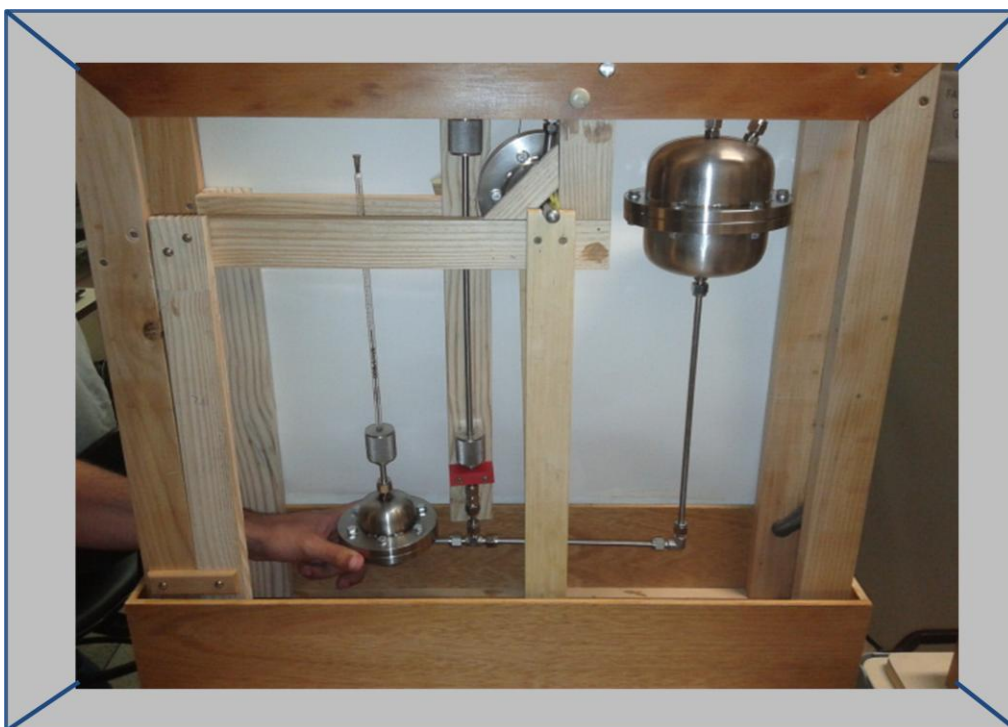


FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO

Materiais Processos e Componentes Eletrônicos

THAÍS CLAUDIA VALDOMIRO DE OLIVEIRA



***VACUSTAT METÁLICO* – PROJETO DE PROTÓTIPO, CONSTRUÇÃO E
MONTAGEM DE MANÔMETRO DIRETO COM MERCÚRIO POR
COMPRESSÃO**

São Paulo

2013

THAIS CLAUDIA VALDOMIRO DE OLIVEIRA

***VACUSTAT METÁLICO – PROJETO DE PROTÓTIPO, CONSTRUÇÃO E
MONTAGEM DE MANÔMETRO DIRETO COM MERCÚRIO POR
COMPRESSÃO***

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de TECNÓLOGO no Curso de Tecnologia em Materiais, Processos e Componentes Eletrônicos da Faculdade de Tecnologia de São Paulo, FATEC - SP.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Tadeu Degasperi

São Paulo

2013

Este trabalho eu dedico a toda minha família, em especial a minha mãe, Silvia Helena, que sempre esteve ao meu lado, me passando confiança e conhecimento. A pessoa em que me torno hoje, devo a essa mulher maravilhosa. E ao meu pai Claudio Luis (*in memoriam*), a quem devo minha adoração à eletrônica.

AGRADECIMENTOS

À minha família pelo apoio.

Ao Prof. Dr. Francisco Tadeu Degasperi, pelo apoio e dedicação com que leciona suas aulas.

Aos meus amigos da FATEC-SP, pelo companheirismo nos momentos de estudo.

Ao auxiliar docente do Laboratório de Tecnologia do Vácuo, Edelson pela ajuda na montagem do Vacustat.

Ao CNPq, pela bolsa de iniciação e pela confiança na concretização deste trabalho.

A sabedoria é filha da experiência

Leonardo da Vinci

RESUMO

Como sabemos, as mudanças tecnológicas são constantes em inúmeras áreas da Humanidade. Essas mudanças também ocorrem na demanda pelo aprimoramento da tecnologia de vácuo. Tecnologia essa que se faz presente desde a elaboração de um simples produto embalado a vácuo à sua utilização em células solares - produzidas pela deposição de determinados filmes finos sobre silício - em alto-vácuo.

De aplicações diversas, a tecnologia de vácuo, exige-nos que saibamos como caracterizar quantitativamente o vácuo, e para isso fazemos uso dos medidores de vácuo, que são os manômetros. Esses medidores trabalham cada um em sua faixa de pressão, o que significa dizer que cada projeto precisa ser devidamente estudado a fim de que se escolha o medidor mais adequado ao sistema.

O projeto em execução se baseia na construção de um protótipo de um medidor já existente, porém, utilizando materiais que estavam à disposição no Laboratório de Tecnologia do Vácuo- LTV.

ABSTRACT

As we know, technology changes are constant in several areas of Humanity. These changes also occur in the demand for the improvement of vacuum technology. This technology is present from the preparation of a simple product vacuum packed and in solar cells - produced by the deposition of thin films on silicon determined - in high vacuum.

Many applications, vacuum technology, requires us to know how to characterize quantitatively the vacuum, and for this we make use of vacuum gauges. These meters work each in its pressure range, which means that each project needs to be properly studied in order to choose the meter that is most appropriate.

The project in execution is based in the construction of a prototype from a gauge that already exists, but using materials that were available at the Vacuum Technology Laboratory

SUMÁRIO

1. REVISÕES DA LITERATURA.....	12
1.1 Vácuo.....	12
1.2 Pressão	12
1.3 O Teorema de Stevin	13
1.4 Experimento de Torricelli	16
1.5 Transformações Gasosas – Lei de Boyle- Mariotte	18
2. MANÔMETROS	20
2.1 Manômetros Diretos	21
2.1.1 Manômetro de Membrana Capacitiva	21
2.1.2 Manômetro McLeod	22
2.1.3 Vacustat.....	25
2.2 Manômetros Indiretos	26
2.2.1 Pirani	26
3.O NOVO MEDIDOR- VACUSTAT METÁLICO.....	30
3.1 Etapas do Projeto	30
3.2 Funções das Peças e Desenhos para usinagem	32
3.3 Peças Adicionais	35
3.4. Peças após o processo de soldagem	40
3.5 Desenho Esquemático Completo	43
3.6 Limpeza do Vacustat Metálico	44
3.6.1 Fotos das Peças após limpeza	45
3.7 Volume do Cap de Compressão	46
3.8 Cálculos do Novo Vacustat	47
3.8.1 Equacionamento Literário.....	47
3.8.2 Equacionamento Matemático.....	50
3.9 Montagem do Sistema	54
3.9.1 Peças de Travamento do Sistema	55
3.9.2 A Primeira Montagem	58
3.9.3 O Mercúrio	58
3.9.4 Limpeza do Mercúrio	59
4. VACUSTAT EM VIDRO	60

4.1 Vacustat Metálico x Vacustat em Vidro	63
4.1.2 Estrutura.....	63
4.1.3 O Peso.....	66
5.PARTE EXPERIMENTAL NOVO VACUSTAT	67
5.1 Medições - Novo Vacustat	69
6. CONCLUSÃO	71
7. GLOSSÁRIO	73
8.REFERÊNCIAS.....	74
9. ANEXOS	75
10. APRESENTAÇÕES DO TRABALHO.....	77
11. INFORMAÇÕES ADICIONAIS VACUSTAT EM VIDRO	78

INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo construir um protótipo de um medidor de pressão. Como em qualquer criação de protótipos, de início é necessário escolher coerentemente o material a ser utilizado, a quantidade e a projeção de peças que deverão ser produzidas. Por se tratar de um trabalho que sairá de um “desenho” e se materializará, algumas peças terão de ser projetadas com tamanho e material específicos.

É importante, também, ressaltar que serão utilizadas peças que estavam em desuso do Laboratório de Tecnologia do Vácuo- LTV, de modo que não haverá gastos excessivos com matéria prima.

O princípio de funcionamento se baseará na compressão de mercúrio, estabelecendo uma pressão inicial e cálculos com o volume. A partir daí, é que se dará a determinação da pressão final.

Pretendemos assim, ao término deste estudo, apresentar uma análise comparativa entre o novo manômetro – montado no Laboratório de Tecnologia do Vácuo – e medidor original (Vacustat em Vidro). Nossa observação recairá, portanto, sobre o comportamento desse protótipo em relação ao manômetro já existente.

1. REVISÕES DA LITERATURA

1.1 Vácuo

A definição padrão de vácuo é o estado de um gás em que a pressão num recipiente e, por conseguinte, a sua densidade de partícula é menor do que a atmosfera circundante ambiente ou em que a pressão do gás é inferior a 300 *mbar*, ou seja, inferiores a pressão do ambiente sobre a superfície da terra.

1.2 Pressão

A pressão é definida como a relação entre a força perpendicular agindo uniformemente em uma unidade de área.

$$Pressão = \frac{Fn}{Área} = \frac{N}{m^2}$$

Para de área tecnologia do vácuo temos as seguintes faixas:

Faixa de Vácuo	Pressão
Vácuo Primário	1.013 mbar a 1 mbar
Vácuo Médio	1 mbar a 10^{-3} mbar
Alto Vácuo	10^{-3} mbar a 10^{-7} mbar
Ultra Alto Vácuo	10^{-7} mbar a 10^{-12} mbar
Extremo Alto -Vácuo	$<10^{-12}$ mbar

Tabela 01: Faixas de Vácuo

Retirado do Catálogo Pfeiffer : The Vacuum Technology – Volume II

1.3 O Teorema de Stevin

Simon Stevin (1548-1620) foi engenheiro militar, estudou os números fracionários e a queda livre de corpos com massas diferentes, constatando sempre a igualdade de suas acelerações. Além disso, propôs alguns inventos, como a carroça movida à vela. Uma de suas funções era inspecionar os diques holandeses, o que o levou a importantes conclusões sobre a *hidroestática*.

Entende-se como conceito de hidroestática a diferença de pressões entre dois pontos de um líquido homogêneo em equilíbrio sob a ação da gravidade que é calculada pelo produto da massa específica do líquido, pelo módulo da aceleração da gravidade no local e pelo desnível (diferença das cotas) entre os pontos considerados.

Demonstração:

Considere o recipiente da figura abaixo, que contém um líquido homogêneo de massa específica μ , em equilíbrio sob a ação da gravidade (g). Admita para efeito de demonstração do teorema, um cilindro imaginário do próprio líquido, com área da base A e altura h .

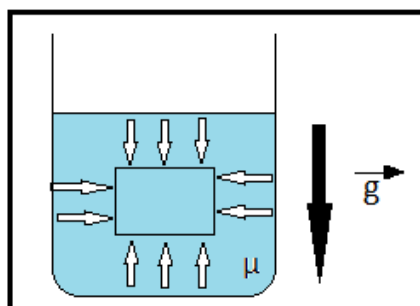


Figura 01: Lei de Stevin

O cilindro tem bases paralelas à superfície do líquido.

Pelo fato de estar envolvido pelo líquido, o cilindro recebe dele os conjuntos de forças indicadas.

Pode-se constatar que, devido à simetria, as forças laterais do cilindro (horizontais) equilibram-se duas a duas. As forças aplicadas na vertical não se equilibram. Por isso, temos uma resultante $F_1 \rightarrow$, aplicada no ponto 1, na base superior do cilindro, uma resultante $F_2 \rightarrow$, aplicada no ponto 2, na base inferior do cilindro.

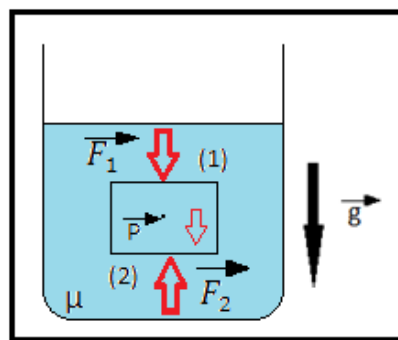


Figura 02: Lei de Stevin

Observe que, além de \vec{F}_1 e \vec{F}_2 , também atua no cilindro a força da gravidade \vec{P} .

Como o líquido está em equilíbrio, o cilindro, que faz parte dele, também deve estar. Para que isso ocorra, devemos ter:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{P} = 0$$

Dividindo todos os termos da igualdade por A (área das bases do cilindro), obtemos:

$$\frac{\vec{F}_1}{A} + \frac{\vec{F}_2}{A} = - \frac{\vec{Peso}}{A}$$

Mas,

$$\frac{\vec{F}_2}{A} = \vec{p}_2 \text{ (Pressão no ponto 2)}$$

$$\frac{\vec{F}_1}{A} = \vec{p}_1 \text{ (Pressão no ponto 1)}$$

Assim:

$$p_2 - p_1 = \frac{P}{A} \rightarrow p_2 - p_1 = \frac{mg}{A}$$

Temos que :

$$M = \mu V = \mu A h$$

Substituindo, vem:

$$p_2 - p_1 = \frac{\mu A g h}{A} = p_2 - p_1 = \mu h g$$

1.4 Experimento de Torricelli

Evangelista Torricelli (1608-1647), cientista italiano, aluno de Galileu , propôs um critério bastante simples para obtenção experimental do valor da pressão atmosférica . O aparato e o método utilizados por ele são descritos a seguir.

Considere uma cuba e um tubo, de aproximadamente 1,0 m de comprimento, ambos contendo mercúrio.

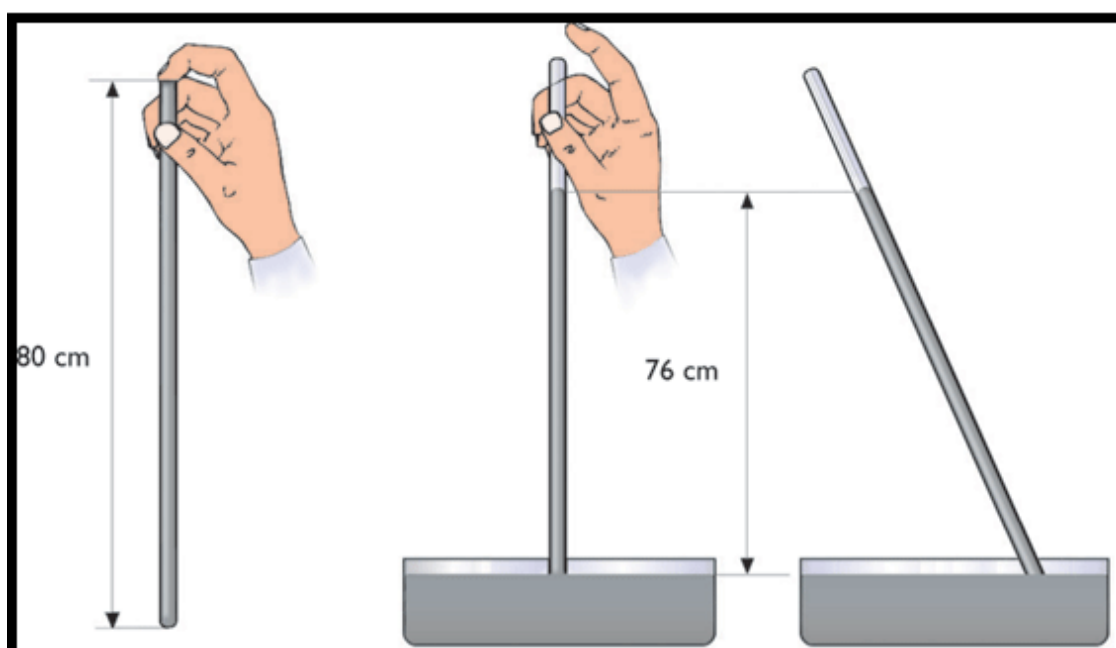


Figura 03- Experimento de Torricelli

Inicialmente, o tubo encontra-se completamente tomado pelo fluido (mercúrio), até sua extremidade aberta.

Veda-se, então, a abertura do tubo e, posicionando-o de boca para baixo, introduz-se parte dele dentro da cuba. Em seguida, destapa-se sua extremidade, tomando-se o cuidado de mantê-la sempre voltada para baixo. Com isso, parte do mercúrio do tubo escoar para a cuba, até que seja estabelecido equilíbrio do fluido estático do sistema.

Vamos chamar de μ_{Hg} a massa específica do mercúrio, g o módulo da aceleração da gravidade, p_0 a pressão atmosférica local e h a altura do nível do mercúrio no tubo em relação à superfície livre do mercúrio na cuba.

Analisando a figura abaixo , sejam p_1 e p_2 , respectivamente, as pressões nos pontos 1 e 2.

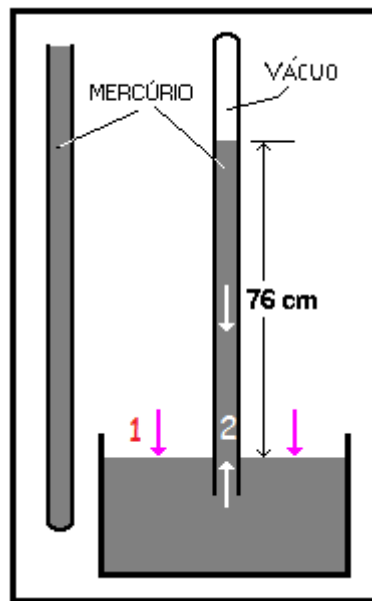


Figura 04- Experimento Coluna de Mercúrio

Pelo fato do ponto 1 pertencer ao nível livre de mercúrio na cuba e estar exposto diretamente à atmosfera, tem-se:

$$p_1 = p_0$$

No ponto 2, a pressão deve-se praticamente à coluna de mercúrio que aí se sobrepõe, pois acima do mercúrio do tubo temos quase o vácuo (apenas vapor de mercúrio muito rarefeito). Desse modo temos:

$$p_2 = \mu_{Hg} g h$$

Entretanto, no equilíbrio, as pressões nos pontos 1 e 2 são iguais, pois os referidos pontos pertencem ao mesmo fluido (mercúrio) e estão no mesmo nível (mesma região isobárica):

Assim: $p_1 = p_2$, ou seja:

$$P_0 = \mu_{Hg} g h$$

Fazendo o experimento de Torriceli ao nível do mar ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) e a 0°C , observamos para h um valor mais provável de 76,0 cm. Assim, sendo $\mu_{Hg} = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg}$, obtemos, para p_0 :

$$P_0 = 13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,760 \text{ m}$$

$$P_0 \cong 1,01 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

1.5 Transformações Gasosas – Lei de Boyle- Mariotte

Caracterizamos um gás através de três parâmetros de suas propriedades: *pressão, temperatura e volume*. Uma transformação de estado de gases ocorre quando pelo menos duas dessas três variáveis são alteradas. Existe, porém, o caso dos *gases ideais*, que mesmo com apenas uma variável sendo modificada, concebem aproximações razoáveis relacionadas às suas interações moleculares.

A Lei de Boyle-Mariotte nos diz que a pressão e o volume de um gás, a uma temperatura constante, têm uma relação inversamente proporcional. Portanto, estamos tratando de uma *transformação isotérmica*, em que a variação de qualquer um dos dois

restantes parâmetros, levará, necessariamente, a uma mudança no outro parâmetro restante.

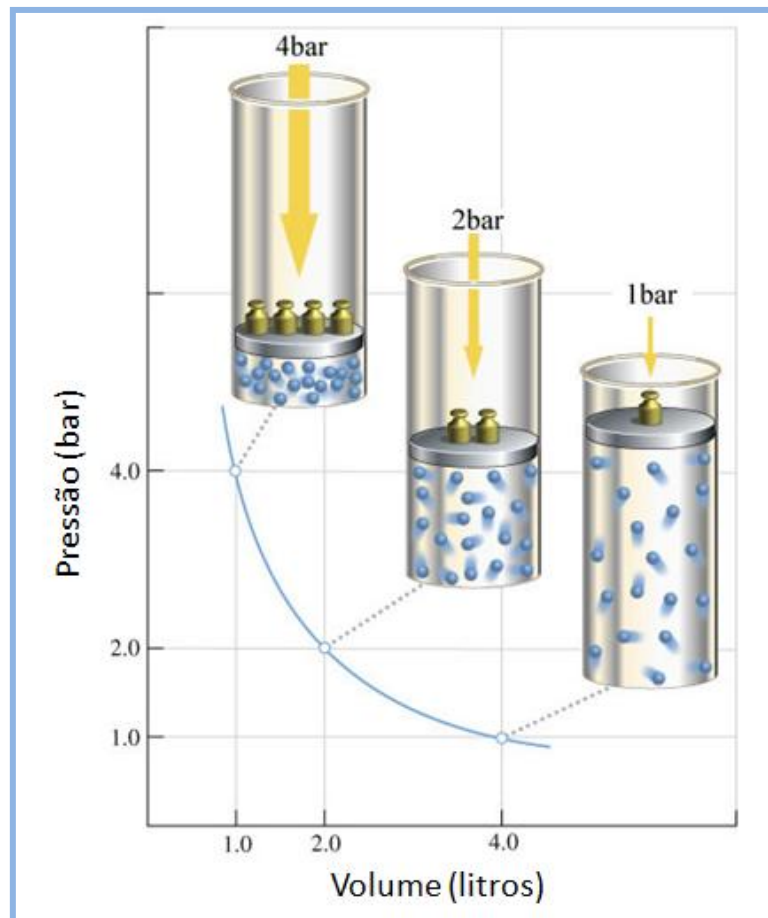


Figura 05 - Em temperatura constante, a pressão e o volume de um gás são inversamente proporcionais.

Lei que é regida pela equação abaixo:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

Onde:

P_1 = Pressão Inicial

V_1 = Volume Inicial

P_2 = Pressão Final

V_2 = Volume Final

2. MANÔMETROS

O manômetro é o instrumento utilizado na mecânica dos fluidos para se efetuar a medição da pressão, no setor industrial existem diversos tipos e aplicações para os manômetros.

Possuímos diversos tipos de aplicações para manômetros entre elas se destacam:

- a) **Manômetros Utilitários:** usados em compressores de ar, equipamentos pneumáticos, linhas de ar, de gases, de líquidos e instalações em geral.
- b) **Manômetros Industriais:** possuem uma construção robusta, com mecanismos reforçados e recursos para ajuste.
- c) **Manômetros Herméticos ou com Glicerina:** na maioria das vezes são usados onde as instalações estão submetidas a vibrações ou pulsações da linha quando preenchida com líquido amortecedor.
- d) **Manômetros de Aço Inoxidável:** sua construção é robusta, a caixa estanque, serve para aplicações nas indústrias petroquímicas, papel e celulose, alimentares, nos produtos corrosivos, nas usinas e outras que exijam durabilidade, precisão e qualidade.
- e) **Manômetros Petroquímicos:** são manômetros de processo em caixa de aço inoxidável, fenol, alumínio fundido e nylon, com componentes em aço inoxidável, estanque, a prova de tempo, para aplicação nas indústrias petroquímicas, químicas, alimentícias, equipamentos industriais e outras que exijam durabilidade, precisão e qualidade.

2.1 Manômetros Diretos

Consideramos medidores diretos, aqueles que determinam a pressão através do conceito de pressão que é dado por força normal exercida sobre uma superfície por unidade de área.

2.1.1 Manômetro de Membrana Capacitiva

É um manômetro direto, composto por um disco circular, capaz de medir pequenas amplitudes. Seu princípio de funcionamento se baseia em uma membrana fina que fica exposta a uma mola. À medida que aplicamos pressão, observamos uma deformação na membrana até um ponto onde a força da mola se equilibrará com a força elástica do diafragma. Essa alteração de deslocamento é medida através de um ponteiro e assim é determinada a pressão.

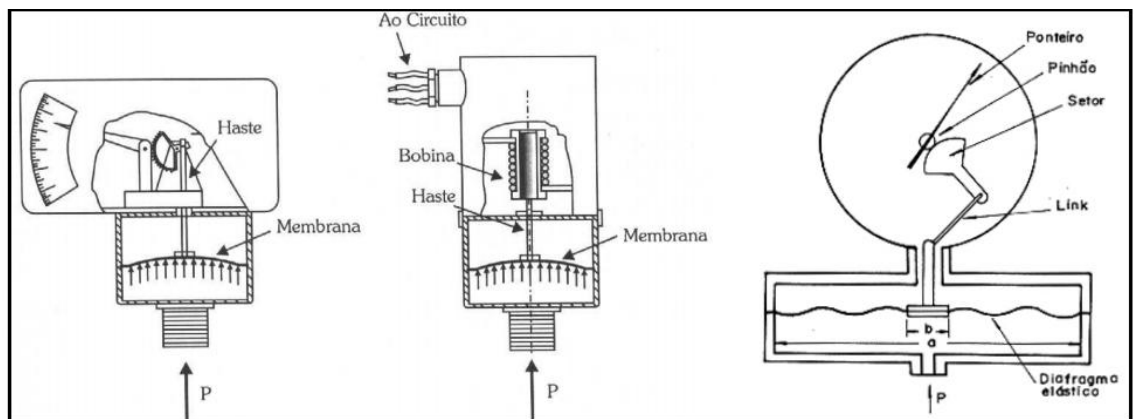


Figura 06 – Esquema Manômetro de Membrana Capacitiva

2.1.2 Manômetro McLeod

[1]

Em 1874, H. G. McLeod desenvolveu o medidor de baixas pressões – vácuo – denominado McLeod, que é um medidor direto de pressão cujo princípio de funcionamento baseia-se na lei de Boyle-Mariotte dos gases perfeitos, no teorema de Stevin – pressão em um líquido – e no manômetro de Torricelli que utiliza uma coluna de mercúrio para medidas de pressões.

O funcionamento do manômetro McLeod, pode ser descrito da seguinte maneira: Com o nível de mercúrio abaixo do *nível de corte* (figura 07) o bulbo do sistema McLeod é colocado em contato com o sistema de vácuo para que tanto o medidor como a câmara de vácuo, atinjam o equilíbrio e ambos obtenham a mesma pressão. Controla-se a subida do mercúrio até o *nível de corte* para que o gás do volume calibrado seja confinado no volume conhecido V (volume do bulbo).

O volume que se vai comprimir pode ser medido enchendo o bulbo e o capilar (B) com água ou mercúrio, em seguida pesando-se sua massa. Conhecida a densidade do líquido em questão, podemos calcular o seu volume.

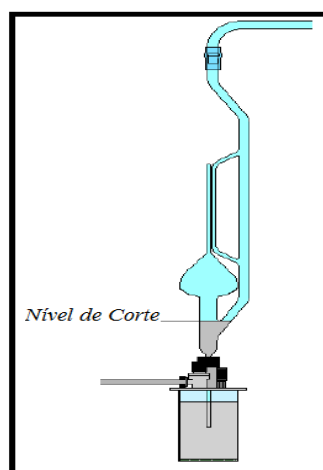


Figura 07 - Arranjo esquemático do nível de Corte

Para discutir o funcionamento de tal medidor, vamos nos referir à figura 08.

Conhecido o volume inicial, sobe-se a coluna de mercúrio a fim de comprimir o gás no capilar (B), variando o volume, onde S é a área da secção reta do capilar. Ao subir a coluna de mercúrio para comprimir o gás, notamos que a coluna no capilar (A) sobe mais que a coluna no capilar (B), isso ocorre devido à diferença de pressão entre os dois capilares, pois no capilar (B), o gás está sendo comprimido (pressão alta), enquanto no capilar (A), a pressão é a mesma do sistema de vácuo (pressão baixa), por isso existe o desnível entre os capilares. Essa diferença de altura entre as duas colunas de mercúrio será representada por H , e a altura onde a coluna de mercúrio para no capilar (B) até o topo do mesmo (altura da coluna de gás comprimido no capilar (B)), é chamada de h (essas alturas devem ser medidas em relação à mesma origem, usualmente o topo do capilar (B)).

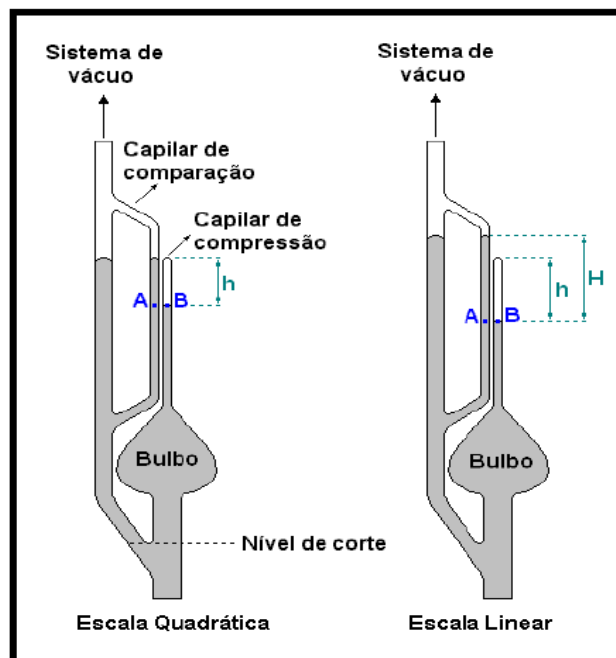


Figura 08 – Desenhos referentes aos métodos da escala quadrática e da escala linear para a calibração com parâmetros geométricos.

A pressão P_0 que queremos encontrar é a pressão do sistema de vácuo (capilar (B)). Sabemos que a pressão do gás comprimido no capilar (A) é $P = (P_0 + \rho gh)$ utilizando a equação de Boyle-Mariotte podemos calcular a pressão P_0 do sistema. O cálculo da pressão P_0 do sistema pode ser calculado por dois métodos, o método da escala quadrática e método da escala linear, mas os dois dependem da subida da coluna de mercúrio até um ponto fixo (definido pelo operador) e medir a diferença entre as colunas de mercúrio referente aos capilares (A) e (B).

O manômetro McLeod é um dos mais antigos, ainda em uso até os dias de hoje, já que ele fornece a pressão absoluta e sua calibração depende somente de parâmetros geométricos. O padrão primário McLeod nos permite medir pressões até 10^{-5} mbar, podendo chegar até uma ordem de pressão menor.

O Laboratório de Tecnologia do Vácuo – LTV recebeu como doação da empresa de vácuo **BOC-Edwards do Brasil Ltda** um medidor tipo McLeod. Por ser um padrão primário, o medidor McLeod foi muito utilizado na calibração de outros medidores e testes de bombas de vácuo. Este medidor atualmente não está mais em funcionamento, pelo fato ter tido seu bulbo quebrado, este que era inteiro de vidro. [1]

Devido a este problema com o Manômetro McLeod, foi proposto um novo modelo de manômetro, de mesmo princípio de medição que o medidor McLeod, porém de estrutura maior que um Vacustat. Além disso, para que pudéssemos aumentar a segurança, decidimos desta vez, construí-lo em aço inox, evitando-se a fragilidade do bulbo de vidro.

2.1.3 Vacustat

O princípio de funcionamento do medidor Vacusat consiste em um reservatório de mercúrio que não é aberto para pressão atmosférica, e a compressão é feita pelo movimento giratório.

O Vacustat é feito de vidro e é conectado ao sistema de vácuo por meio de um tubo de borracha ou *oring dinâmico*, colocado no centro. Esse eixo permite que o Vacustat rotacione em torno do ponto fixo (central). Antes que as medições sejam executadas é necessário que o Vacustat esteja em seu modo de expansão, ou seja, todo o mercúrio deve estar contido no reservatório, para que o gás entre pela abertura e possa se expandir pelo medidor.

Para que as medições se iniciem é preciso rotacionar o medidor verticalmente. Com isso, o mercúrio começa a descer do reservatório e preenchendo os capilares “B” e “C”. O gás começa a ser comprimido, então, observa-se uma diferença de altura entre os capilares B e C. Esta diferença (valor numérico), quando adicionada à equação de Boyle-Mariotte determina a pressão.

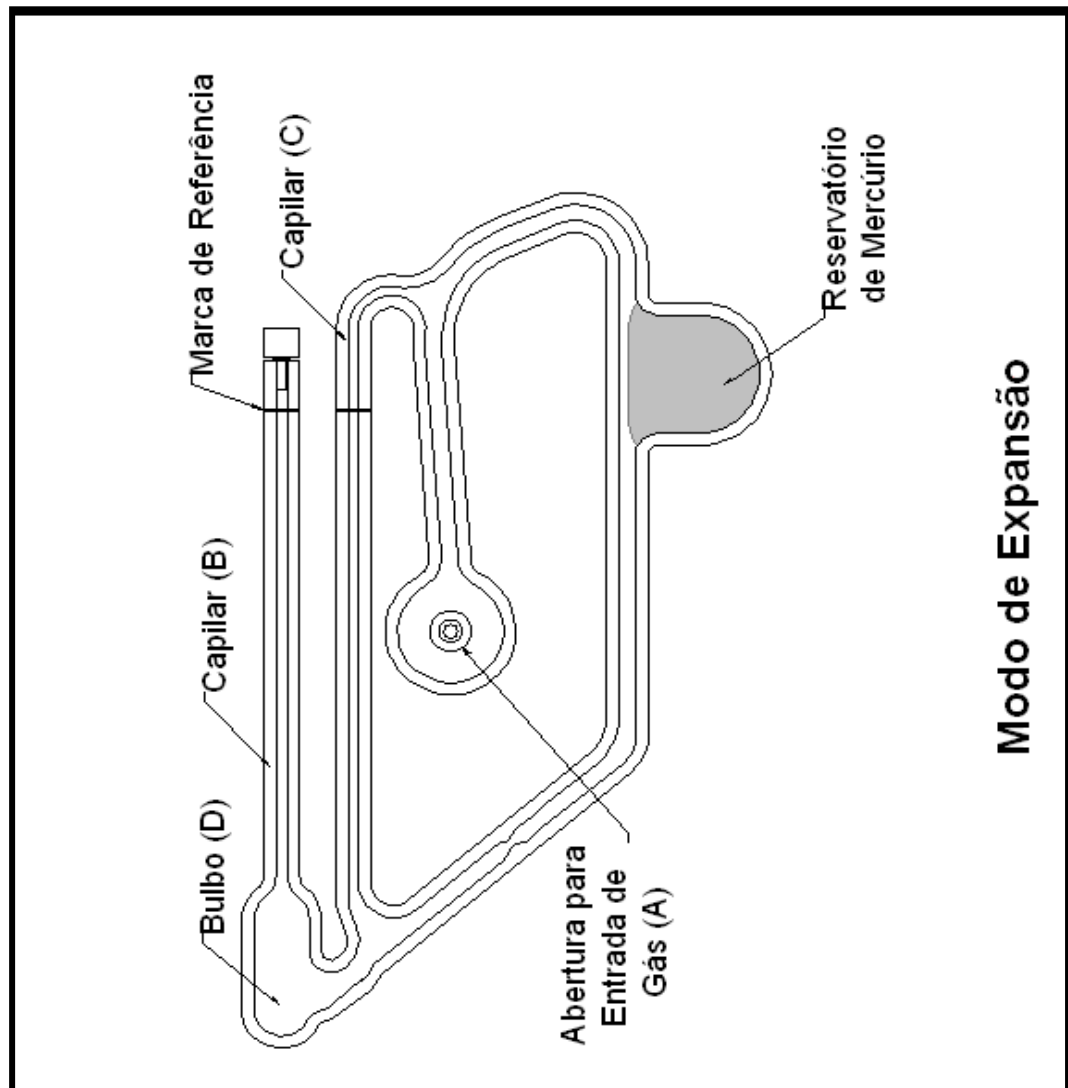


Figura 09- Manômetros Vacustat

2.2 Manômetros Indiretos

Os medidores indiretos determinam a pressão através de outros parâmetros, tais como: temperatura, condutividade, alteração de corrente dentre outros.

2.2.1 Pirani

[2]

O medidor Pirani é um medidor indireto de condutividade térmica que mede a pressão através da mudança no valor da resistência de uma ponte de *Wheatstone* formada por um filamento inserido em um sistema de vácuo onde se deseja medir a

pressão, como mostrado na figura 12. Este medidor é muito usado na indústria e em laboratórios de pesquisa devido a sua durabilidade, facilidade de operação e precisão.

O medidor Pirani de “tensão constante” mede pressões entre $7,5$ e $7,5 \times 10^{-5}$ torr e o Pirani de temperatura constante tem uma faixa de leitura maior que vai de 750 até $7,5 \times 10^{-4}$ torr, sendo mais empregado. Os medidores têm um tempo de resposta muito curto e são particularmente apropriados em aplicações de controle de pressão.

O manômetro Pirani consiste de um tubo de vidro ou metal, fechado de um lado e de diâmetro aproximado entre 1 e 2 cm.

O lado aberto está ligado por um *oring dinâmico* (de vedação dinâmica, localizado no eixo de rotação do medidor, figura 10) ou tubo de borracha ao sistema de vácuo. Dentro do tubo há um filamento de tungstênio de 0,005 a 0,1 mm de diâmetro, e 20 a 30 cm de comprimento, enrolado numa hélice, como mostra a figura 10.

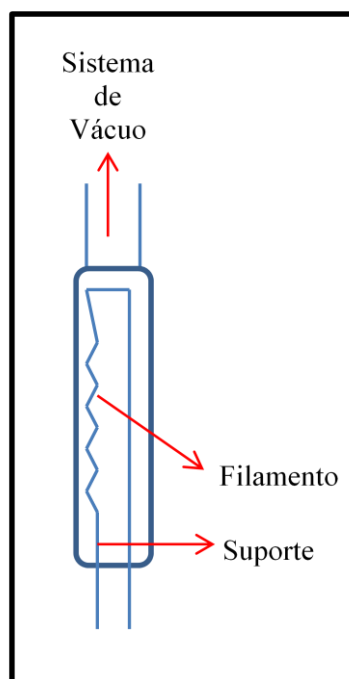


Figura 10- Medidor Pirani sem o envelope de vidro

Para evitar muita perda de calor através dos fios, mantêm-se a temperatura do filamento a aproximadamente 200°C . Em geral, para assegurar que não há efeitos devido à variação de temperatura ambiente coloca-se ao lado do filamento um envelope de vidro selado e evacuado a pressão inferior a 1 militorr (figura 11).

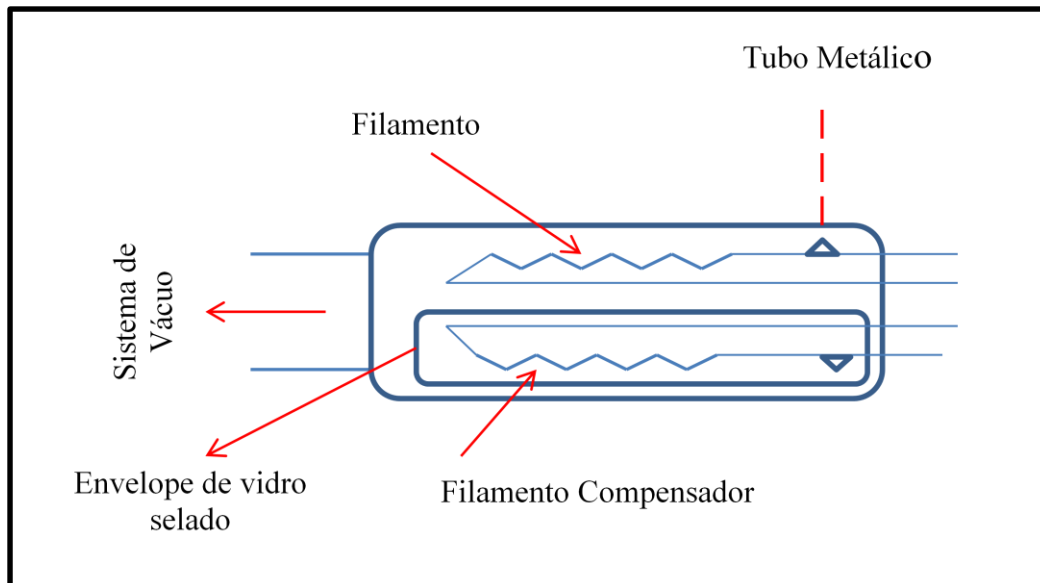


Figura 11- Medidor Pirani com envelope de vidro e compensador

Este Pirani compensador serve como uma resistência no circuito eletrônico medidor. O circuito usado é uma ponte de *Wheatstone* (figura 12), onde o Pirani forma um braço e o compensador o outro braço. Em geral, em vez de medir a resistência do Pirani, mantém constante a corrente na ponte e por meio da resistência R_V balanceia-se a ponte para a menor pressão que possa ser medida como 10^{-4} torr; isso indica zero do galvanômetro. Assim, quando a pressão aumenta no Pirani, a ponte não é mais equilibrada, passando a resistência do Pirani a diminuir e com isso o galvanômetro acusará uma corrente. A calibração pode ser feita medindo esta corrente contra a pressão medida de um *McLeod*.

É um manômetro que determina a pressão através da condutividade térmica. É composto por uma ponte de *Wheatstone*, onde temos dois filamentos que são resistências que já estão calibradas para uma determinada pressão, enquanto o filamento de medida é inserido ao sistema a ser medido. Esse medidor se relaciona com a capacidade do gás em conduzir calor, ou seja, no primeiro momento a corrente que passar aquece os filamentos, quando conectado ao sistema essa ponte de *Wheatstone* perde sua referência de calibração, essa diferença e este desequilíbrio é o indicativo da pressão. [2]

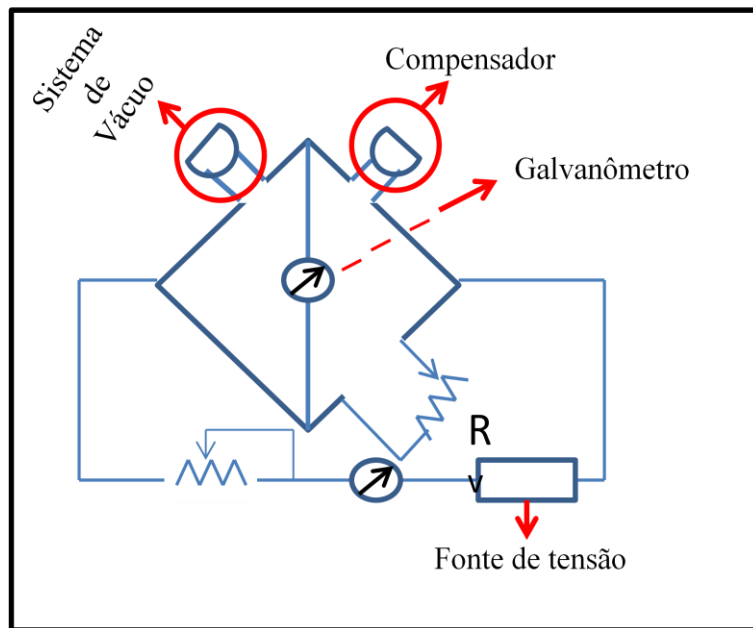


Figura 12- Circuito do medidor Pirani

3.0 NOVO MEDIDOR- VACUSTAT METÁLICO

O medidor Vacustat é um medidor que se encontra em uma faixa de pressão de 10 até 10^{-3} mbar, sua estrutura é toda feita de vidro, o que faz com que este medidor seja frágil, e necessite de uma atenção redobrada durante a sua manipulação. Uma das formas de sanar essas pequenas limitações do medidor Vacustat em vidro, foi desenvolver um protótipo de um medidor semelhante (mesmos princípios de medição), onde o novo medidor é composto por Cap's, que são pequenas cuias feitas em aço inox, que serão responsáveis pelos seguintes recipientes : volume a ser comprimido, reservatório de mercúrio e centro de rotação, trazendo maior estabilidade ao sistema. E para aumentar ainda mais a segurança, optamos pela colocação de flanges em todos os CAP's, o que facilita a limpeza do sistema. A colocação dos flanges além de ser essencial para a limpeza, também nos possibilita em trabalhos futuros substituímos o CAP do volume de compressão, e deste modo com um volume maior conseguiremos alcançar outras faixas de pressão, tais como alto -vácuo.

O novo medidor diferentemente do primeiro será projetado com ligações em 90° graus, não possuindo a inclinação entre reservatório de mercúrio e volume de compressão como no vacustat original.

3.1 Etapas do Projeto

Para a construção desse protótipo optamos pela utilização de materiais existentes no Laboratório de Tecnologia do Vácuo - LTV. Em posse dos CAP's, iniciamos uma série de medidas de dimensões utilizando um paquímetro. Os materiais que utilizamos para usinar os flanges eram apenas discos em aço inox, os quais também passaram por este mesmo processo de medição. Após a finalização da etapa de determinação das

dimensões, iniciamos os desenhos usando o software AutoCad para determinarmos os locais de furação e soldagem das peças.

Optamos por usar Cap's metálicos (pequenas cuias), pois possuem um formato arredondado nos cantos que permitem uma melhor limpeza. Para cada conjunto precisamos fazer a união de dois caps, totalizando seis Cap's.



Figura 13- Cap após furação - Separados



Figura 14 - Cap após furação - Unidos

3.2 Funções das Peças e Desenhos para usinagem

CAP 1: Volume a ser comprimido

É o menor dos Cap's, possui aproximadamente 4 polegadas de diâmetro e será responsável pelo volume que será comprimido. Ele ainda possui um furo na vertical para que seja soldada uma união, a qual fará a conexão com o engate rápido. O furo ao lado, na horizontal, corresponde ao lugar onde será soldado um tubo em aço inox de 1/4 de polegada, este fará conexão com o resto do sistema.

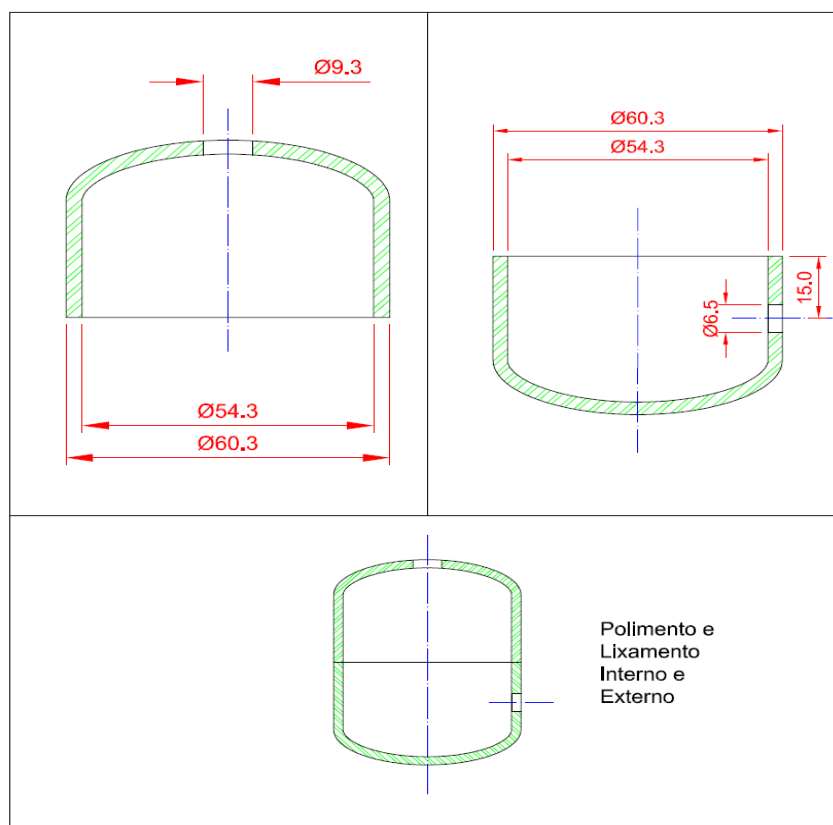


Figura 15 : Furação CAP 1

CAP 2: Centro de rotação

É um Cap que possui um tamanho intermediário de 2,5 polegadas de diâmetro, responsável pela rotação do sistema. Ele possui, na parte frontal, um furo (12 mm) para que seja soldada uma barra de aço, capaz de fazer o sistema girar. O outro furo, na parte traseira, servirá de conexão para o sistema de vácuo, nele será soldada uma peça do tipo KF com diâmetro de 16 mm. Já o furo lateral será soldado um tubo com 9,3mm, na sua ponta será feita uma união para conectá-lo ao resto do sistema.

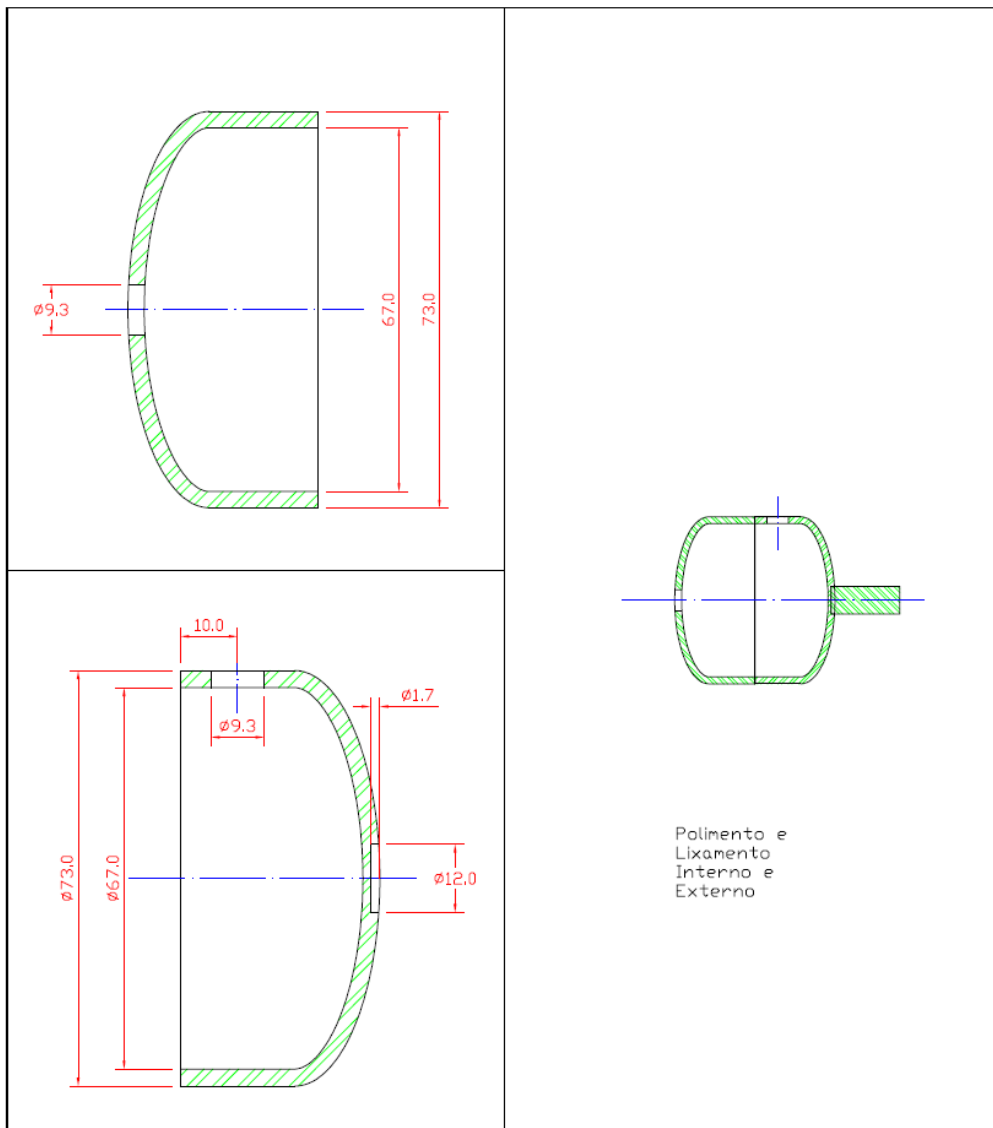


Figura 16- Furação CAP 2

CAP 3: Reservatório de Mercúrio

É um dos maiores Cap's, onde possui aproximadamente 4 polegada de diâmetro. Será o responsável por acoplar o mercúrio. Possui um furo na parte superior à direita, o qual funcionará como dosador para quantidade de mercúrio, de modo que seja possível retirar ou colocar o mercúrio facilmente. No furo da parte de baixo será soldada uma união para que seja conectado um tubo de 1/4 , a fim de poder juntá-lo ao resto do sistema.

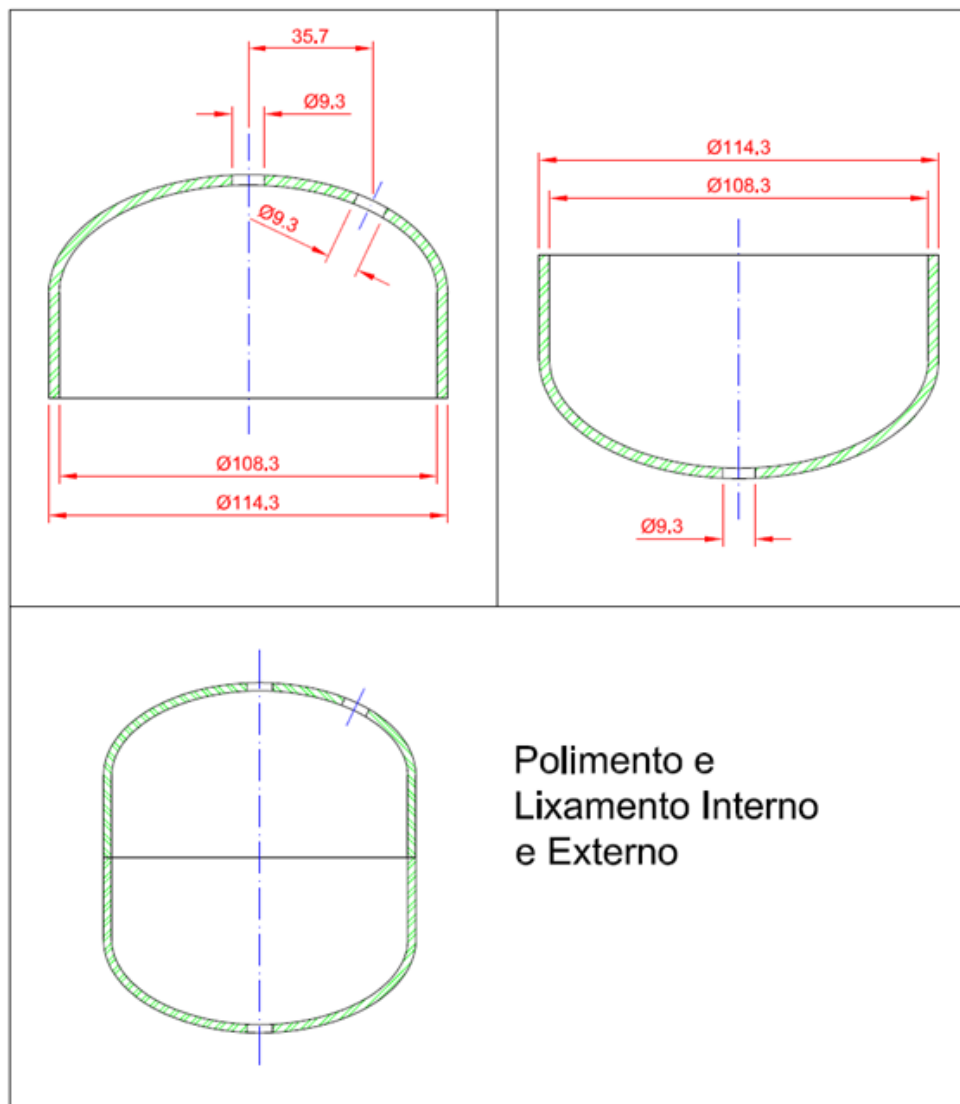


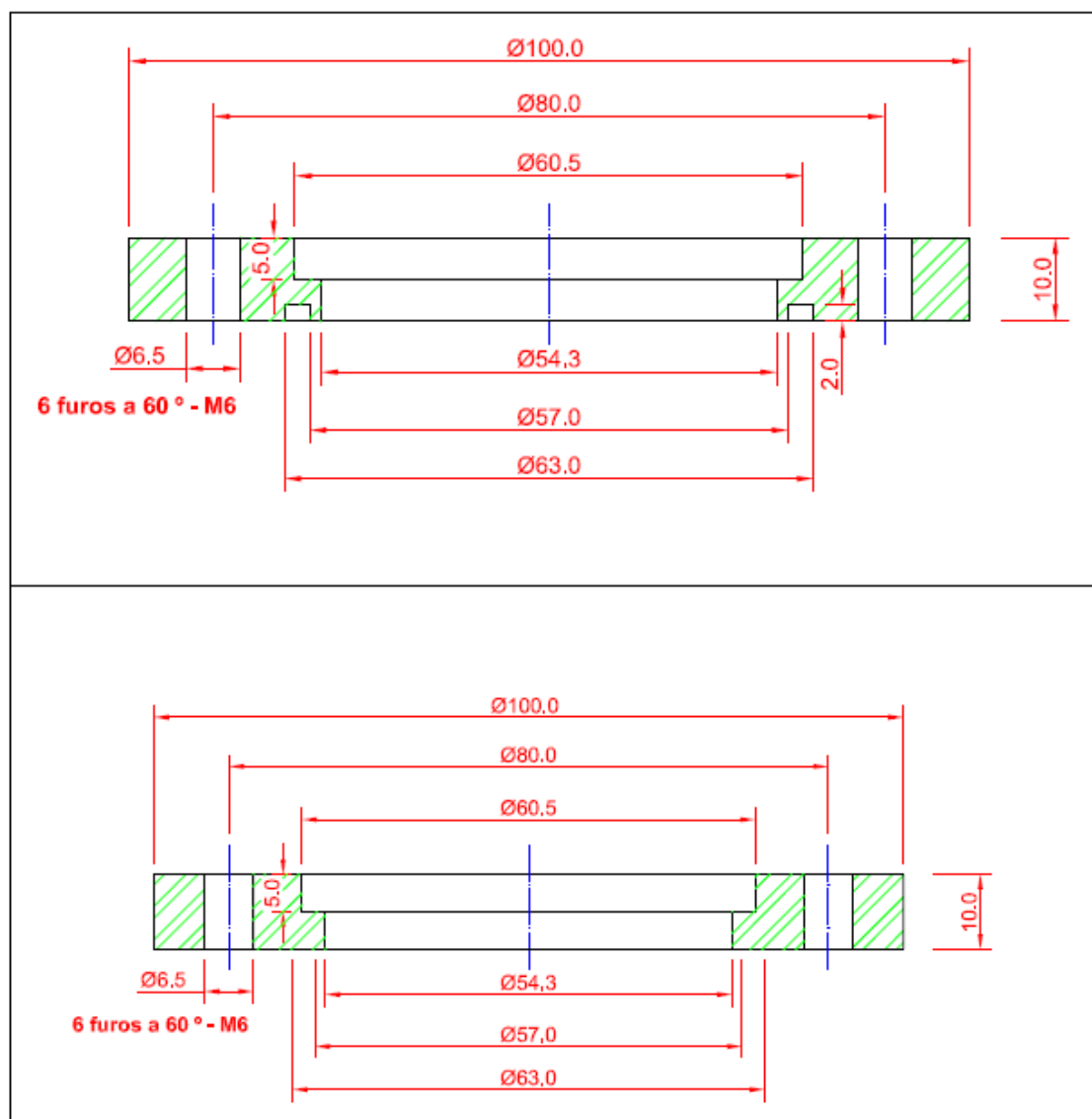
Figura 17- Furação CAP 3

Observações: Todas as peças passaram pela etapa de polimento e lixamento interno e externo.

3.3 Peças Adicionais

Para melhorar os requisitos em segurança e a limpeza do protótipo optamos pela colocação de flanges em todos os CAP's

Flange : Volume de Compressão



Flange: Conexão ao Sistema de Vácuo

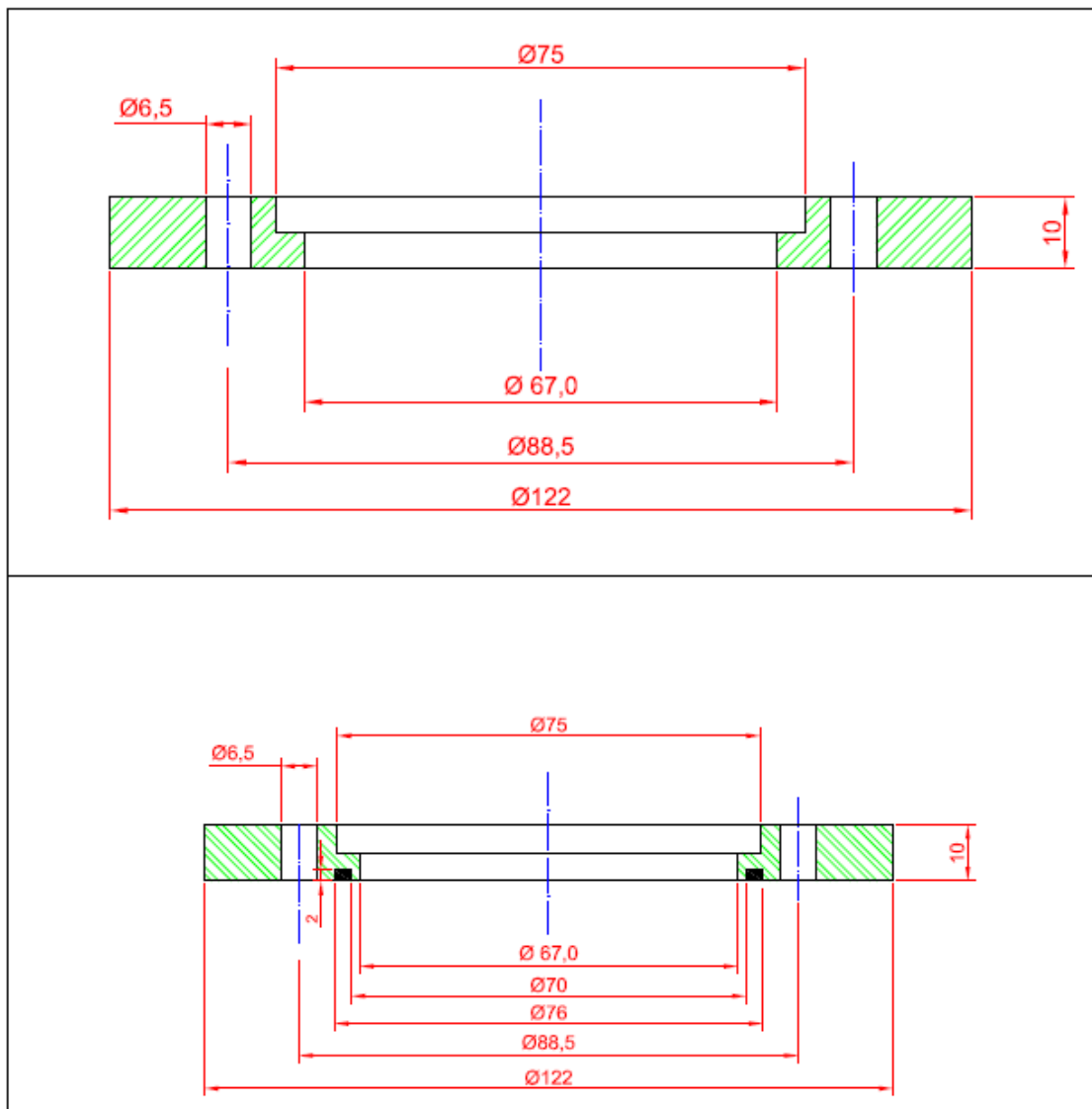


Figura 19- Flange para usinagem-CAP Conexão ao Sistema de Vácuo

Flange : Reservatório de Mercúrio

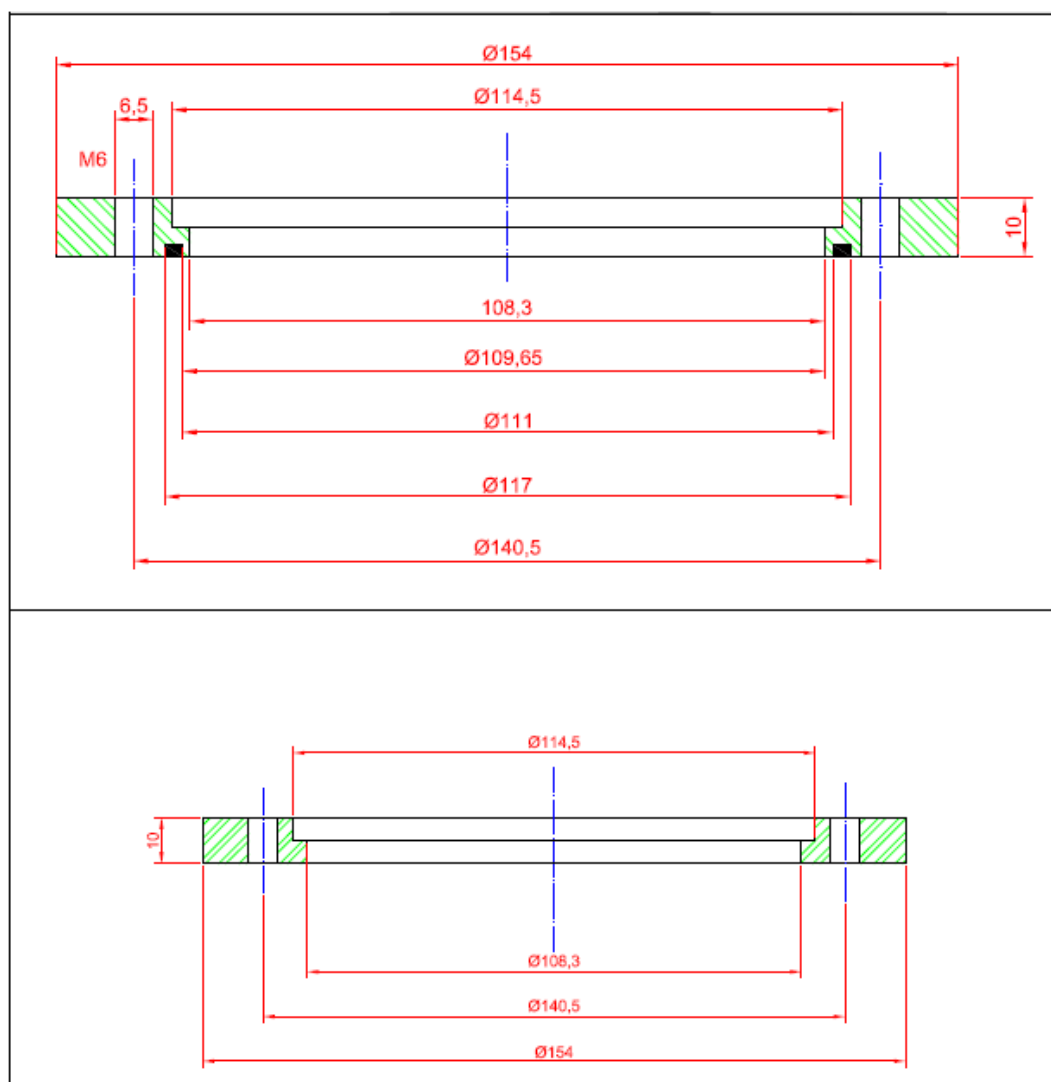


Figura 20 - Flange para usinagem-CAP Reservatório de Mercúrio

Engate – Rápido é nome dado a uma conexão que é utilizada para conectar dois lados que tenham diâmetros diferentes. Neste caso o engate rápido será responsável por unir de um lado uma pipeta, com o diâmetro de 0,7 mm, e do outro o tubo de aço inox, com o diâmetro de 1/4".

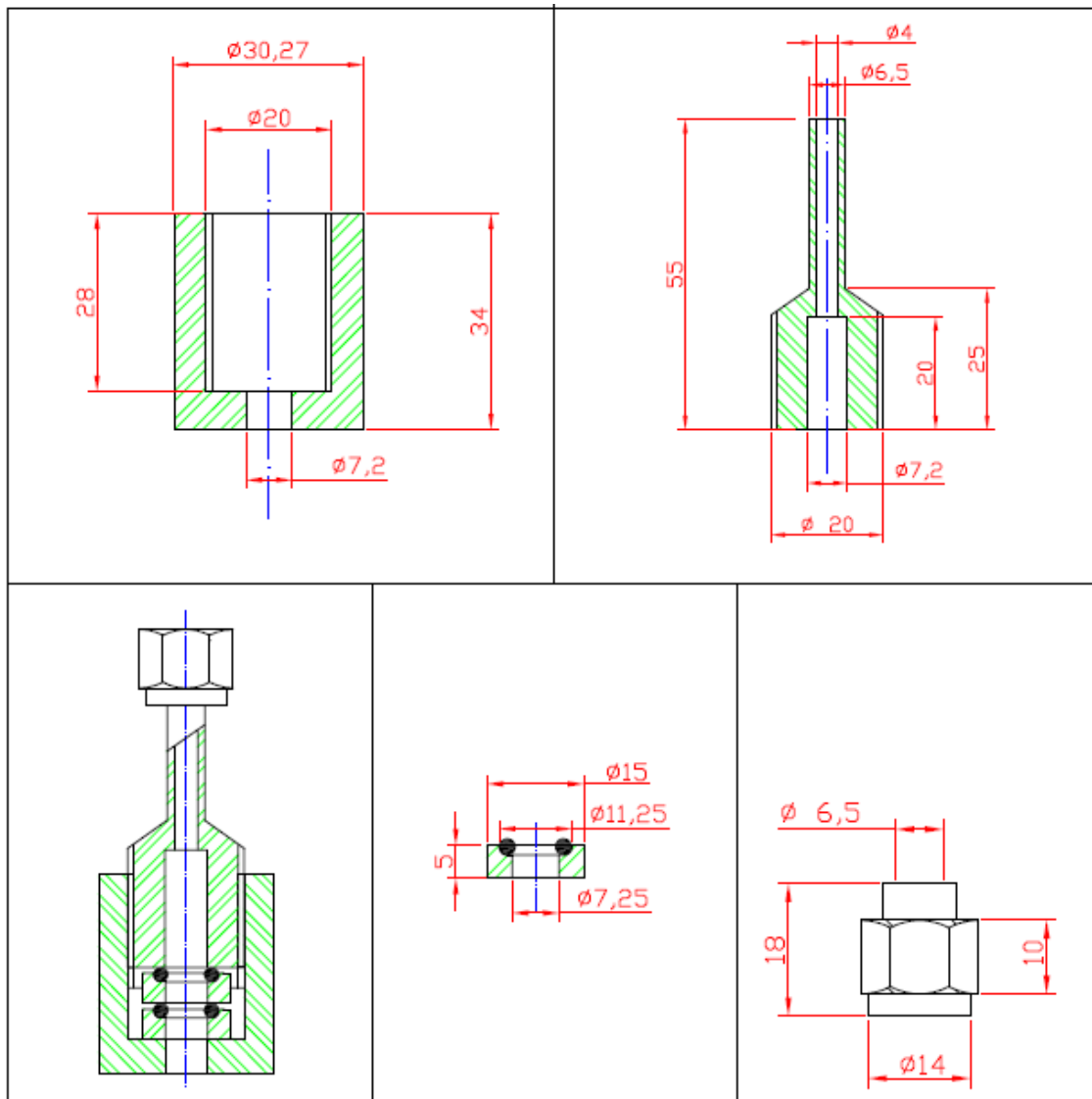


Figura 21-Engate Rápido para usinagem

3.4. Peças após o processo de soldagem

Volume de Compressão

- Lado Esquerdo: Cap com flange soldado e furação para parafusos M6 e conexão do tipo união para conectar um tubo de 1/4 de polegada.
- Lado Direito : Cap com flange soldado e furação para parafusos M6 e tubo soldado com rosca.



Figura 22: CAP do Volume de Compressão

Conexão ao Sistema de Vácuo

- Lado Esquerdo : Cap com flange soldado e furação para parafusos M6 e conexão para o sistema de vácuo do tipo ISO - KF DN16.
- Lado Direito: Cap com flange soldado e furação para parafusos M6, barra em aço inox soldada e tubo de aproximadamente 9.3 mm soldado com união na ponta para conexão de tubo de 1/4 de polegada.



Figura 23: CAP da Conexão ao Sistema de Vácuo

Reservatório de Mercúrio

- Lado Esquerdo : Cap com flange soldado e furação para parafusos M6 e união soldada para conexão com tubo de 1/4 de polegada.
- Lado Direito: Cap com flange soldado e furação para parafusos M6, conexões do tipo união (central : conexão para tubo de 1/4 de polegada; lateral : Conexão do tipo união para dosar o mercúrio).



Figura 24: CAP do Reservatório de Mercúrio

Observação : Todas as conexões usadas são da marca Swagelok de 1/4 de polegada.

3.5 Desenho Esquemático Completo

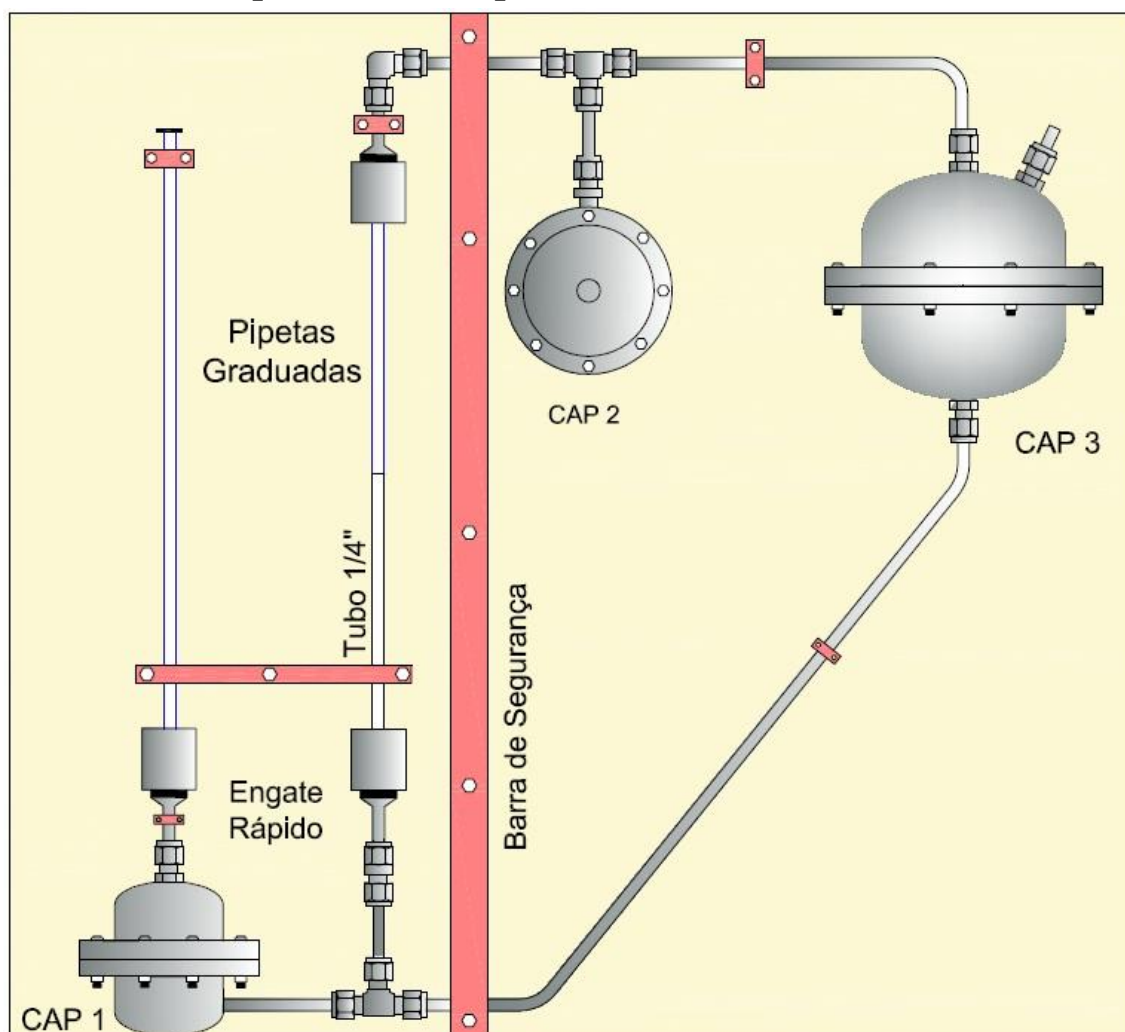


Figura 25- Esquemático Nomenclatura

Nomenclatura	Função do CAP
CAP 01	Volume de Compressão
CAP 02	Conexão ao Sistema de Vácuo e Eixo de Rotação
CAP 03	Reservatório de Mercúrio

Tabela 02 : Função dos CAP's

3.6 Limpeza do Vacustat Metálico

Com todas as peças e conexões soldadas adequadamente iniciamos o processo de limpeza de todos os itens que compõem o novo Vacustat. Devemos executar uma limpeza química para retirada de alguns resíduos no aço. É importante lembrar que todo o projeto, incluindo as peças e conexões adicionais, passaram por uma limpeza constante durante o processo de furação e polimento.

Possíveis impurezas podem provocar erros na leitura da pressão. Levando em conta que teremos uma pipeta com um orifício extremamente pequeno, qualquer impureza pode tampar esse orifício e vedá-lo, afetando todo o sistema.

Para uma limpeza completa submetemos o sistema aos seguintes passos:

- ❖ Remoção do óleo com um solvente apropriado

- Utilizamos álcool isopropílico e flanelas brancas.

- ❖ Enxágue com água destilada

- ❖ Secagem adequada com jato de nitrogênio

- Após o jato de nitrogênio as peças foram embaladas com papel alumínio para se evitar contato com impurezas do ar.

3.6.1 Fotos das Peças após limpeza



Figura 26 Engate-rápido e Anilhas: após limpeza e jato de nitrogênio



Figura 27- Engate-rápido e Anilhas: após limpeza e jato de nitrogênio



Figura 28- Tubos de 1/4 e Conexões :submersos em Álcool Isopropílico

3.7 Volume do Cap de Compressão

Para determinarmos a faixa de pressão que o novo Vacustar pode alcançar , temos que determinar o volume do Cap 1 , que é o responsável pela compressão. O volume desse Cap foi determinado através de um becker pequeno com água. O Cap ainda não possuía os flanges e nem a furação quando foi submetido a este tipo de medição. Esse cap foi colocado sobre um superfície reta. Asseguramos a planicidade através do uso de um nível. O Cap 1 foi enchido com água, utilizando-se uma seringa para que não se formassem bolhas de ar, as quais poderiam variar o valor do volume.



Figura 29- CAP 1 do volume à ser comprimido

Quantidade de Medidas	2" - Volume de Compressão- Litros
1	0,140
2	0,125
3	0,140
4	0,125
5	0,140
Média	0,134
Conversão p/ litros	(0,134 ± 0,008) L

Tabela 03: Cálculo do Volume de Compressão em Litros

$$V_{\text{CAP1}} = 0,134 \text{ L}$$

3.8 Cálculos do Novo Vacustat

3.8.1 Equacionamento Literário

O novo Vacustat, como dito anteriormente baseia-se em leis simples, são elas: Lei de Boyle Mariotte e Lei de Stevin.

Para que o mercúrio fosse colocado, o sistema estava no modo de medição e o reservatório de mercúrio está voltado para cima. À medida que o sistema ia pesando, o reservatório de mercúrio tendia a girar para baixo. A pipeta estava sem a tampa para que fosse possível nivelar a quantidade de mercúrio. Para evitarmos uma rotação brusca após completarmos o nível de mercúrio, conseguimos travar o sistema usando uma barra de madeira no centro.

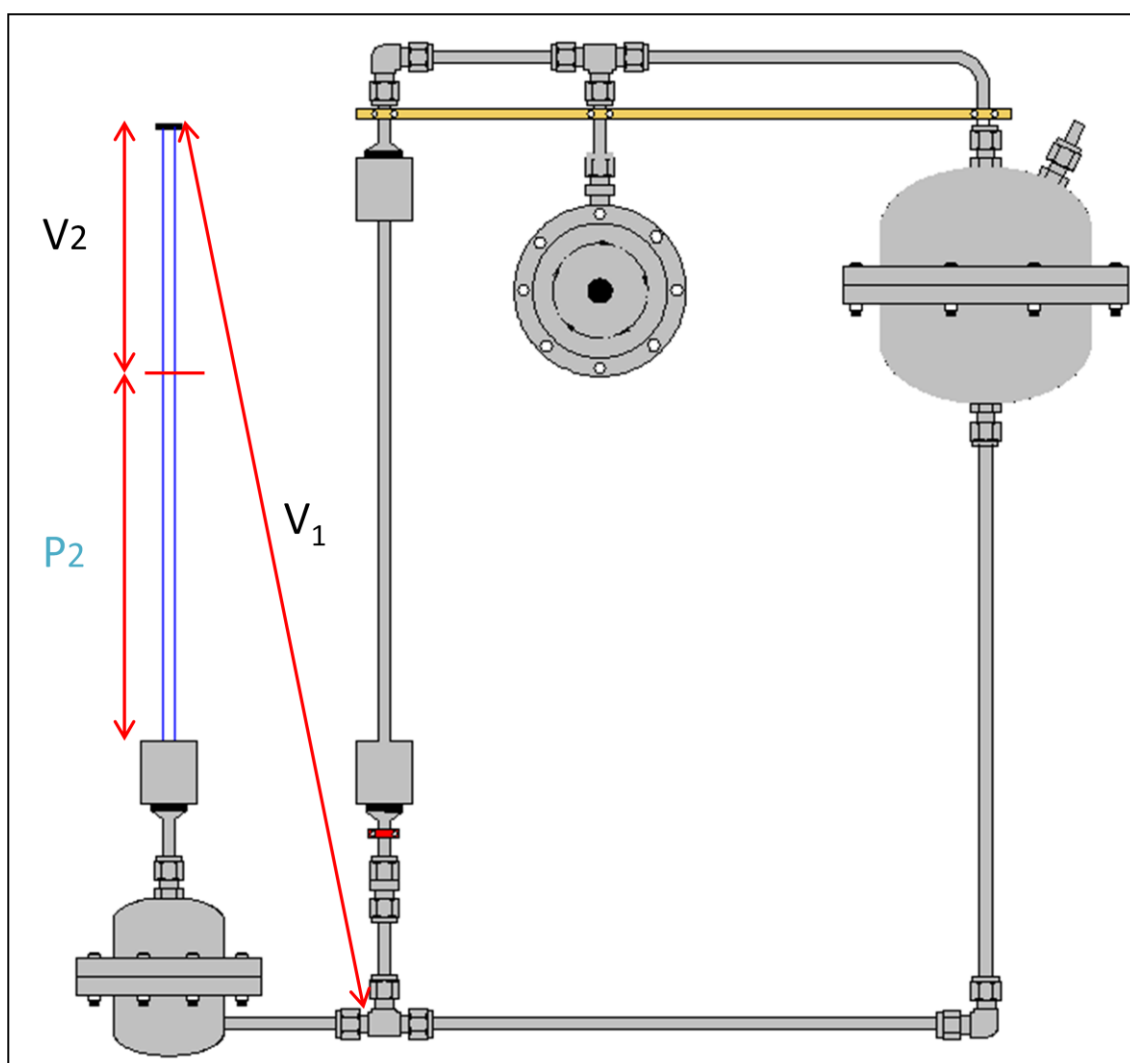


Figura 30- Esquemático Cálculos

Todo o volume de mercúrio está no reservatório , hermeticamente vedado. O manômetro Vacustat é conectado ao sistema a ser medido, através de uma conexão KF16 que se encontra na parte traseira do centro de rotação. Para iniciarmos as medições, rotacionamos o manômetro vagorosamente para direita (sentido anti-horário). Desta forma , o mercúrio irá sair do reservatório e começar a descer em sentido ao volume de compressão , ocupando o tubo em aço inox e também o volume de compressão (primeiro Cap). Quando o medidor está em 90° graus podemos ver que o mercúrio ocupa somente uma parte da pipeta. A distância entre a ponta da pipeta até onde sobe o mercúrio é a incognita h (altura da coluna de mercúrio). Em posse desse valor conseguimos determinar a pressão. Abaixo será demonstrada a equação que rege esta situação.

Lei de Boyle -Mariotte

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

Onde:

P_1 = Pressão Inicial

V_1 = Volume Inicial

P_2 = Pressão Final

V_2 = Volume Final

Adaptando para o Vacustat

P_1 = Pressão a ser medida

V_1 = Volume da da conexão “T” até a primeira pipeta

P_2 = Pressão na Compressão

V_2 = Volume Final na primeira pipeta (parte acima do mercúrio)

Mas ,

$$V_2 = h_2 \cdot A_p$$

Onde:

h_2 = Altura da pipeta no volume de compressão até onde termina a ponta da agulha, usada para tampar a pipeta

A_p = Área da secção transversal da pipeta

Na pressão P_2 a lei que rege esse momento é a Lei de Stevin , já que a compressão se baseia na compressão do mercúrio na segunda coluna. Deste modo, temos :

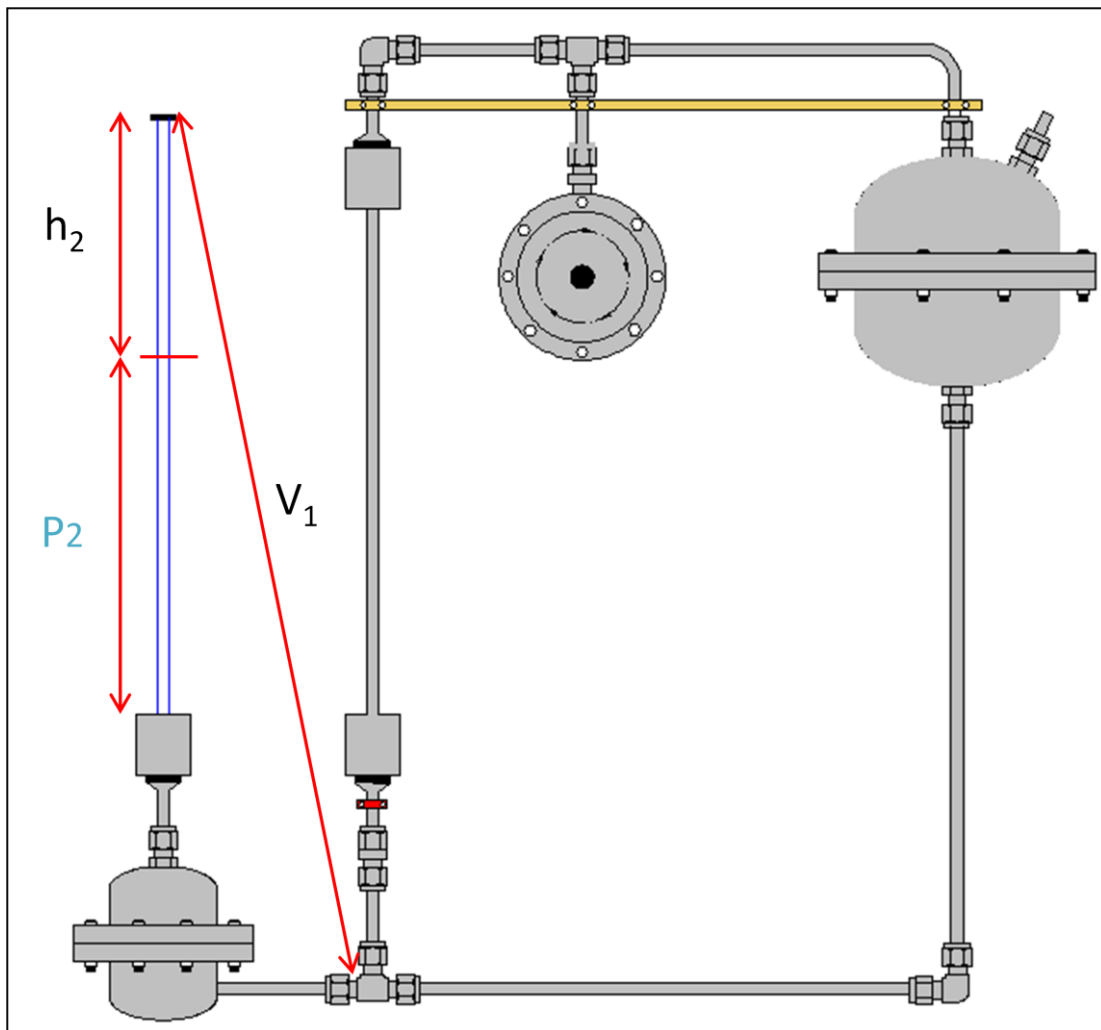


Figura 30- Esquemático Cálculos- Parte II

Lei de Stevin

$$P_2 = P_1 + \rho \cdot g \cdot h_2$$

Onde:

P_2 = Pressão na Compressão

P_1 = Pressão a ser medida

ρ = Densidade do mercúrio

g = Aceleração da gravidade

h_2 = Altura da pipeta no volume de compressão

Temos as seguintes equações :

$$\begin{cases} P_1 V_1 = P_2 \cdot h_2 \cdot A_p \\ P_2 = P_1 + \rho \cdot g \cdot h_2 \end{cases}$$

Resolvendo esse sistema, temos:

$$P_1 V_1 = (P_1 + \rho \cdot g \cdot h_2) \cdot (h_2 \cdot A_p)$$

$$P_1 V_1 = P_1 \cdot (h_2 \cdot A_p) + (\rho \cdot g \cdot A_p \cdot (h_2)^2)$$

Colocando P_1 em evidência :

$$P_1 \cdot (V_1 - h_2 \cdot A_p) = \rho \cdot g \cdot A_p \cdot (h_2)^2$$

$$P_1 = \frac{\rho \cdot g \cdot A_p \cdot (h_2)^2}{(V_1 - h_2 \cdot A_p)}$$

3.8.2 Equacionamento Matemático

Determinação da área da secção transversal da pipeta

Considerando o volume de um cilindro para pipeta temos:

$$V_2 = 0,01 \text{ mL} = 1 \times 10^{-2} \text{ mL}$$



Figura 31- Foto da graduação da pipeta

Transformando o valor acima em litros temos:

$$(1 \times 10^{-2}) \times (1 \times 10^{-3}) = 1 \times 10^{-5} \text{ litros}$$

$$V_2 = 1 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Transformando para metros cúbicos temos:

$$(1 \times 10^{-5}) \times (1 \times 10^{-3}) = 1 \times 10^{-8} \text{ m}^3$$

$$V_2 = 1 \times 10^{-8} \text{ m}^3$$

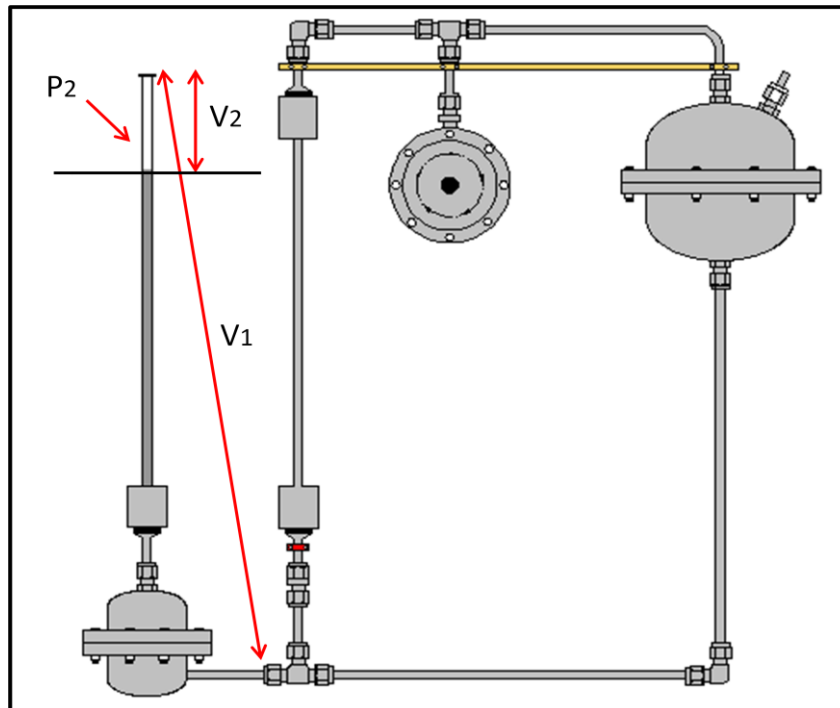


Figura 32- Esquema Vacustat

Supondo que a altura seja igual a 2 (dois) centímetros temos que:

$$h_2 = 2 \times 10^{-2}$$

Onde h_2 = Altura da pipeta

Observação: O valor de V_1 abrange até o topo da pipeta.

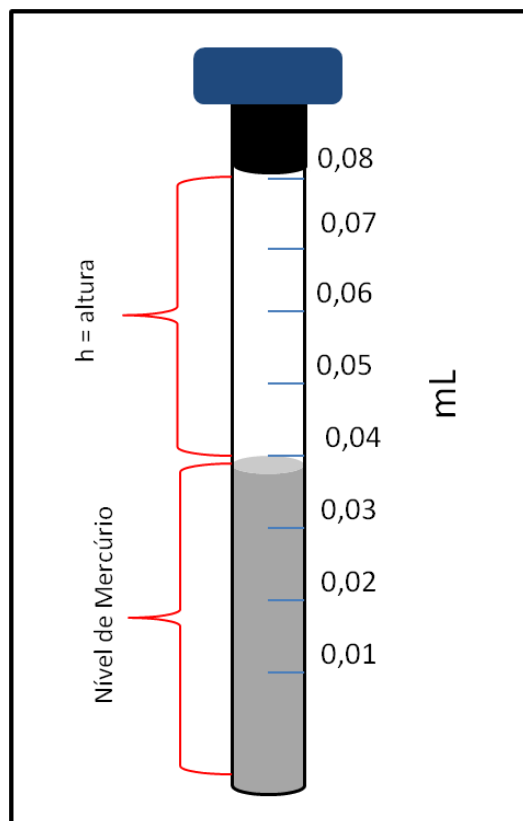


Figura 33- Esquema coleta do valor da altura h

Sabendo-se que:

$$V_2 = h_2 \cdot A_p$$

Como possuímos os valores do volume e supomos uma altura, conseguimos determinar a área da pipeta, através da equação:

$$A_p = \frac{V_2}{h_2} = \frac{1 \times 10^{-8}}{2 \times 10^{-2}} = 0,5 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_p = 5 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

Aproximando o volume da pipeta para o volume de um cilindro, além de obtermos o volume também conseguimos obter o valor do diâmetro, dado por:

$$A_p = \frac{\pi}{4} d^2 \Rightarrow d^2 = \frac{4A_p}{\pi}$$

Substituindo temos:

$$d^2 = \frac{4Ap}{\pi} = \frac{4 (5 \times 10^{-7})}{3,141592} = 636,6 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$d = \sqrt{636,6 \times 10^{-9}} = 798 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$d = 0,798 \text{ mm}$$

Cálculo para V_1 :

Onde:

V_1 = Volume da conexão “T” até a primeira pipeta

No volume V_1 , temos que considerar o volume do Cap de compressão, os tubos de 1/4”, até o topo da pipeta.

Como o volume $V_1 \gg V_2$, consideramos o valor V_2 como sendo zero

Então:

$$V_1 = 1,34 \times 10^{-4} \text{ L}$$

Substituindo os termos, temos:

$$P_1 = \frac{\rho \cdot g \cdot Ap \cdot (h_2)^2}{(V_1 - h_2 \cdot Ap)}$$

Onde:

ρ = Densidade do mercúrio para 20 °C $\rightarrow \rho = 13\,600 \text{ kg.m}^{-3}$

g = Aceleração da gravidade para São Paulo $\rightarrow g = 9,78 \text{ m.s}^{-2}$

$A p$ = Área da secção transversal da pipeta $\rightarrow \text{m}^2$

Obs: Informações retiradas do livro Fundamentos da Química – Peter Atkins

$$P_1 = \frac{(13600) \cdot (9,78) \cdot (5 \times 10^{-7}) \cdot (h_2)^2}{1,34 \times 10^{-4}}$$

$$P_1 = 496,30 (h_2)^2$$

A equação P_1 é a responsável pela faixa de vácuo que o novo Vacustat pode alcançar. Podemos fazer algumas suposições quanto ao valor de h^2 , responsável por indicar a altura em que o mercúrio está na pipeta.

h_2 (m)	$(h_2)^2$ (m ²)	P_1 (Pa)	P_1 (mbar)
1×10^{-2}	1×10^{-4}	5×10^{-2}	5×10^{-4}
2×10^{-2}	4×10^{-4}	2×10^{-1}	2×10^{-3}
3×10^{-2}	9×10^{-4}	$4,5 \times 10^{-1}$	$4,5 \times 10^{-3}$
4×10^{-2}	16×10^{-4}	8×10^{-1}	8×10^{-3}
5×10^{-2}	25×10^{-4}	1	1×10^{-2}
6×10^{-2}	36×10^{-4}	2	2×10^{-2}
7×10^{-2}	49×10^{-4}	2	2×10^{-2}
8×10^{-2}	64×10^{-4}	3	3×10^{-2}
9×10^{-2}	81×10^{-4}	4	4×10^{-2}
10×10^{-2}	100×10^{-4}	5	5×10^{-2}

Tabela 04: Manômetro Vacustat x Manômetros de Membrana Capacitiva

3.9 Montagem do Sistema

O novo Vacustat se baseia no mesmo princípio de medição do medidor Vacustat em vidro. De modo que possuímos as mesmas quantidades de recipientes, sendo eles: compressão, rotação e reservatório de mercúrio. Mas não podemos nos esquecer de que este sistema é bem maior e bem mais pesado, sendo necessária a usinagem de peças extras para travarmos esse sistema. Para que o sistema não sofra tantas vibrações, optamos pela colocação de abraçadeiras em alguns pontos específicos e também desenvolvemos uma caixa de modo que o sistema rotacione dentro dela. Utilizamos madeiras que já possuíamos, em torno de dois centímetros de espessura e devidamente lixadas.

3.9.1 Peças de Travamento do Sistema

Travas em Madeira

1. Desenvolvida para travar os três recipientes: Cap do Reservatório de mercúrio, Cap de rotação e engate rápido (à esquerda).

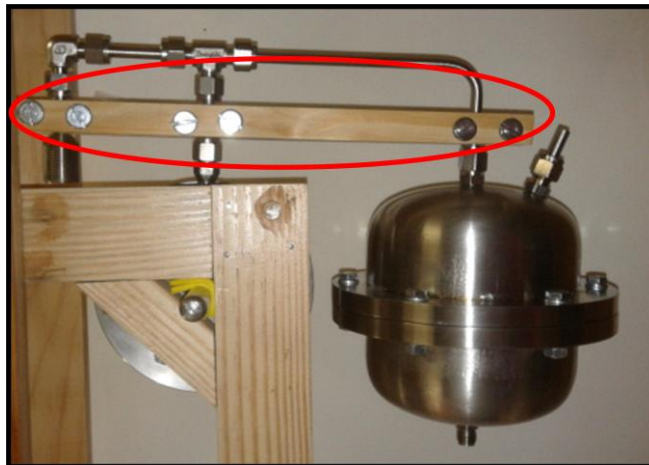


Figura 34- Abraçadeira de madeira

2. Desenvolvida para fazer com que o sistema rotacione sem entortar, de modo que todo o peso fique sobre a madeira e não no sistema, muito menos sobrecarregue um dos lados. Na parte central, podemos observar uma borracha amarela, esta é um pedaço de E. V. A (etileno-vinil acetato) que serve para diminuir o atrito entre madeira e metal e também para que o sistema não tenda a ir para trás e nem para frente

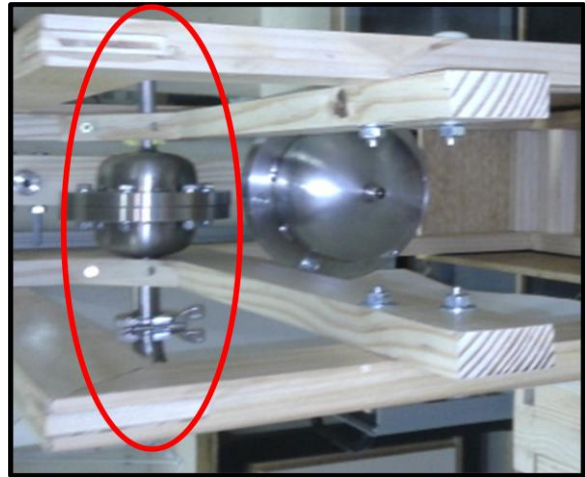
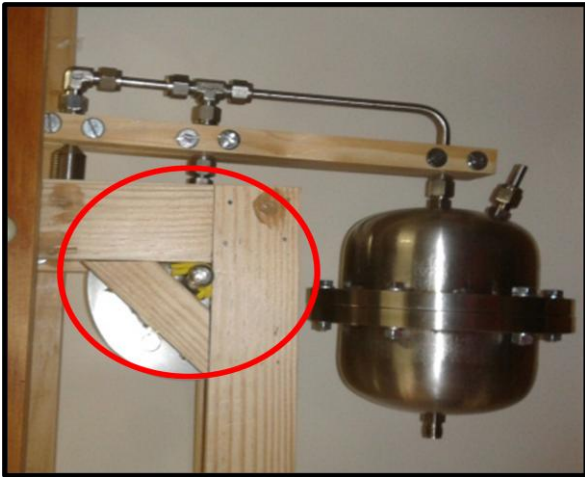


Figura 35- Trava em madeira para centro de rotação



Figura 36- Sistema de rotação em vista lateral

3. Desenvolvido para travar o engate rápido e acoplar a abraçadeira em nylon (em vermelho).



Figura 37- Trava em madeira para engate rápido

Travas em Nylon

4. Desenvolvida para travar o engate-rápido na placa de madeira que está na parte de trás.

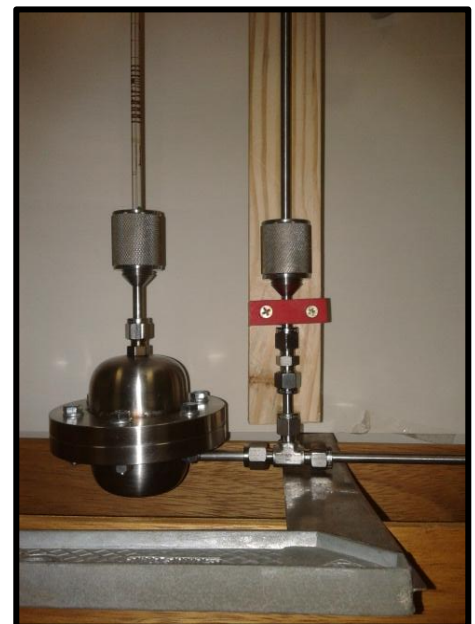
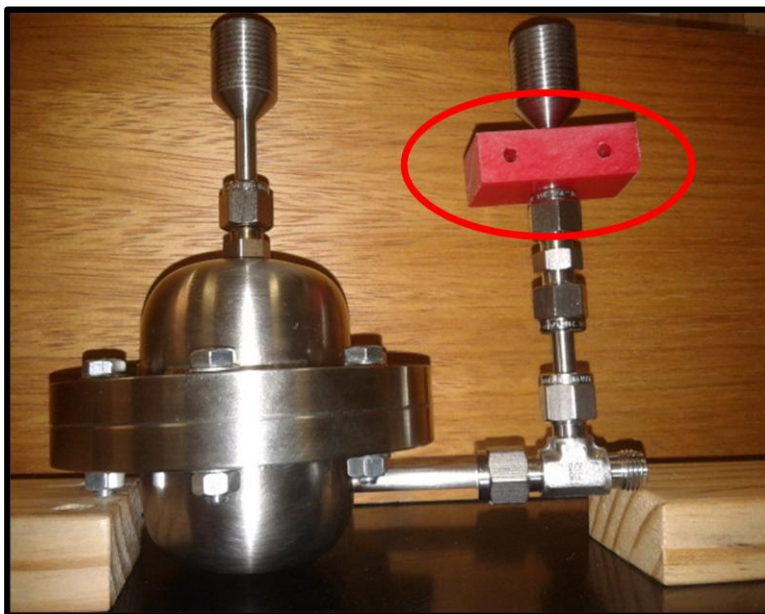


Figura 38- Abraçadeira de Nylon

3.9.2 A Primeira Montagem

A primeira montagem só aconteceu a partir do momento em que tínhamos todas as peças, conexões (parafusos, “t”, cotovelos, curvas, anilhas e vedações) limpas, e todas as travas necessárias para o sistema. É importante ressaltar que posição inicial do sistema é com o reservatório de mercúrio na horizontal.



Figura 39- Sistema montado

3.9.3 O Mercúrio

É o um elemento do grupo dos metais que, em condições naturais de temperatura e pressão, se apresenta na forma líquida. Foi um dos primeiros elementos a ser encontrado e estudado, era conhecido como "*ágyros khytós*" (em grego, prata derretida), devido à semelhança de sua cor com o elemento prata. Possui o nome Mercúrio em homenagem a um deus grego-romano. O símbolo do elemento veio de origem grega, já que “Hg” significa na verdade "*hydragyrum*" que também significa prata líquida. O seu peso específico é de aproximadamente $13,6 \text{ g/cm}^3$, seu ponto de fusão ocorre em $38,87$, graus Celsius. Sua massa atômica é de 200u .

3.9.4 Limpeza do Mercúrio

A limpeza do mercúrio foi feita com filtros comuns de café, que foram passados pela sua superfície, de forma que foi removido qualquer tipo de sujeira, como, por exemplo, faíscas de madeira. Lembrando que o manipulador do mercúrio estava, com luvas, óculos de proteção e máscara. Após a limpeza, o mercúrio foi colocado em um vidro e tampado para que não existisse qualquer tipo de ventilação que pudesse espalhar o vapor de mercúrio para as outras áreas.

4. VACUSTAT EM VIDRO

Para que existisse uma familiarização com o sistema antigo, algumas medições foram feitas até mesmo para que se pudesse, no decorrer do trabalho, comparar o novo medidor com o Vacustat em vidro. Utilizamos o sistema abaixo que é composto por:

- uma bomba mecânica de palhetas
- uma câmara de 42 litros
- manômetro Vacustat
- 2 Manômetros de Membrana Capacitiva

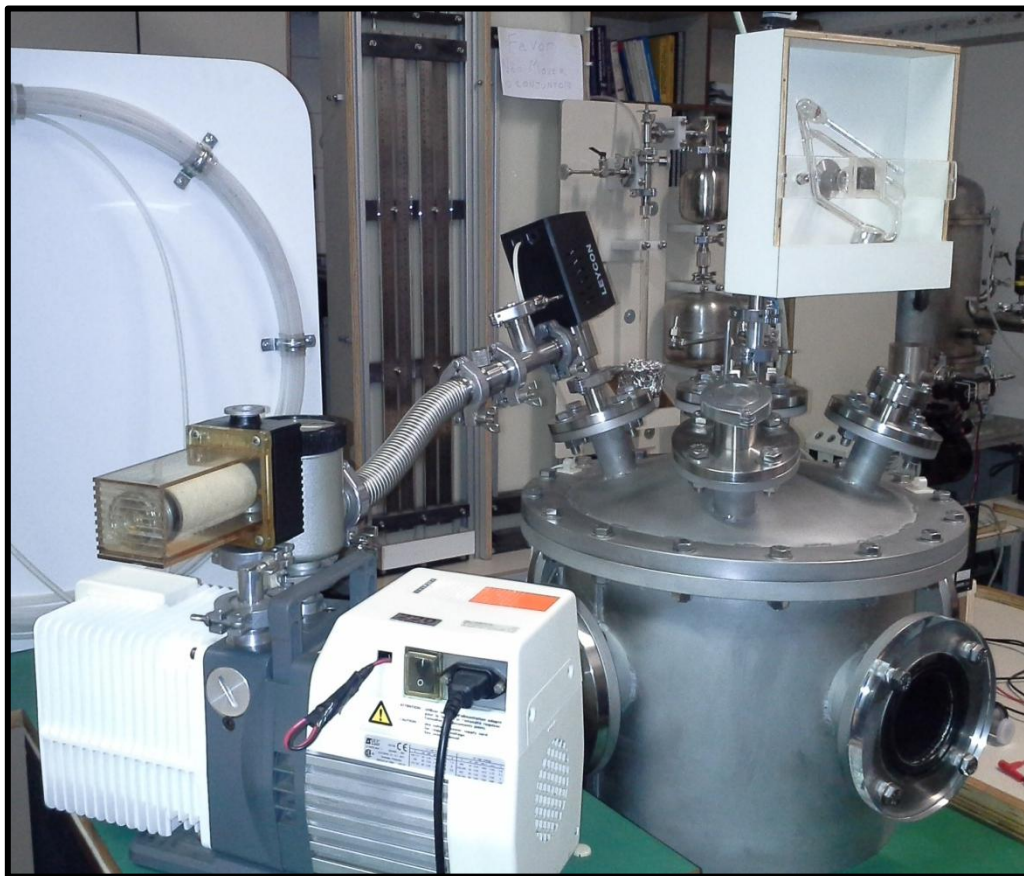


Figura 40- Sistema de Vácuo

Utilizamos três manômetros neste sistema, sendo dois deles manômetros de membrana capacitiva e um manômetro Vacustat em vidro. Todos esses manômetros são diretos, ou seja, determinam a pressão através de uma força sobre uma determinada área. Já o manômetro de membrana capacitiva, uma vez submetido à pressão, sofre uma alteração em sua membrana interna, possibilitando-nos aferir a pressão.

Conseguimos obter o seguinte gráfico:

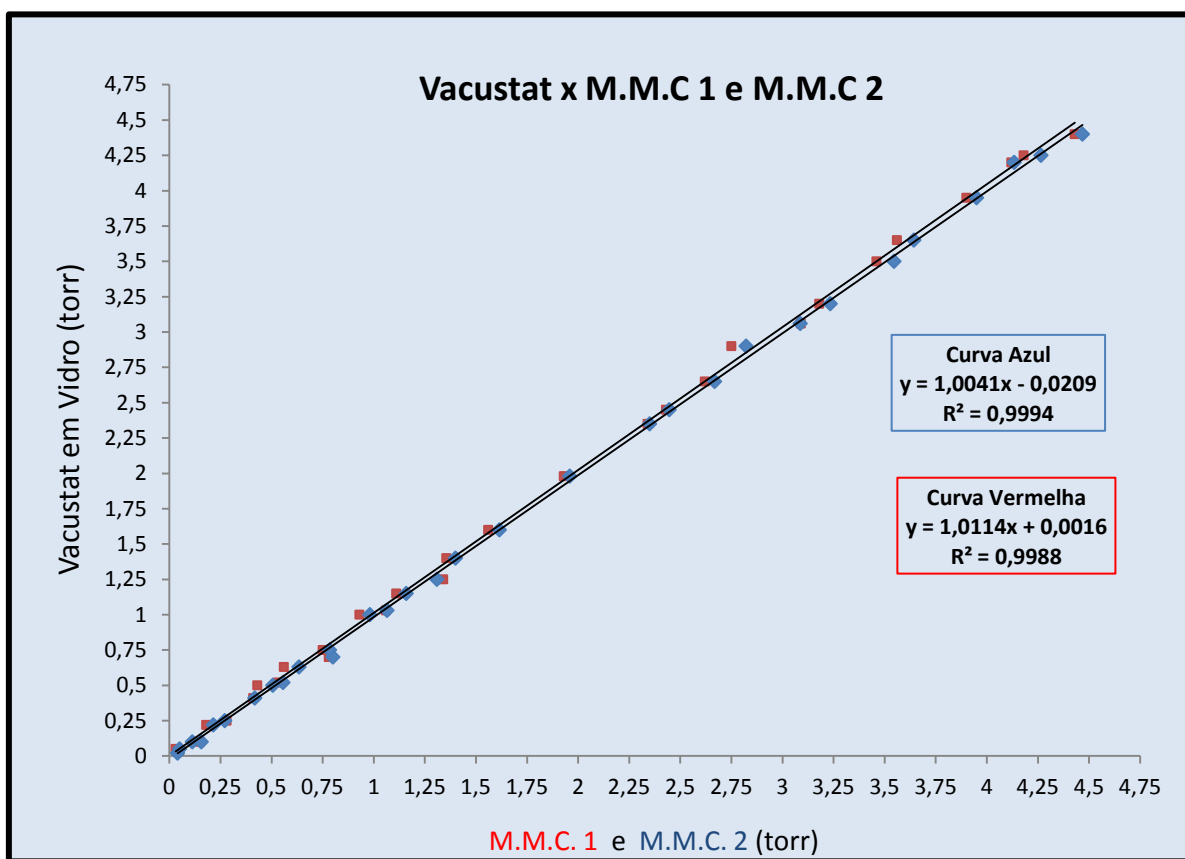


Gráfico 01: Manômetro Vacustat x Manômetros de Membrana Capacitiva

Sendo que:

M. M. C. = Manômetro de Membrana Capacitiva

- M. M. C 1 - 1000 Torr até 10^{-2} Torr
- M. M. C 2 - 100 Torr até 10^{-3} Torr

Essa medição além de proporcionar a familiarização com Vacustat em vidro, também serviu para que tivéssemos certeza que o manômetro Vacustat em Vidro estava funcionando em perfeito estado. Optamos em compará-lo com o manômetro de membrana capacitiva, pois é um manômetro que oferece uma ótima precisão.

Como podemos observar as duas curvas estão próximas uma da outra, ou seja, podemos afirmar que o manômetro Vacustat em vidro está funcionando corretamente, e está calibrado, podendo assim ser comparado com o novo Vacustat.

4.1 Vacustat Metálico x Vacustat em Vidro

4.1.2 Estrutura

Utilizamos os mesmos parâmetros estruturais do Vacustat em vidro para projetar o novo Vacustat. Podemos observar que o Vacustat em vidro possui uma marcação em sua segunda coluna de vidro, que é utilizada como marco zero, ou seja, garante que o medidor possa se encontrar totalmente na posição vertical, quando está em modo de medição. Esse método também foi utilizado no Novo Vacustat, através da colocação de uma segunda pipeta de vidro, onde conseguiríamos grafar um risco o marco zero, e assim garantir a simetria do sistema.

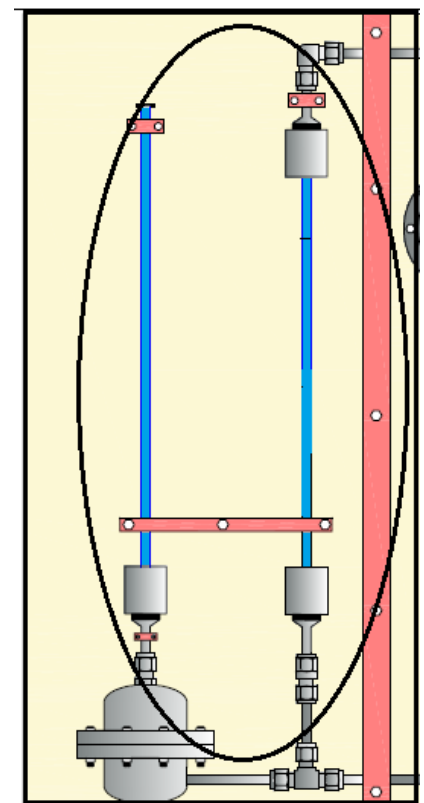


Figura 41: Manômetro Vacustat em vidro e Desenho esquemático Novo Vacustat

A primeira medição utilizando a segunda pipeta em vidro, não foi satisfatória, pois à medida que girávamos o sistema para pudéssemos comprimir o gás e assim obter a medição, a pipeta se quebrava. Diante dessa primeira medição a pipeta teve de ser removida, e em seu lugar foi colocado um tubo de aço de 1/4 de polegada, impedindo uma futura quebra. Porém, com essa alteração, não iríamos conseguir ver o nível do mercúrio, perderíamos assim nossa referência. Para que sanássemos essa limitação, recorremos a bases teóricas, a conhecida Lei de Stevin - Vasos Comunicantes. quando temos um líquido em equilíbrio, tem mesma altura em todos os ramos, e que a pressão exercida por um líquido depende apenas da altura desse líquido. Ou seja, se colocássemos o mercúrio com a primeira pipeta aberta para pressão atmosférica, conseguiríamos enxergar o nível do mercúrio através da primeira pipeta, que por consequência do teorema, teria a mesma altura no tubo de 1/4.

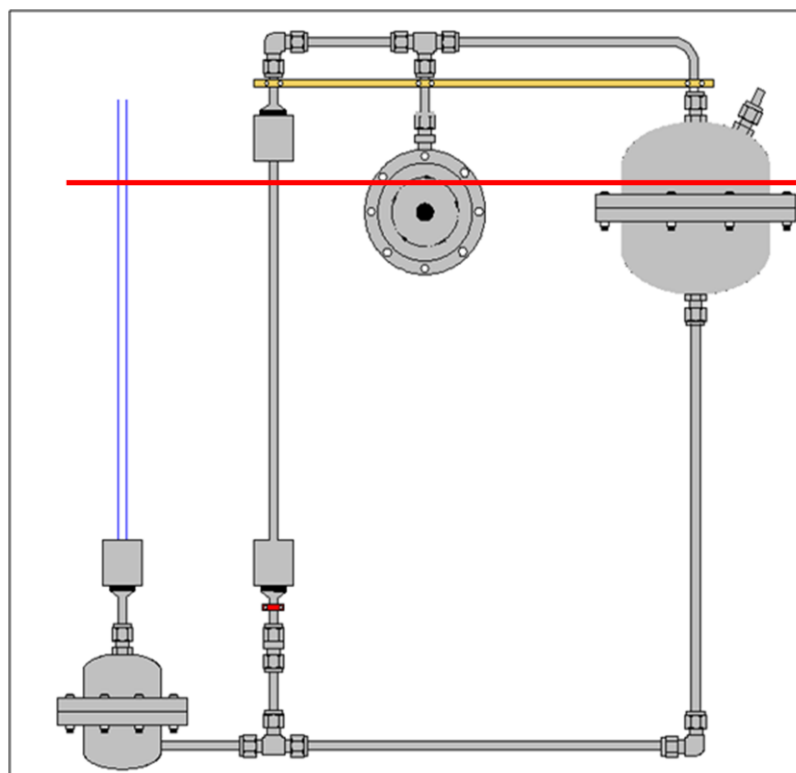
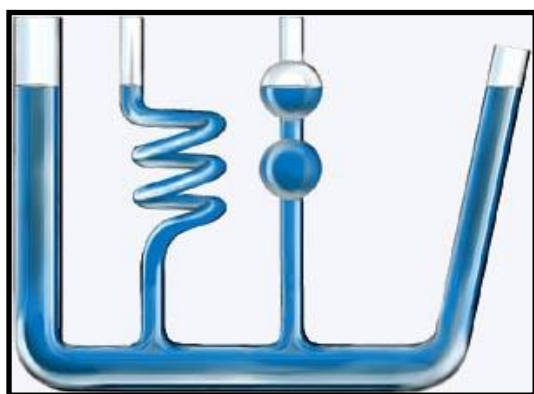


Figura 42 : Princípio dos Vasos Comunicantes e Vacustat Metálico

À medida que íamos adicionando mercúrio, o nível na pipeta ia subindo. Quando reparamos que a pipeta estava quase cheia, tínhamos de parar e marcar aquele ponto como nosso marco zero. Aquele ponto específico foi fechado utilizando-se uma agulha, um anel de vedação e um tubinho de pedaço de plástico, formando uma tampinha para a pipeta.

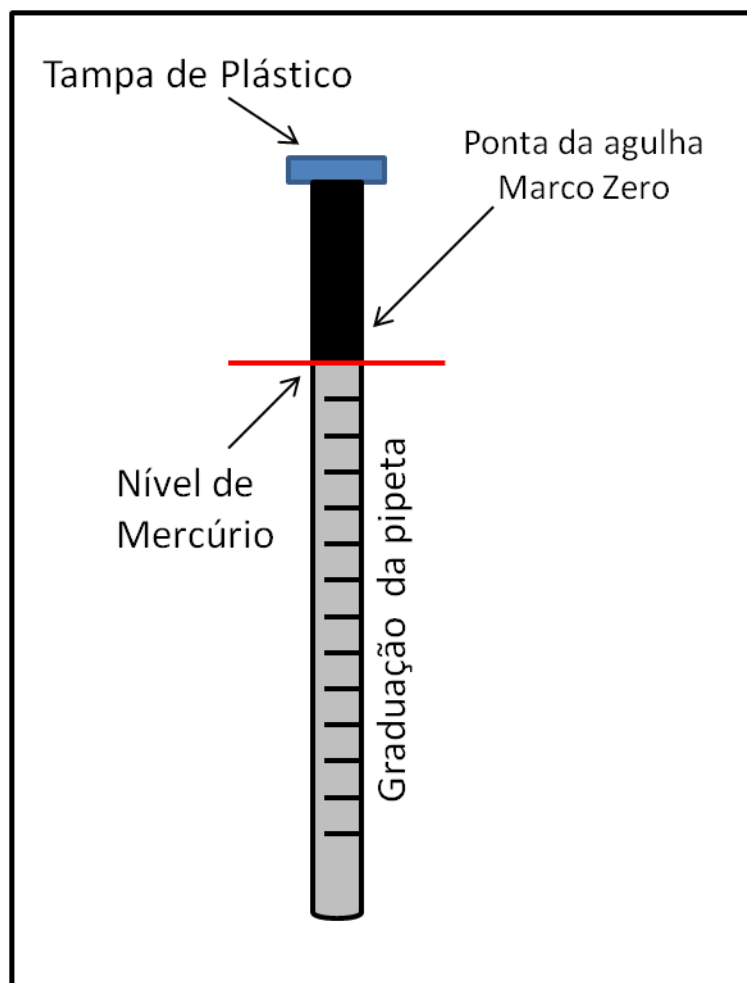


Figura 43 : Desenho Esquemático Pipeta

Com a colocação do tubo de aço inox, conseguimos deixar o sistema mais robusto, e seguro. A primeira pipeta não irá sofrer nenhum tipo de compressão, pois se encontra adicionada ao sistema, e sua parte superior está solta.

Diante dessa adaptação pudemos concluir que o segundo capilar tanto no Vacustat em vidro como no Vacustat em metal serve para fazer o vácuo, e não para enxergar o nível de referência.

4.1.3 O Peso

O medidor Vacustat em vidro considerando sua caixa de segurança pesa aproximadamente dois quilos, já o novo Vacustat pesa aproximadamente vinte quilos. O excesso de peso no novo medidor torna as medições mais difíceis, já que para a medição mesmo deve ser girado a 90 graus em sentido anti-horário. Por ser um protótipo, não nos preocupamos com as escolhas dos materiais, pois utilizamos os materiais já existentes no laboratório de tecnologia do vácuo- LTV.

5.PARTE EXPERIMENTAL NOVO VACUSTAT

O princípio de medição do medidor Vacustat Metálico, é semelhante ao Vacustat comum em vidro, pois à medida que saímos do modo de expansão e começamos a rotacionar o medidor, vemos que o mercúrio tende a descer pelo tubo e ocupar o volume de compressão (CAP à esquerda). Conseguimos através da primeira pipeta, medir quantos centímetros o mercúrio subiu e identificar o valor da pressão que é dada em *mmHg* (milímetros de mercúrio).

O sistema de vácuo utilizado nesse projeto é bastante simples. Em sua composição temos: uma câmara de vácuo de 42 litros; uma válvula agulha; um manômetro Vacustat em vidro; o novo manômetro Vacustat e por último uma bomba mecânica de palhetas rotativas. Mesmo sistema usado para nos familiarizarmos com o Vacustat em Vidro.

Para darmos início as medições, conectamos o novo Vacustat na câmara de vácuo, utilizando uma conexão do tipo ISO KF16, onde foi conectada uma mangueira de plástico de aproximadamente um metro e 1/4 de polegada de diâmetro . Optamos por não utilizar uma mangueira flexível em metal, pois conforme girássemos o sistema esta mangueira poderia se torcer e atrapalhar as medições.



Figura 44 : Esquema Bomba Mecânica



Figura 45 : Esquema Bomba Mecânica

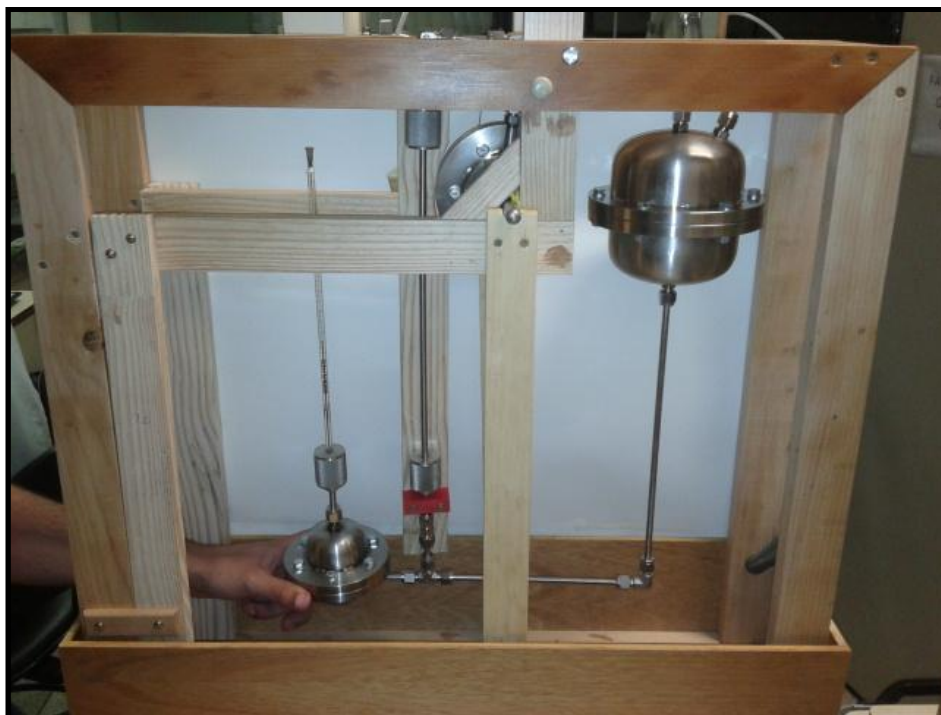


Figura 46 : Esquema Bomba Mecânica

5.1 Medições - Novo Vacustat

Com auxílio do software Excel conseguimos obter o seguinte gráfico:

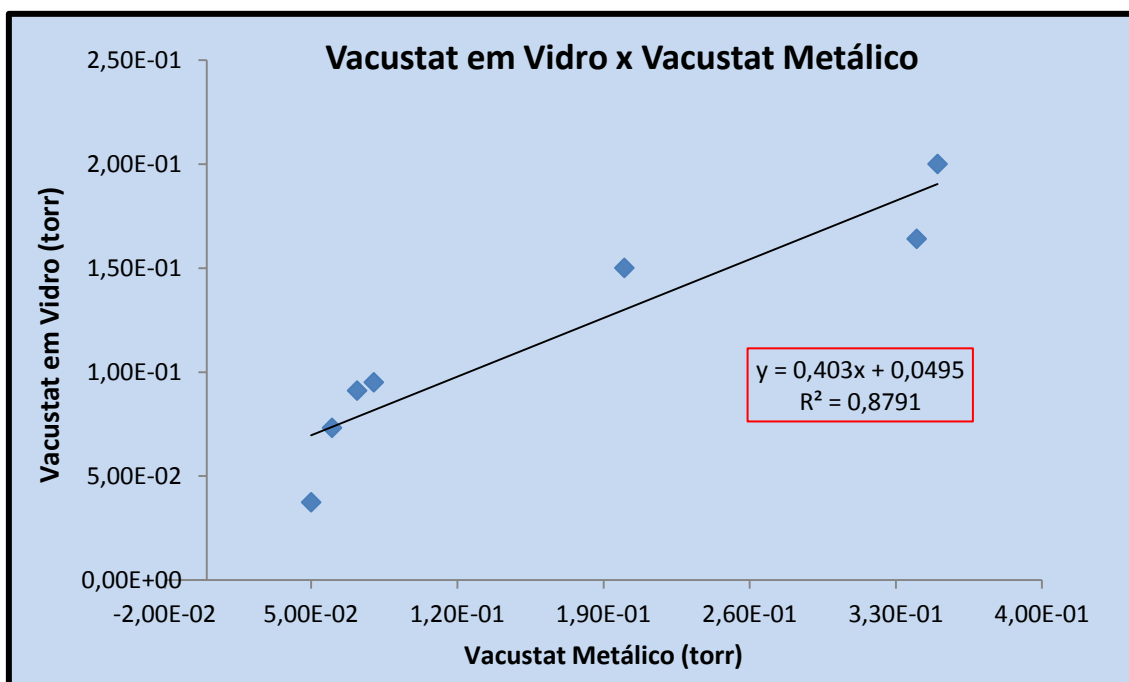


Gráfico 02: Vacustat em Vidro x Vacustat Metálico

Vacustat	
Vidro (torr)	Metálico (torr)
5,00E-02	3,73E-02
6,00E-02	7,31E-02
7,20E-02	9,10E-02
8,00E-02	9,50E-02
2,00E-01	1,50E-01
3,50E-01	2,00E-01
3,40E-01	1,64E-01

Neste experimento conseguimos perceber que o novo Vacustat em algumas medições, possui uma pressão maior que a do Vacustat em vidro. Isso se deve a baixa condutância pelo local onde o novo Vacustat está sendo bombeado. Por ser um primeiro protótipo, os valores são válidos e se aproximam além de se encontrarem na mesma ordem de grandeza.

6. CONCLUSÃO

O protótipo de manômetro Vacustat foi projetado com um novo tipo de material, em aço inox, trazendo maior estabilidade e segurança ao medidor, fazendo com que este deixasse de ser um manômetro frágil.

Durante o processo de medição tivemos que remover uma das pipetas, pois à medida que girávamos o sistema a pipeta era quebrada. A quebra dessa pipeta nos possibilitou, recorrer a Lei de Stevin que diz que a pressão em pontos iguais só depende da altura que em o fluido se encontra, percebemos que não era necessária a segunda pipeta, e desta forma colocamos um tubo de aço em seu lugar. E deste modo observamos o nível de mercúrio usando apenas a primeira pipeta, onde nela tivemos de definir o ponto zero. Marcamos o zero através da introdução de uma agulha em seu orifício na parte superior. Conseguimos perceber também que o segundo capilar no Vacustat em vidro não serve somente para marcar o zero, e sim para fazer o vácuo do sistema.

A utilização de flanges em todos os CAP's facilitou bastante a limpeza dos mesmos, e felizmente não tivemos nenhum problema a ponto de termos de desmontá-lo durante as medições. A construção da estrutura de madeira trouxe bastante segurança ao sistema, não tivemos nenhuma movimentação brusca, por queda ou qualquer vibração indesejada.

Conseguimos também mostrar que a estrutura funcionou perfeitamente com ligações em 90 graus como, por exemplo, a ligação entre o reservatório de mercúrio e o segundo capilar, já que no Vacustat original temos uma curva em torno de 45 graus.

Através dos cálculos do Novo Vacustat conseguimos determinar a sua devida equação. Supondo alguns valores para a altura conseguimos provar que o mesmo pode medir pressões de até 10^{-4} mbar, caindo assim uma ordem de grandeza quando comparado com o Vacustat original, que se limita em 10^{-3} mbar.

Conseguimos traçar um gráfico do Vacustat em vidro versus Novo Vacustat, e desta forma observamos que as curvas se assemelham, e que as ordens de grandezas são sempre as mesmas. Todas as medições obtidas estão na faixa de pré-vácuo, afinal utilizamos somente uma bomba mecânica de pré-vácuo. Para níveis em alto- vácuo

temos que aprimorar a conexão, para colocar uma mangueira em aço inox com um comprimento extenso para não torcer o sistema.

O protótipo ainda pode ser aprimorado, no que diz respeito ao tipo de material de construção. Pode ser feito com chapas mais finas, fazendo com que o sistema fique mais leve. Durante algumas apresentações do projeto surgiram algumas ideias de professores e alunos, como por exemplo, o sistema ser feito com polímeros, porém os polímeros possuem alta taxa de desgaseificação, o que implicaria em incerteza nas medições. Outra ideia dada foi a construção do Novo Vacustat em vidro, mas além do gasto excessivo nós recairíamos sobre a fragilidade do mesmo. O melhor aprimoramento é fazer o manômetro com chapas mais finas em aço-inox. Na parte frontal, um motor de passo pode ser acoplado, fazendo que com o sistema rotacione sozinho, e o manipulador não precise movê-lo fisicamente. O volume de compressão pode ser feito em tamanho maior, para que se alcancem ordens menores de grandeza (se mantenha em alto-vácuo).

7. GLOSSÁRIO

- ✓ Fole Metálico: Mangueira flexível feita em aço inox.
- ✓ Válvula Agulha: Permitem um controle de volume que restringe o fluido em linhas pequenas.
- ✓ Engate- Rápido: Tipo de conexão que permite unir dois lados com diâmetros diferentes.
- ✓ CAP - Cuia em aço inox

8.REFERÊNCIAS

- [1] TAPLETE, R. S., “COMPARAÇÃO ENTRE MEDIDORES DIRETOS E INDIRETOS DE PRÉ-VÁCUO”. Trabalho de graduação apresentado na Faculdade de Tecnologia de São Paulo FATEC-SP, SP, Brasil, 2011.
- [2] SGUBIN, L.G., “ APRIMORAMENTO DA MONTAGEM, CALIBRAÇÃO E OPERAÇÃO DO MEDIDO PADRÃO DE VÁCUO McLeod.
- [3] Relatório final CNPq Renan Silva Taplete.
- [4] O’HANLON, John F. *A Users Guide to Vacuum Technology*. 1 ed. Canada, 1937
- [5] MOUTINHO, A. *Tecnologia do Vácuo*. 1. ed. Olivais: Ediouro, 1980.
- [6] DEGASPERI, F.T., Contribuições para a Análise, Cálculo e Modelagem de Sistemas de Vácuo. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas UNICAMP, 2006.
- [7] BONJORNO, C. *Temas da Física*. Volume 2. 1 ed FTD, 1998.
- [8] OHAYON, Piere *Padrões e Unidades de Medida*. 1ed Qualimark, 1998
- [9] SHAMES, I.H., *Mecânica dos Fluidos*. Editora Edgard Blücher Ltda, , 1973.

Catálogos

- [10] Pfeiffer Vacuum -*The Vacuum Technology book*-Volume II, 2013
- [11] Edwards Vacuum- 2008

9. ANEXOS

Bomba Mecânica

É uma bomba utilizada na produção de vácuo desde a pressão atmosférica 1000mbar até 10^{-3} mbar. Esse modelo de bomba é muito usado, já que ela é responsável pelo primeiro processo de bombeamento, usadas no pré-vácuo. Seu princípio de funcionamento é simples, em seu interior possuímos um rotor cilíndrico de aço acoplado a um motor elétrico, que gira dentro de uma câmara do estator. O rotor fica encostado na parte superior do estator, que veda a entrada e saída da bomba. Esta bomba possui óleo que é responsável por: lubrificar, vedar, trocar calor e proteger contra corrosão.

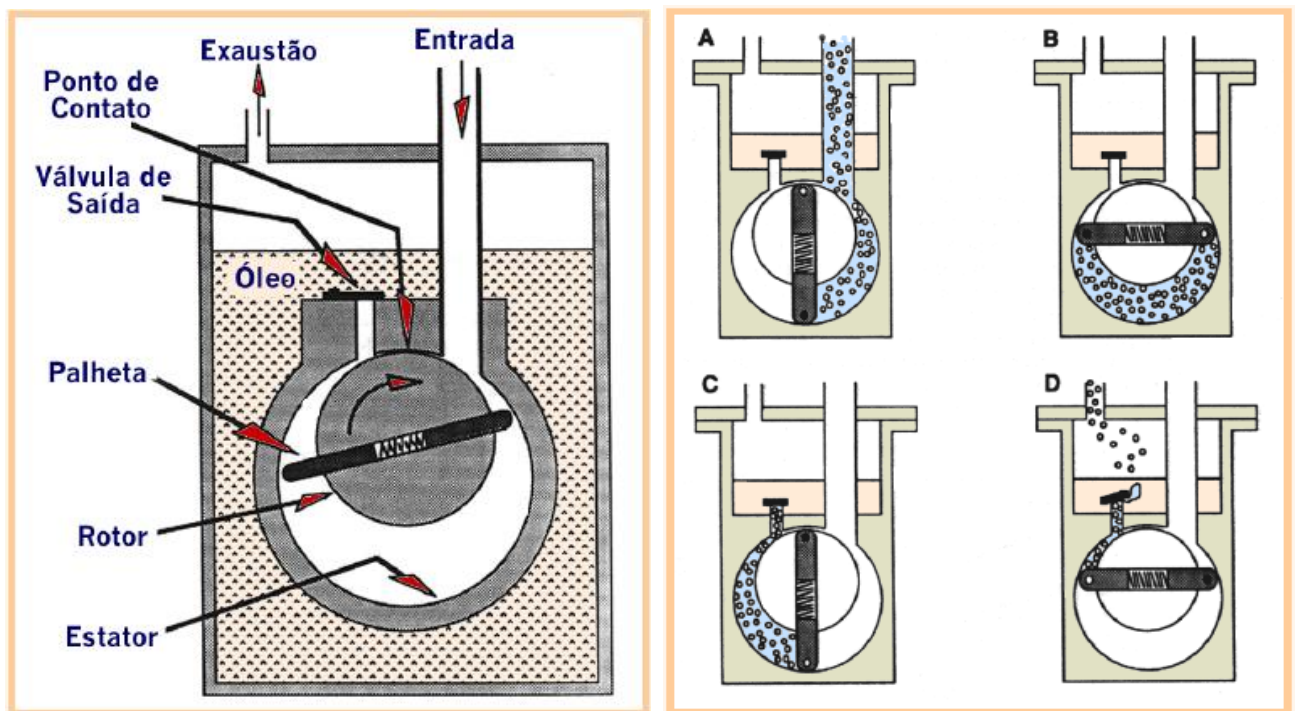


Figura 47 : Esquema Bomba Mecânica

Bomba Difusora

É uma bomba usada em alto-vácuo que varia de 10^{-3} até 10^{-9} mbar. Esta bomba não possui taxa de compressão, ou seja, o gás que esta bomba retira do sistema fica retido nela mesma, de forma que é necessário acoplar a ela uma bomba mecânica de palhetas para exaurir o gás. Seu princípio de funcionamento consiste em um invólucro cilíndrico, com uma espécie de chaminé com diversas saídas de escape, em diferentes alturas, e no fundo temos óleo a base de silicone. À medida que o óleo é aquecido e vaporizado, faz com que o vapor de óleo suba e escape pelas abas da chaminé. Essa bomba possui uma armadilha gelada que faz com que o óleo bata nessa armadilha e retorne para o depósito.

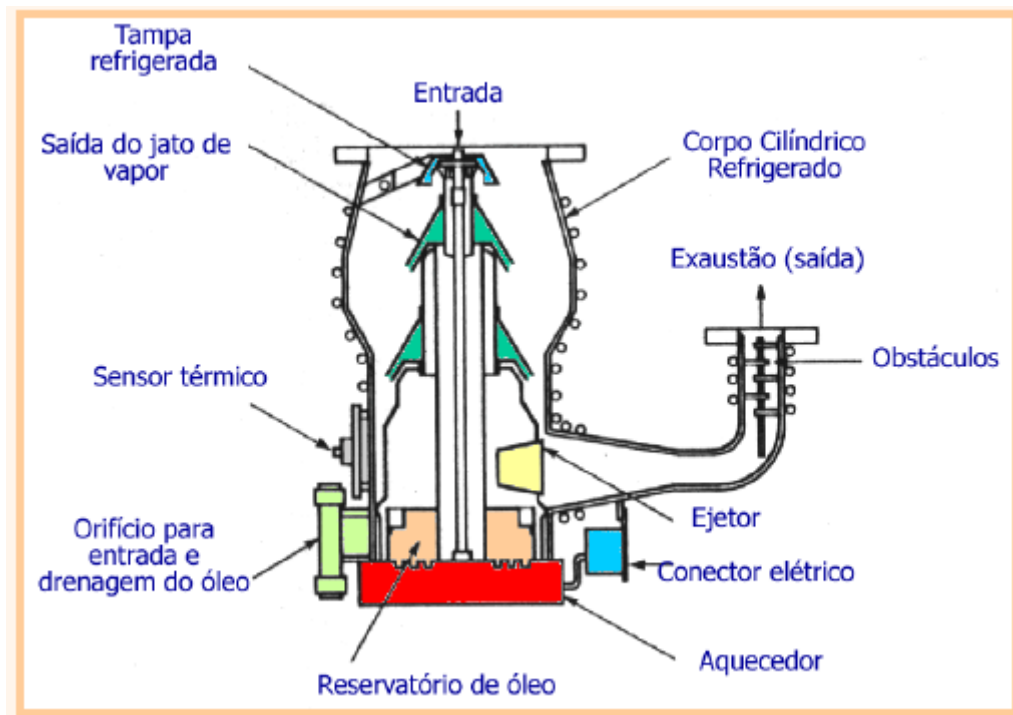


Figura 48: Esquema Bomba Mecânica

10. APRESENTAÇÕES DO TRABALHO

13º Simpósio de Iniciação Científica e Tecnológica da FATEC-SP – 2012

VACUSTAT METÁLICO- PROJETO, CONSTRUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MANÔMETRO DIRETO COM MERCÚRIO POR COMPRESSÃO

Thaís Claudia Valdomiro de Oliveira¹, Renan Silva Taplete² e Francisco Tadeu Degasperi
Faculdade de Tecnologia de São Paulo – FATEC-SP – CEETEPS – São Paulo – SP – Brasil
ftd@fatecsp.br

1. Introdução

Estamos em constantes mudanças tecnológicas em várias áreas e com a tecnologia do vácuo não iria ser diferente. Esse tipo de tecnologia que abrange desde um simples produto embalado a vácuo e pode ir até ser usado em células solares (produzidas pela deposição de determinados filmes finos sobre silício, naturalmente em alto-vácuo). Como vimos temos aplicações diversas, mas precisamos saber como caracterizar quantitativamente o vácuo, e para isso fazemos uso dos medidores de vácuo. Estes medidores trabalham cada um em sua faixa de pressão, ou seja, cada projeto precisa ser estudado para escolha do medidor mais adequado.

O trabalho consiste na construção, caracterização de manômetro direto por compressão semelhante ao medidor Vacustat porém com diversas alterações para obtenha um melhor desempenho .

2. Metodologia e Materiais

O medidor Vacustat é um medidor que se encontra na faixa de 10 até 10^{-3} mbar sua estrutura é toda feita de vidro, o que faz com que este medidor seja frágil, e necessite de uma atenção redobrada durante sua manipulação. Uma das formas de sanar essas pequenas limitações do medidor Vacustat comum, foi fazer a construção de um medidor semelhante (mesmo princípio de medição). Este tendo sua estrutura feita em aço para trazer mais segurança. No projeto pretendemos que este chegue em alto vácuo, e para isso, o montaremos de modo que consigamos alterar o volume de compressão.

Na escolha de materiais optamos por usar Caps metálicos (pequenas “cuias”), possuem um formato arredondado nos cantos que permitem uma melhor limpeza. Para cada câmara precisamos fazer a união de dois caps, totalizando seis peças e três conjuntos.

Todas a furações necessárias e peças adicionais foram feitas pelo software AutoCad[®].

3. Ilustrações



Figura 1 – Caps após furação

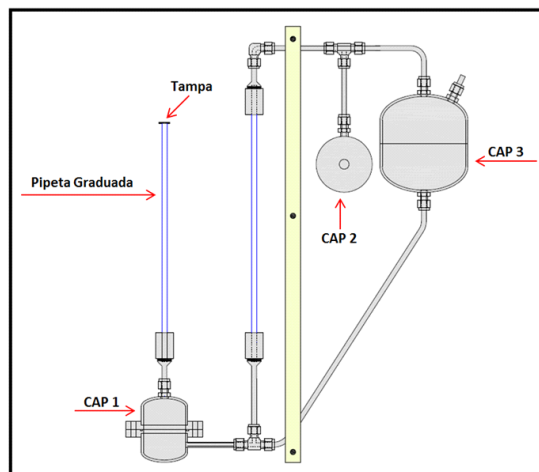


Figura 2 – Desenho Esquemático /Nomenclatura

CAP/Dados	2"	2,5"	4"
1	140 ml	175 ml	900 ml
2	125 ml	180 ml	900 ml
3	140 ml	175 ml	900 ml
4	125 ml	190 ml	900 ml
5	140 ml	190 ml	900 ml
Média	134 ml	182 ml	900 ml
Conversão p/ litros	0,134L	0,182L	0,9L

Tabela I – Tabela de Volume de Caps

4. Conclusões

As intenções propostas para este projeto, no sentido de escolha de materiais adequados e usinagem das peças, foram alcançadas com sucesso. Conseguimos desenvolver a parte matemática do sistema de modo a unir a Lei de Stevin, Lei de Torricelli e a Lei de Boyle-Mariotte, dando consistência ao trabalho.

Para segunda etapa do projeto teremos o início das medições, e assim calibrar o novo medidor e compará-lo com outros medidores diretos de pressão, para ver se o mesmo se encaixa no padrão desejado, as comparações poderão ser feitas através do uso de gráficos e tabelas construídas a partir desses dados experimentais.

5. Referências

[1] Taplete, R. S., “COMPARAÇÃO ENTRE MEDIDORES DIRETOS E INDIRETOS DE PRÉ-VÁCUO”. Trabalho de graduação apresentado na Faculdade de Tecnologia de São Paulo FATEC-SP, SP, Brasil, 2011.

Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica e ao LTV.

11. INFORMAÇÕES ADICIONAIS VACUSTAT EM VIDRO

Informações fornecidas pela empresa Edwards Vacuum

Geral

Os Vacustats são uma família de medidores McLeod em miniatura, projetado para laboratório geral ou uso industrial.

O indicador é operado pela rotação da cabeça. Para permitir isto, a cabeça é unida à ligação de vácuo através de um selo rotativo com dois anéis que são comprimidos por três parafusos do flange.

Normalmente, o capilar e escala de medição são mantidos nas horizontais, para fazer uma medição a cabeça é girada lentamente através de 90 ° para trazer a escala e o tubo na posição vertical. A rotação faz com que o mercúrio se mova e se isole em D, e o volume seja comprimido dentro do tubo capilar fechado C. Quando o mercúrio no capilar aberto atinge nível zero na marca A , a pressão é dada diretamente pela altura B do mercúrio no capilar fechado contra a escala que é calibrada em mbar.

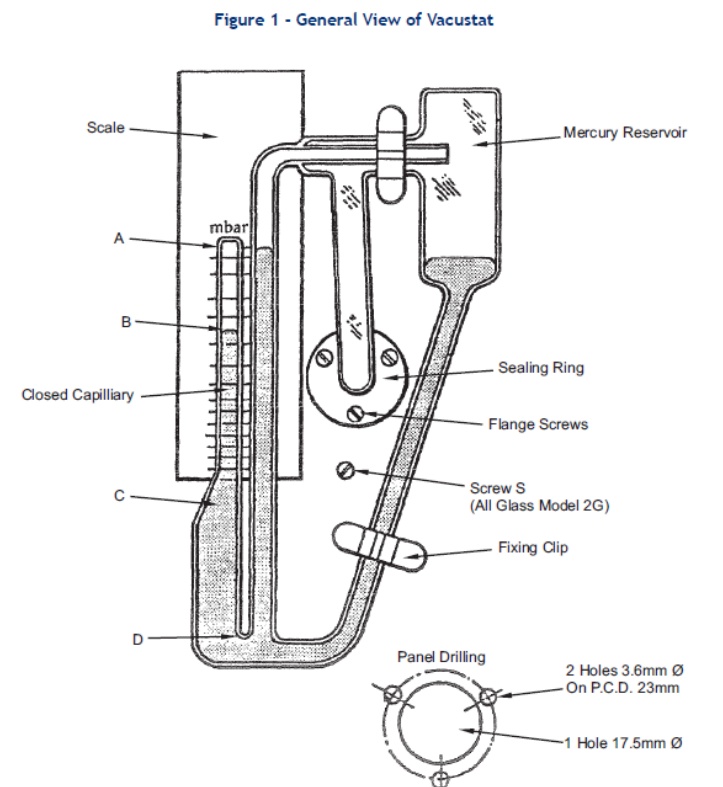


Figura 49: Vacustat em vidro

Leitura da Pressão

Ligue o medidor lentamente para a posição vertical. Ajuste a posição um pouco para trazer o nível de mercúrio em aberto capilar à escala marcada como zero. Leia a pressão a partir do nível B mercúrio na C capilar fechado na horizontal.

Se o bulbo de vidro é quebrado, o mercúrio líquido pode entrar no sistema de vácuo. Para evitar que isso ocorra, as precauções apropriadas devem ser tomadas. Observações:

- I. Se muito mercúrio é derramado, existe um risco de estouro do tubo capilar aberto.
- II. Se muito pouco mercúrio é usado pode não ser possível ajustar o nível de mercúrio para o zero (particularmente a baixa pressão).
- III. Manipular a cabeça com cuidado, pois contém o mercúrio.

Comparação com outros manômetros

Quaisquer vapores, incluindo umidade, são susceptíveis de se condensar. A composição dos gases permanentes, não afeta o Vacustat. Medidores elétricos, incluindo a Edwards Termopar, Pirani e tipos Penning, são afetados tanto pela composição dos gases permanentes e pelos vapores.

Mercúrio

O mercúrio é perigoso à saúde podendo causar efeitos tóxicos que são facilmente identificáveis, tais como: dores de cabeça, cansaço, náuseas, diarreia, tremores musculares, problemas renais e etc. Se o mercúrio líquido for exposto em uma área fechada em condições normais de temperatura, sua concentração de vapor no ar pode aumentar para mais do que 100 vezes.

Cuidados com o mercúrio

1. Uma boa ventilação geral (de preferência por meios mecânicos) deve ser fornecida.
2. O armazenamento deve ser em recipientes herméticos ou em selo d'água.
3. Containers de mercúrio devem ser mantidos em bandejas (tipos de plástico são muito adequados).

4. Para capturar o mercúrio use o método de sucção sempre que possível.
5. O manipulador deve portar vestuário de proteção adequado: macacão, luvas, etc.; para se proteger do contato com a pele. Quaisquer partes da pele exposta ao mercúrio devem ser lavadas.
6. Qualquer derramamento deve ser limpo imediatamente

