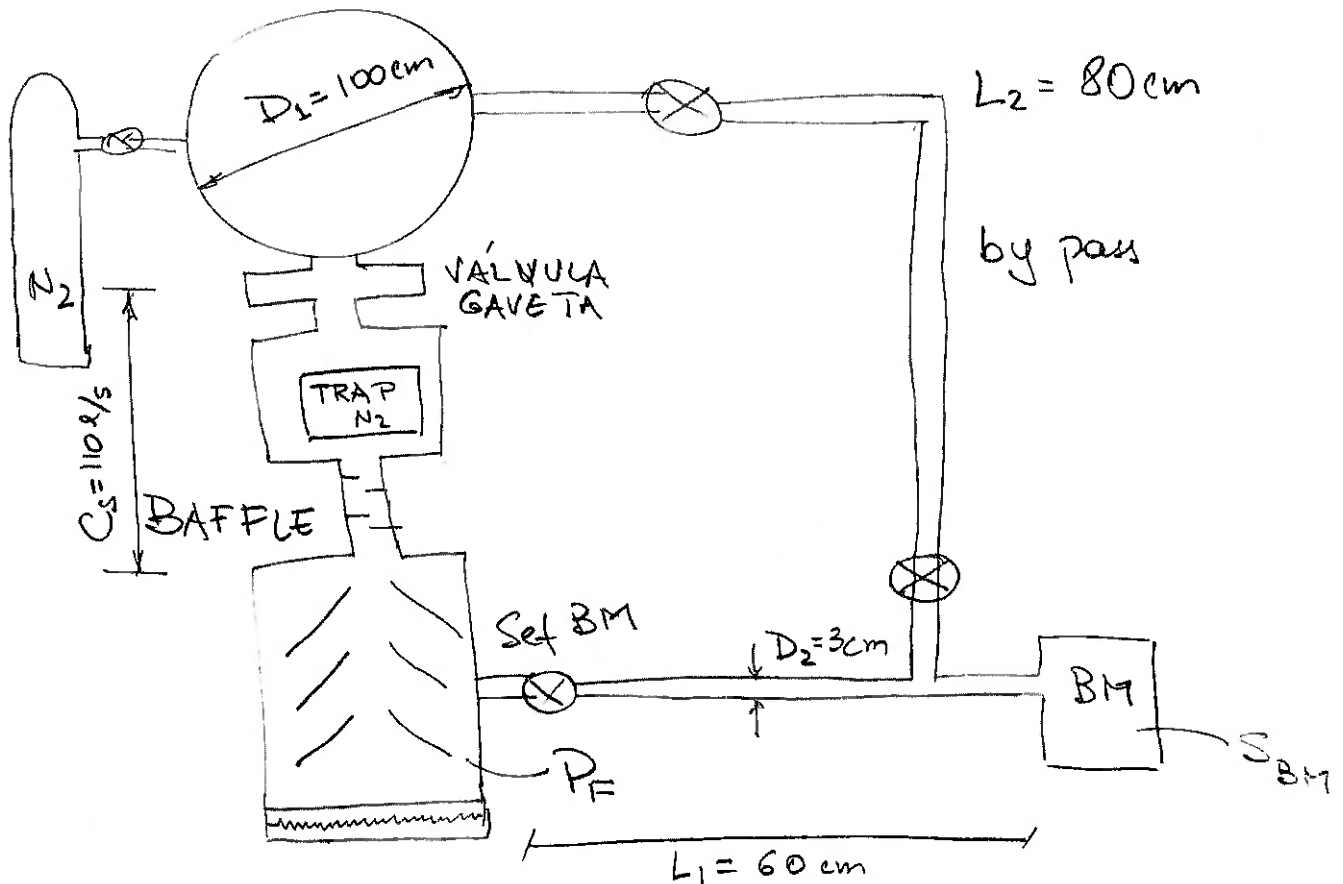


Sistemas de Vácuo



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

- Sistema todo de metal

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

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

Considere que a condutância entre a entrada da bomba difusora (BD) e a entrada da câmara seja $C_s \approx 110 \text{ l/s}$

Problema a resolver:

Determinar S_{BD} e S_{B19}

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)

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

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

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

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

CÁLCULO DE S_{BD}

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

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

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

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

OBSERVAÇÕES:

A condutância do sistema (G_s) é a condutância total entre a "boca" da BD e a boca do sistema.
 \Rightarrow 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 $\Rightarrow Q = 3,5 \times 10^{-5} \frac{\text{Torr l}}{\text{s}}$

Notação

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

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

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

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

3) 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:

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

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

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

Então,

$$P_s S_{fBD} = P_f S_{fBM}$$

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

$$\text{logo: } S_{fBM} \sim 0,25 \text{ l/s} \Rightarrow \boxed{15 \text{ l/min}}$$

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 pequeno porte.

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

A partir de S_{fBM} podemos calcular S_{fM}

© 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

$$t = \frac{525}{0,25} \ln \frac{760}{10^{-1}}$$

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

Esse tempo é inaceitável!!

① 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 espessa, 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.

Essa solução também não é usual!!

⇒ Alguns "leak detectors" têm uma bomba mecânica adicional

⑤ Utilização do atallo (by pass) (DESVIO)

Em geral, utiliza-se a mesma bomba mecânica, seja para a operação do sistema BD+BM, seja para fazer o pró-vácuo $700 \text{ Torr} \rightarrow 10^{-1} \text{ Torr}$

Neste caso, é projetada uma ramificação adicional que liga a bomba mecânica (BM) à câmara de vácuo. Nesta situação, existe um tempo limite.

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

Quando o sistema for fechado, a câmara deve ser bombeada até 10^{-1} Torr , para poder abrir a válvula gaveta. Dessa forma, o óleo quente da BD não ficará exposto à pressões altas.

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

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

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

(5)

F) Finalmente, podemos calcular S_{BM}

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

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

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

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

G) Cálculo da condutância do Hg por.

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

$$P_0 = 700 \text{ Torr}$$

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

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

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

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

$$\therefore C \gg S_{ef, BM} \text{ então } S_{BM} \sim S_{ef, BM}$$

$$S_{ef, BM} = \frac{C S_{BM}}{S_{BM} + C} \sim S_{BM}$$

4) Cálculo da S_{BM} na transição da BD

- Pré-vácuo inicial
- Condutâncias grandes

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



Qual a velocidade de bombeamento da bomba mecânica S_{BM} ?

Supondo $\begin{cases} D = 3 \text{ cm} \\ L = 60 \text{ cm} \end{cases}$

tubo que liga
BD à BM

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

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

$$\left[S \sim 20 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

(6)

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

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

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

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

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,

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

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

Podemos comprar uma bomba mecânica entre os dois valores calculados

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

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

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

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

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

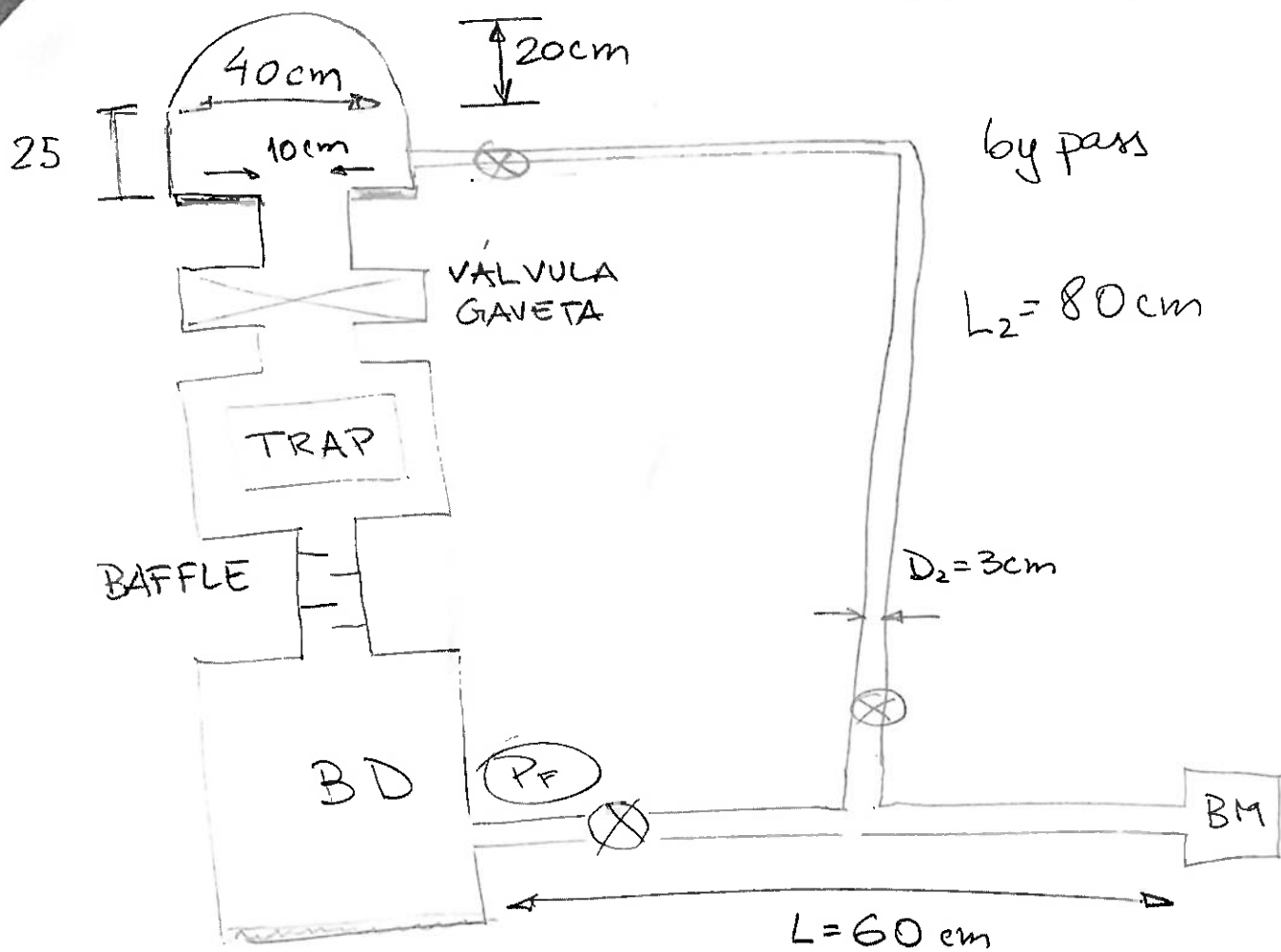
- (J) Assim, uma bomba de $S = 240 \text{ l/min}$ Satisfaz os requisitos.

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

Tempo para o lar

(7)

Considere o sistema



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

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

$q_{aço} = 10^{-8} \frac{\text{Torr l}}{\text{scm}^2}$ chromium plated polished

$q_{\text{metal}} = 10^{-9} \frac{\text{Torr l}}{\text{scm}^2}$

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

$D_1 = D_2 = 3 \text{ cm}$ $L_1 = 60 \text{ cm}$ $L_2 = 80 \text{ cm}$

tempo para fazer pró-vácuo 20 min

Perguntas: Qual o valor de S_{BV} e S_{BM}

