{C S_{BM}}{S_{BM} + C} \approx S_{BM}$$



#### 4) Cálculo da $S_{BM}$ na traçaria da BD

- Pré-vácuo inicial
- Condutâncias grandes

$$S_{ef\ BM} \sim 2,6 \text{ l/s}$$



Qual a velocidade de bombeamento de bombe mecânica  $S_{BM}$ ?

Supondo  $\left\{ \begin{array}{l} D = 3 \text{ cm} \\ L = 60 \text{ cm} \end{array} \right.$

tubo que liga  
BD à BM

$$C = \frac{12D^3}{L} = \frac{12(3)^3}{60} \approx 5,4 \text{ l/s}$$

Regime  
molecular

$$S_{BM} = \frac{2,6 \times 5,4}{5,4 - 2,6} \sim 5,0 \text{ l/s}$$

$$S_{BM} = 300 \text{ l/min}$$

ou

$$S \sim 20 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Vamos calcular qual é o regime de escoamento, na pior das hipóteses.

$$D\bar{P} = 3 \times 10^{-1} = 0,3 \text{ Torr cm} \equiv \text{Regime intermediário}$$

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

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

então,  $C_{int} = \underbrace{5,0}_{\text{Cond. regime molecular}} \left( 0,074 \times \frac{3}{5 \times 10^{-2}} + 1 \right) = 27 \text{ l/s}$

Finalmente,

$$S_{BM} = \frac{S_{efBM} \times C}{C - S_{efBM}}$$

$$S_{BM} = \frac{2,6 \times 27}{27 \times 2,6} = 2,8 \text{ l/s} \therefore S_{BM} = 172 \text{ l/min}$$

Podemos comparar uma bomba mecânica entre os dois valores calculados

Sugestão:  $S_{BM}$  entre 5,0 l/s e 2,8 l/s

$$S_{BM} = 4,0 \text{ l/s} \Rightarrow S_{BM} = 240 \text{ l/min}$$

(I) Calculando o tempo de escoamento da câmara pelo by-pass.

$$t = \frac{V}{S} \ln \frac{700}{10^{-1}} = \frac{525}{4,0} \ln \frac{700}{10^{-1}}$$

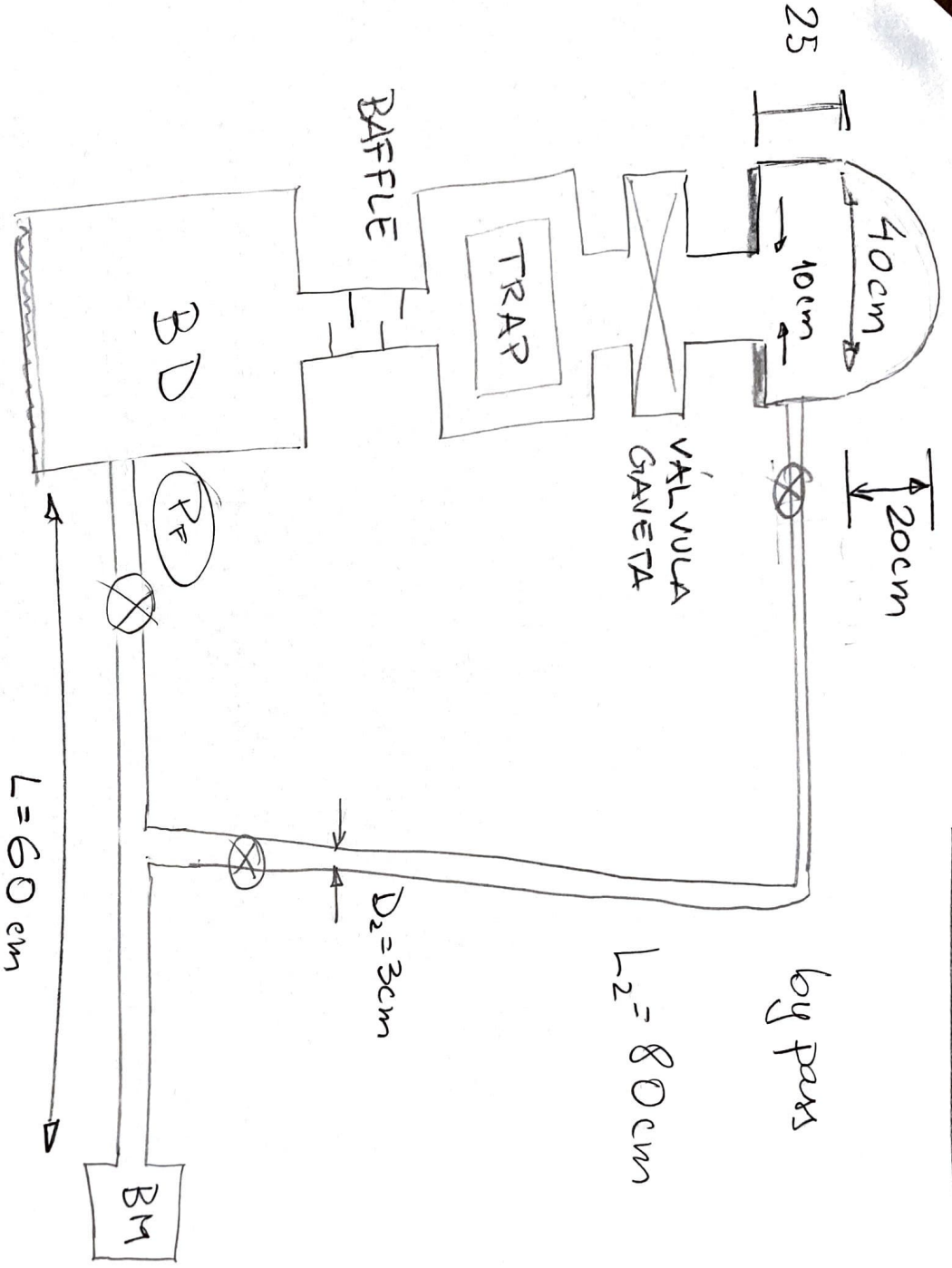
$$| t \approx 20 \text{ min} |$$

(J) Assim, uma bomba de  $S = 240 \text{ l/min}$  satisfaz os requisitos.

(K) Nem sempre tem no mercado bombas mecânicas e/ou difusoras ou turbomoleculares com as velocidades de bombeamento que foram calculadas. Mas, é possível comprar aquela que mais se aproxima das exigências do seu sistema !!

Resposta para o item 7

Considere o sistema



Pressão de trabalho  $P = 10^{-6}$  Torr

Campânula de Mild steel com base de metal  
(aço macio)

$q_{\text{aço}} = 10^{-8} \frac{\text{Torr} \cdot \text{cm}^2}{\text{s}}$  Chromium plated polished

$q_{\text{metal}} = 10^{-9} \frac{\text{Torr} \cdot \text{cm}^2}{\text{s}}$

Pressão na flange da BD  $P_f = 10^{-1}$  Torr

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

tempo para fazer pré-vácuo 20 min

Pergunta: Qual o valor de  $S_{BD}$  e  $S_{BM}$