



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Instituto de Física

CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO VÁCUO

4300323

1º SEMESTRE DE 2020

Prof. Nilberto Heder Medina
Prof. Vitor Ângelo Paulino de Aguiar
Prof. Saulo Gabriel Alberton
Técnico do Laboratório: Alvimar Floriano de Souza

Experiência I

Neste experimento serão calibrados os medidores termosensíveis: Pirani, Termopar e Thermistor a partir do medidor absoluto de pressão Kammerer (McLeod + Tubo em U).

- Identificar todos os componentes do sistema de vácuo: bombas, medidores e válvulas.
- Manter todas as válvulas fechadas e ligar a bomba mecânica.
- Abrir lentamente a válvula e verificar se todos os medidores estão funcionando.
- Verificar se não existem vazamentos no seu sistema de vácuo.
- Após o sistema atingir o equilíbrio, iniciar as medidas anotando as pressões lidas nos medidores para diversas pressões. Para variar a pressão basta produzir um pequeno vazamento com auxílio da válvula agulha.
- Fazer a tomada de dados escolhendo cuidadosamente os intervalos de medidas. Deve ser feita uma quantidade de medidas suficiente para estudar as características de cada medidor.
- Colocar nitrogênio líquido na armadilha e refazer as medidas.
- Repetir as medidas utilizando os gases Ar, CO₂ e He.
- Comparar e explicar os resultados obtidos.

A válvula agulha deve ser manuseada com muito cuidado.

Não se esqueça de abaixar completamente o nível de Hg após cada medida com o manômetro Kammerer. Mantenha o mercúrio sempre na parte de baixo do medidor Kammerer

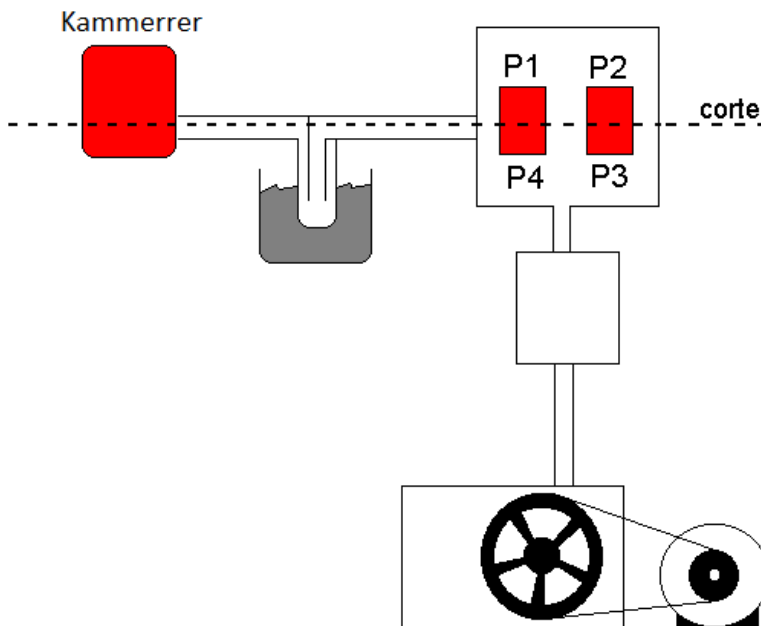


Figura 1. Desenho esquemático do sistema de vácuo utilizado para a calibração dos medidores Pirani, Termopar e Thermistor a partir do manômetro Kammerer.



Figura 2. Vista frontal do sistema de vácuo da Bancada 1.

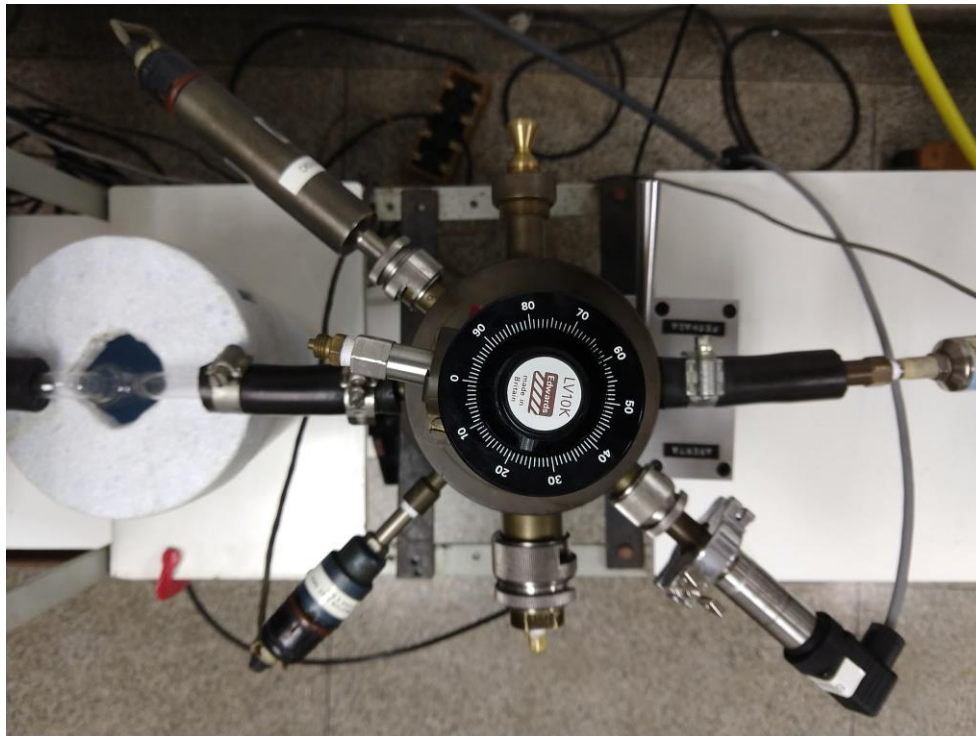


Figura 3. Vista superior da câmara de vácuo da Bancada 1.

Experiência II

Neste experimento serão levantadas as curvas características dos medidores termosensores: Pirani, Thermistor e Termopar a partir do medidor absoluto de pressão Vacustat.

- Identificar todos os componentes do sistema de vácuo: bombas, medidores e válvulas.
- Manter todas as válvulas fechadas e ligar a bomba mecânica.
- Abrir lentamente a válvula e verificar se todos os medidores estão funcionando.
- Verificar se não existem vazamentos no seu sistema de vácuo.
- Após o sistema atingir o equilíbrio, iniciar as medidas anotando as pressões lidas nos medidores para diversas pressões. Para variar a pressão basta criar um pequeno vazamento com auxílio da válvula agulha.
- Fazer a tomada de dados escolhendo cuidadosamente os intervalos de medidas. Deve ser feita uma quantidade de medidas suficiente para estudar as características de cada medidor.
- Refazer as medidas após 30 minutos de bombeamento.
- Colocar nitrogênio na armadilha e refazer as medidas.
- Repetir as medidas utilizando os gases Ar, CO₂ e He.
- Comparar e explicar os resultados obtidos.

**A válvula agulha deve ser manuseada com muito cuidado.
Mantenha o medidor Vacustat sempre na posição horizontal.**

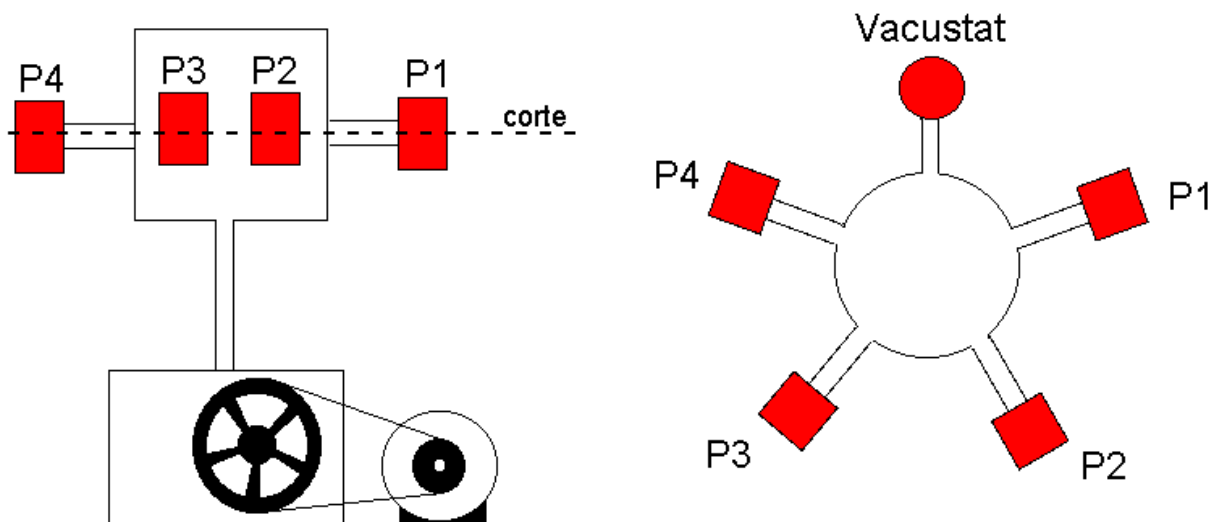


Figura 1. Desenho esquemático do sistema de vácuo utilizado para a calibração dos medidores Pirani, Thermistor e Termopar a partir do manômetro Vacustat.



Figura 2. Vista frontal do sistema de vácuo da Bancada 2.

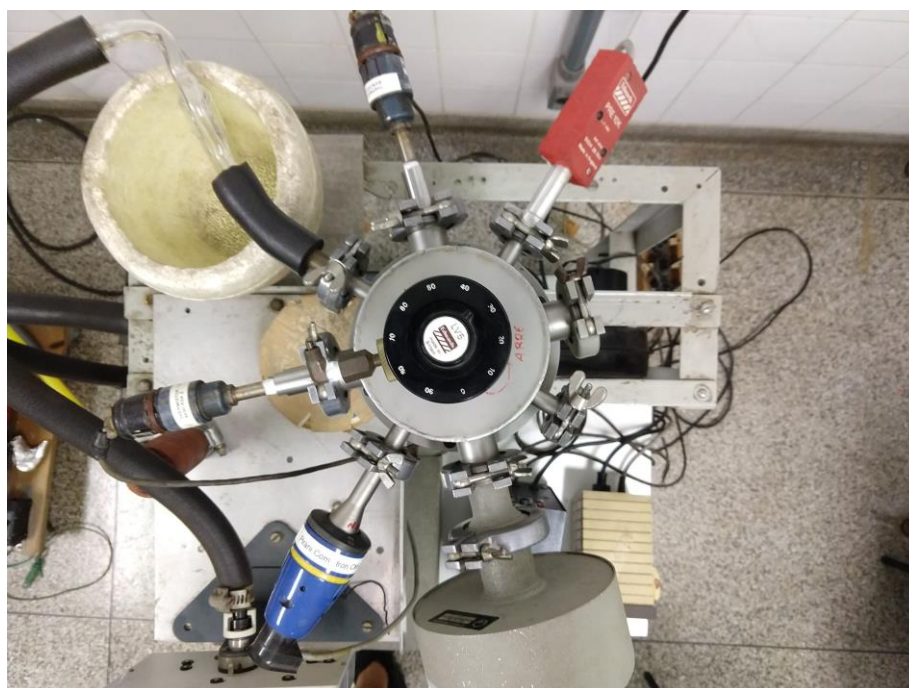


Figura 3. Vista superior da câmara de vácuo da Bancada 2.

Experiência III

Neste experimento utiliza-se o medidor de ionização (Bayard-Alpert), previamente calibrado com o manômetro McLeod, para efetuar a calibração do medidor Penning (catodo frio).

- Identificar todos os componentes do sistema de vácuo: bombas, medidores e válvulas.
- Fazer o pré-vácuo em todo o sistema (bomba difusora e câmara). O pré-vácuo deve ser monitorado pelo manômetro Pirani.
- **Somente após o sistema atingir um vácuo da ordem de 10^{-2} torr**, ligar a bomba difusora e ativar a serpentina de refrigeração através da circulação de água.
- Esperar o sistema atingir um vácuo da ordem de 10^{-5} torr.
- Após o sistema atingir o equilíbrio, iniciar as medidas anotando as pressões lidas em ambos medidores para diversas pressões. Para variar a pressão basta produzir um pequeno vazamento com auxílio da válvula agulha. Devem ser utilizadas as diferentes escalas que o equipamento oferece. Deve ser feita uma quantidade de medidas suficiente para estudar as características de cada medidor.
- As medidas devem ser repetidas utilizando os gases Ar, CO₂ e He.
- Comparar e explicar os resultados obtidos com as diferentes escalas.
- Durante o experimento, verificar o que acontece com o sistema quando desativamos por algum tempo (alguns minutos) o sistema de refrigeração da bomba difusora.
- Passar corrente na grade do medidor de ionização e descrever o que ocorre.

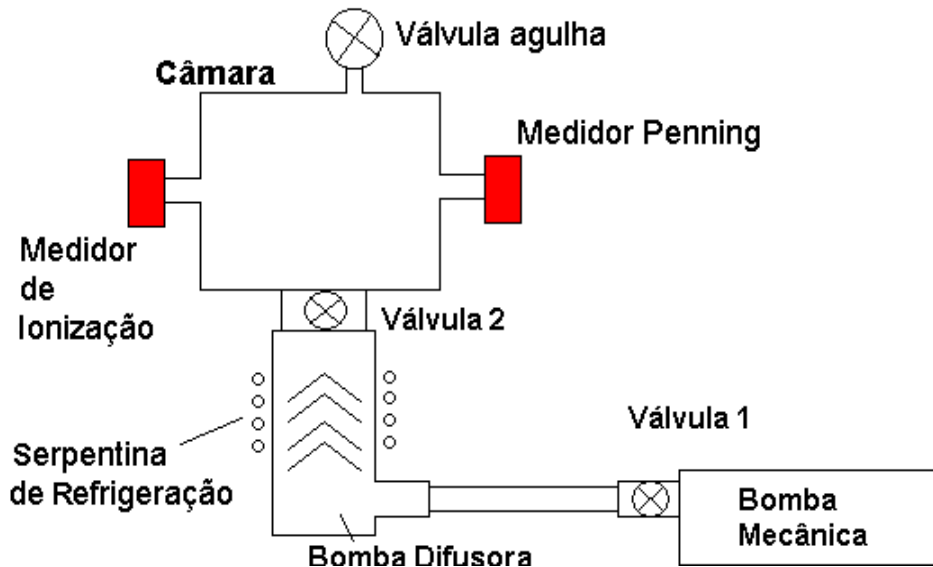


Figura 1. Desenho esquemático do sistema de vácuo utilizado para a calibração do medidor Penning a partir do medidor de ionização.

A bomba difusora deve ser desligada pelo menos 30 minutos antes do final da aula, tomando o cuidado de manter a bomba mecânica ligada até o óleo da bomba difusora esfriar, evitando que este se deteriore.

Experiência IV

Nesta experiência utilizaremos o “método da pipeta”, para determinação da velocidade de bombeamento (S) de bombas mecânicas e de sorpção em função da pressão (P).

- Identificar todos os componentes do sistema de vácuo: bombas, medidores, válvulas, pipeta graduada e recipiente com óleo.
- Ligar a bomba mecânica mantendo as válvulas 1 e 2 fechadas, deixando apenas a válvula 3 aberta (ver figura 1).
- Abrir lentamente a válvula 2 e verificar se o medidor está funcionando.
- Verifique se não existem vazamentos no seu sistema de vácuo.
- Após o sistema atingir o equilíbrio, iniciar as medidas fechando a válvula 3, anotando a pressão lida no medidor (P), o volume da coluna de óleo (ΔV) e o tempo de subida deste (Δt). **Abrir imediatamente a válvula 3 depois de efetuada a medida para evitar que o óleo contamine o sistema.** O método da pipeta para a determinação da velocidade das bombas obedece à expressão:

$$S(P) = \frac{\Delta V}{\Delta t} \times \frac{P_{atm}}{P}$$

- Abrir lentamente a válvula 2 até atingir um novo ponto de equilíbrio e fazer nova leitura. Repetir o procedimento até cobrir uma faixa de pressão entre 0.01 e 0.8 torr.
- Depois de levantar a curva da primeira bomba mecânica, trocá-la por outra e repetir o estudo. Existem duas bombas disponíveis para este experimento:
 - a) Uma da marca *Edwards* com velocidade de deslocamento $8\text{m}^3/\text{h}$ (vide manual).
 - b) Uma da marca *Welch* (vide apostila sobre bombas).Ambas as bombas são de duplo estágio.
- Abrir o *gas ballast* e levantar nova curva.
- Repetir o procedimento utilizando gás Ar.
- Repetir o procedimento utilizando uma bomba de sorpção.
- Comparar e explicar os resultados obtidos.

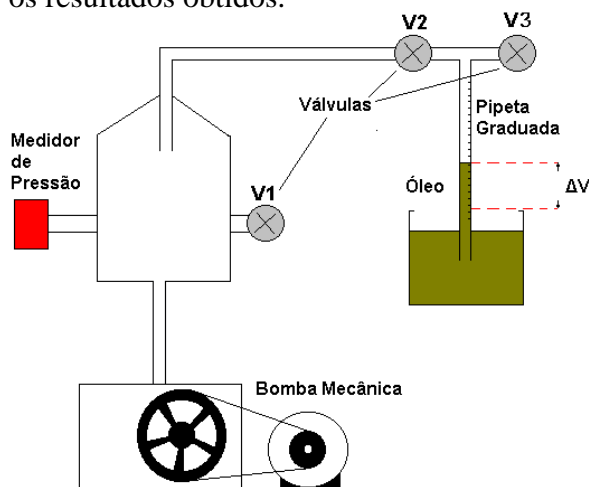


Figura 1. Desenho esquemático do sistema de vácuo utilizado para a medição da velocidade de bombeamento de uma bomba mecânica.

Experiência V

Neste experimento será determinada a curva característica de bombas difusoras utilizando o método da pipeta. Serão estudados dois modelos de bombas, uma da marca Edwards, modelo “Diffstak - 63/150” e uma bomba Veeco com e sem uma armadilha de nitrogênio líquido.

- Identificar todos os componentes do sistema de vácuo: bombas, medidores e válvulas.
- Fazer o pré-vácuo em todo o sistema (bomba difusora e câmara). O pré-vácuo deve ser monitorado pelo manômetro Pirani.
- Conectar o sensor de temperatura (termopar) próximo da resistência da bomba difusora.
- Somente após o sistema atingir um vácuo da ordem de 10^{-2} torr, ligar a bomba difusora e ativar a serpentina de refrigeração através da circulação de água. Manter a tensão da resistência da bomba em 220V.
- Esperar o sistema atingir um vácuo da ordem de 10^{-6} torr. Calibrar e desgaseificar o medidor.
- Após o sistema atingir o equilíbrio, iniciar as medidas da velocidade de bombeamento da bomba difusora em várias pressões. Para variar a pressão basta produzir um pequeno vazamento com auxílio da válvula agulha, mantendo a válvula Hoke (V2) aberta. Ao abrir a válvula agulha é aconselhável colocar o medidor na escala logarítmica.
- Manusear as válvulas V1 e V2 com muito cuidado, pois o sistema não é fixo.
- A velocidade de bombeamento deve ser medida variando a temperatura do óleo da bomba difusora.

O diâmetro da entrada da bomba difusora *Edwards* é $D=76\text{mm}$

V1: Válvula de agulha
V2: Válvula Hoke

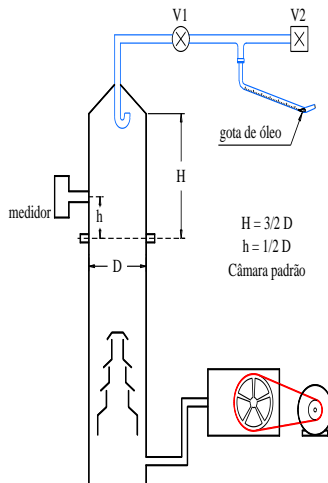


Figura 1. Desenho esquemático do sistema de vácuo utilizado para a medida da velocidade de bombeamento de uma bomba difusora (bancada 3).

A velocidade de bombeamento é dada por $S(p) = \frac{\Delta V}{\Delta T} \times \frac{P_{\text{atm}}}{P}$, onde P_{atm} é a pressão atmosférica e P a pressão do sistema. A faixa de pressão a ser investigada deve ser de $P = 10^{-3}$ a 10^{-6} torr. Lembre-se de considerar a contribuição da pressão residual. As medidas em pressões mais altas ($\approx 10^{-3}$ torr) devem ser feitas com muito cuidado. A pressão atmosférica pode ser medida no barômetro do laboratório didático.

- Medir a velocidade de bombeamento de uma bomba difusora Veeco com e sem uma armadilha de nitrogênio líquido. O diâmetro da entrada da bomba difusora é de 2 polegadas e a sua velocidade de bombeamento nominal é de 90l/s. Esse sistema está montado na bancada 1.

V1: Válvula de agulha
V2: Válvula Hoke

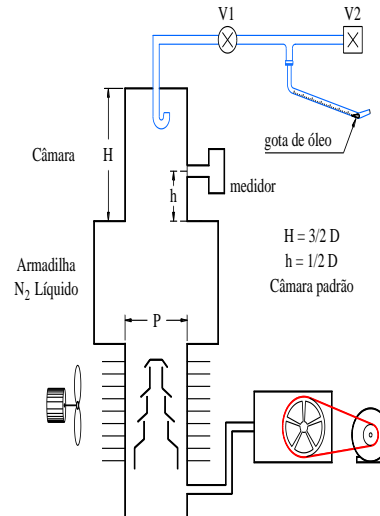


Figura 2. Desenho esquemático do sistema de vácuo utilizado para a medida da velocidade de bombeamento de uma bomba difusora com e sem armadilha de nitrogênio líquido (bancada 1).

- Calcular a condutância da armadilha de nitrogênio líquido.

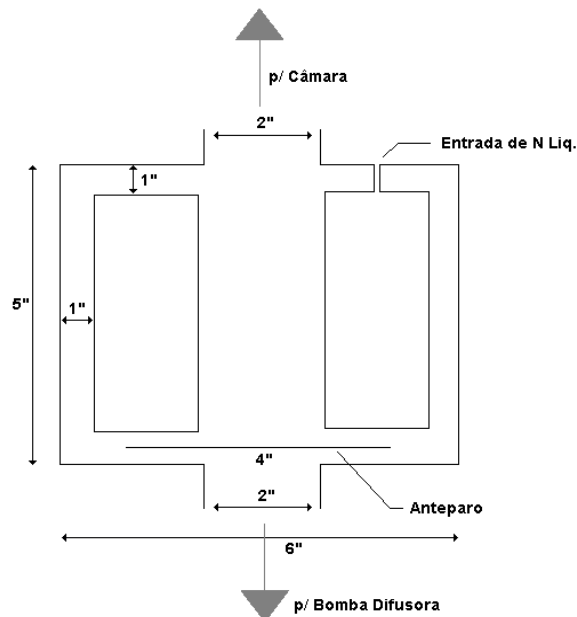


Figura 3. Desenho esquemático da armadilha de nitrogênio líquido.

Experiência VI

Nesta experiência serão determinadas as condutâncias de tubos de diâmetros diferentes em função da diferença de pressão entre seus extremos.

- Identificar todos os componentes do sistema de vácuo: bomba mecânica, medidores, válvulas, tubos, pipeta graduada e recipiente com óleo.
- Ligar a bomba mecânica mantendo a válvula V_1 fechada, deixando apenas a válvula V_2 aberta.
- Verificar se os medidores estão funcionando corretamente e se não existem vazamentos no seu sistema de vácuo.
- Após o sistema atingir o equilíbrio, iniciar as medidas da condutância de tubos utilizando o método da pipeta. Variar a pressão no sistema produzindo um pequeno vazamento com auxílio da válvula agulha (V_1), mantendo sempre a válvula Hoke (V_2) aberta. Manter a válvula gaveta (V_3) fechada durante as suas medidas. Fechar a válvula V_2 e anotar as pressões lidas nos medidores (P_1 e P_2), o volume da coluna de óleo (ΔV) e o tempo de subida deste (Δt). **Abrir imediatamente a válvula V_2 depois de efetuada a medida para evitar que o óleo contamine o sistema.**
- O fluxo de massa (Q) é dado por $Q = C_{\text{exp}} (P_1 - P_2) \approx \frac{\Delta V}{\Delta T} \times P_{\text{atm}}$, sendo P_1 e P_2 as pressões nos extremos do tubo. A condutância do tubo é então dada por:
$$C_{\text{exp}} = \frac{\Delta V}{\Delta t} \frac{P_{\text{atm}}}{P_1 - P_2}$$
- Abrir lentamente a válvula V_1 até atingir um novo ponto de equilíbrio e fazer nova leitura. Repetir o procedimento até cobrir uma faixa de pressão entre 0.01 e 0.8 torr. Devem ser feitas medidas da condutância para os 3 tubos disponíveis: $\Phi = 4\text{mm}$, 6mm e $5/16''$. Lembre-se de considerar a contribuição da pressão residual.
- Determinar C_{exp} em função da pressão média $\frac{(P_1 + P_2)}{2}$ e comparar com cálculos teóricos.
- **Manusear as válvulas V_1 e V_2 com muito cuidado, pois o sistema não é fixo.**

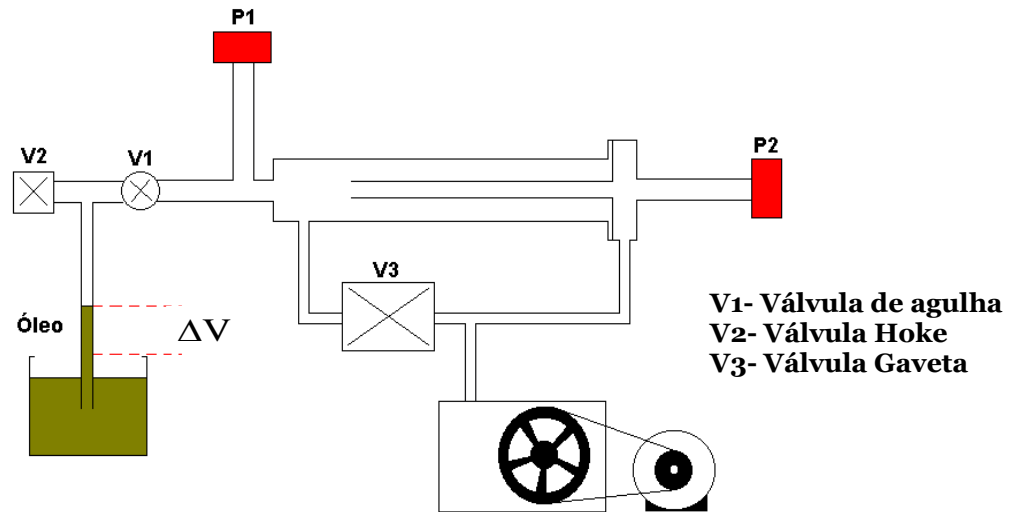


Figura 1. Desenho esquemático do sistema para medida da condutância de tubos.

