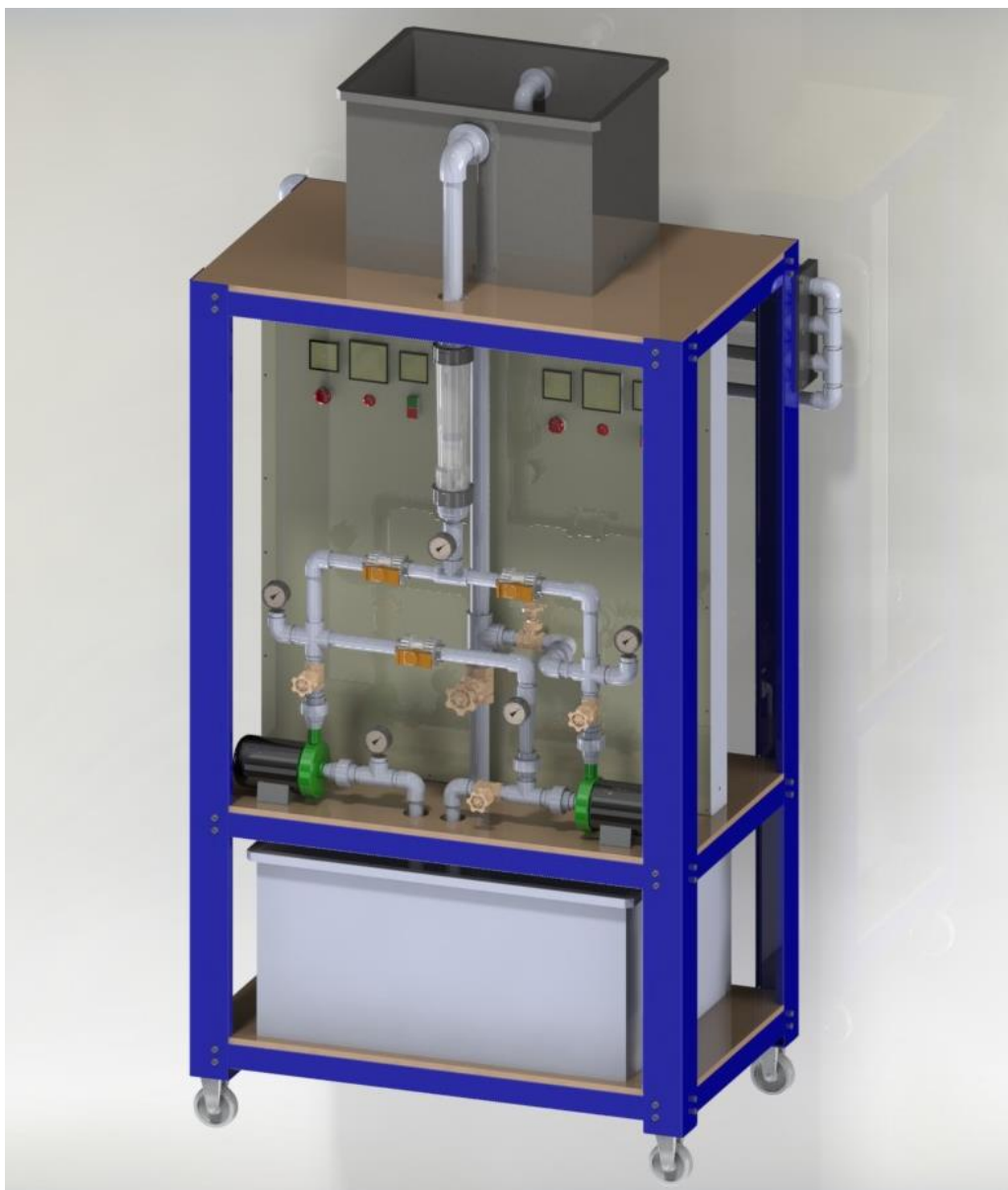
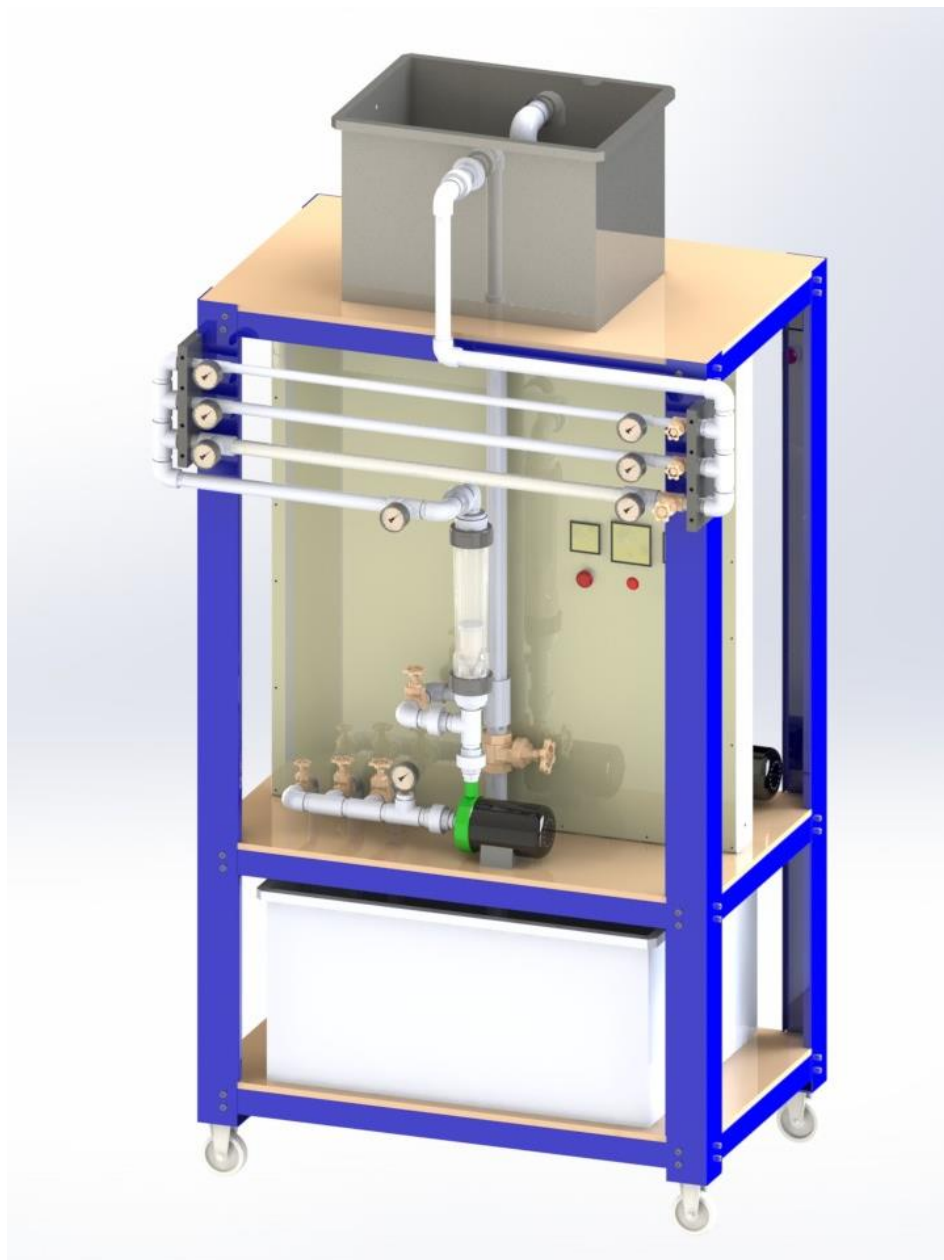


STT 500- Bancada Didática de Associação de Bombas



MANUAL DE UTILIZAÇÃO

Porto Alegre, 2013



SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO DO EQUIPAMENTO	4
2 DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO	5
3 PROCEDIMENTOS GERAIS PARA UTILIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO	9
4 MONTAGENS PRÁTICAS SUGERIDAS	10
4.1 FUNCIONAMENTO DE UMA BOMBA CENTRIFUGA.....	11
4.2 PROCEDIMENTO DE ESCORVA DAS BOMBAS DA ASSOCIAÇÃO SÉRIE E PARALELO (VISTA FRONTAL).....	14
4.3 ASSOCIAÇÃO DE BOMBAS EM PARALELO	17
4.4 ASSOCIAÇÃO DE BOMBAS EM SÉRIE	22
4.5 ESCORVA DE UMA BOMBA (VISTA POSTERIOR)	28
4.6 DEMONSTRAÇÃO DO FENÔMENO DA CAVITAÇÃO	31
REFERÊNCIAS	36

1 APRESENTAÇÃO DO EQUIPAMENTO

A bancada de associação de bombas é um equipamento desenvolvido especialmente para apoiar o ensino das matérias que tratam dos fluidos e seus escoamentos. O uso de um equipamento para apresentar os fenômenos reais em forma visual reforça o aprendizado e torna mais fácil o entendimento dos fenômenos.

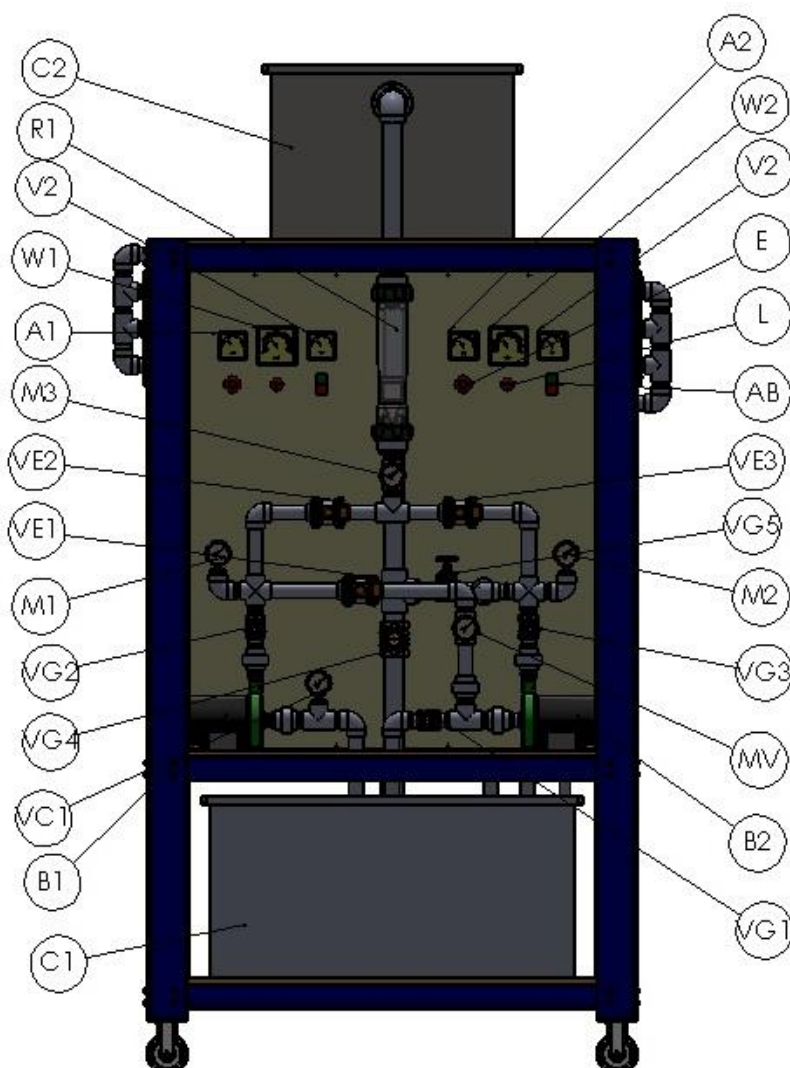
A bancada foi projetada para a exploração de experimentos nos quais o fluido de trabalho é a água, e por isso permite a visualização de escoamentos ligados aos fenômenos hidráulicos. Porém, o uso da análise dimensional e dos conceitos de semelhança estende os conceitos visualizados para vários campos da Mecânica dos Fluidos.

2 DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

A bancada de associação consta basicamente de tubulações em Pvc de diferentes diâmetros, caixas d'água, sistema hidráulico alimentado por duas bombas centrífugas a partir de um reservatório inferior, manômetros e vacuômetros para medição de pressão, rotâmetros para medição de vazão, voltímetros, amperímetros, registros e válvulas.

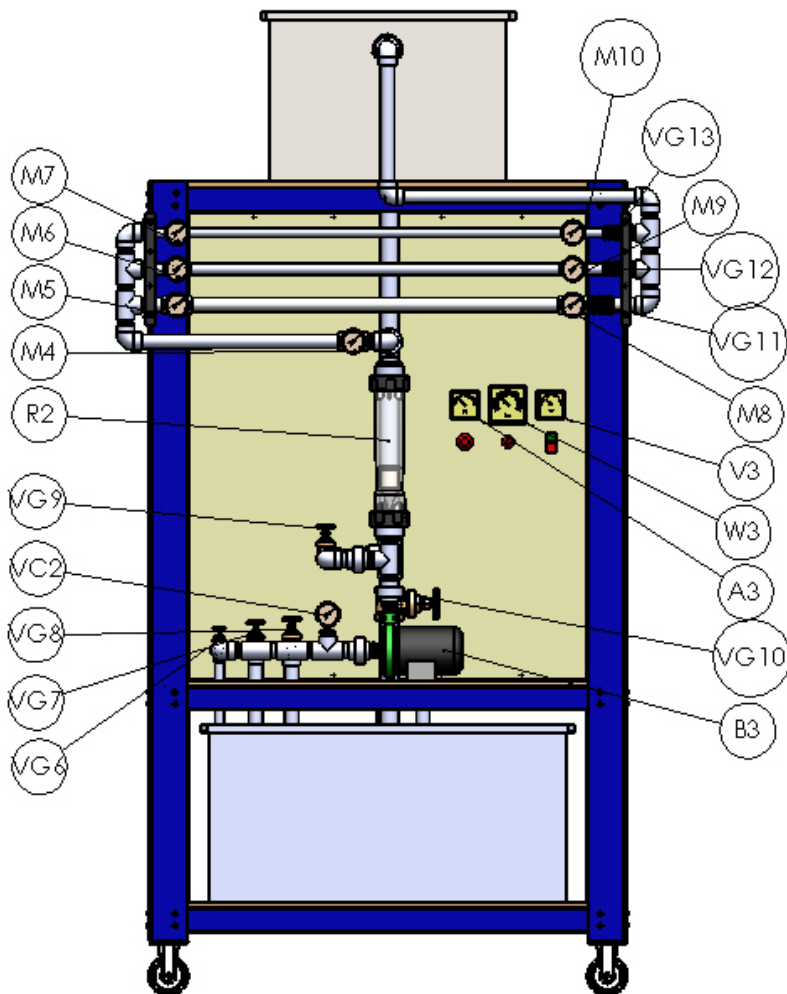
A montagem do equipamento segue, também, uma orientação pedagógica justamente por utilizar componentes comerciais, como os quais os alunos vão ter contato na sua vida profissional. Um dos componentes para o qual deve ser chamada atenção é a bomba hidráulica, um componente comercial de boa qualidade, mas que apresenta o comportamento real do cotidiano: pode sofrer desgastes mecânicos e químicos, e ao ser atacada quimicamente pela água, produz uma coloração devido à ferrugem podendo turvar a água do reservatório e obrigar à troca mais frequentes. No entanto, esse fenômeno demonstra os cuidados básicos com manutenção, geralmente esquecidos nas aulas teóricas.

VISTA FRONTAL DA BANCADA DE ASSOCIAÇÃO DE BOMBAS



CÓD.	DESCRIÇÃO
C1	CAIXA D'ÁGUA 1
B1	BOMBA 1
VC1	VACUÔMETRO 1
VG4	VÁLVULA DE GAVETA 4
VG2	VÁLVULA DE GAVETA 2
M1	MANÔMETRO 1
VE1	VÁLVULA ESFERA 1
VE2	VÁLVULA ESFERA 2
M3	MANÔMETRO 3
A1	AMPERÍMETRO
W1	WATTÍMETRO 1
V2	VOLTÍMETRO 2
R1	ROTÂMETRO 1
C2	CAIXA D'ÁGUA 2
VG1	VÁLVULA DE GAVETA 1
B2	BOMBA 2
MV	MANO-VACUÔMETRO
VG3	VÁLVULA DE GAVETA 3
M2	MANÔMETRO 2
VG5	VÁLVULA DE GAVETA 5
VE3	VÁLVULA ESFERA 3
AB	ACIONAMENTO BOMBA
L	LAMPADA INDICADORA
E	EMERGÊNCIA
V2	VOLTÍMETRO 2
W2	WATTÍMETRO 2
A2	AMPERÍMETRO 2

VISTA POSTERIOR DA BANCADA DE ASSOCIAÇÃO DE BOMBAS



CÓD.	DESCRIÇÃO
VG6	VÁLGULA DE GAVETA 6
VG7	VÁLGULA DE GAVETA 7
VG8	VÁLGULA DE GAVETA 8
VC2	VACUÔMETRO 2
VG9	VÁLGULA DE GAVETA 9
R2	ROTÂMETRO 2
M4	MANÔMETRO 4
M5	MANÔMETRO 5
M6	MANÔMETRO 6
M7	MANÔMETRO 7
B3	BOMBA 3
VG10	VÁLGULA DE GAVETA 10
A3	AMPERÍMETRO 3
W3	WATTÍMETRO 3
V3	VOLTÍMETRO 3
M8	MANÔMETRO 8
VG11	VÁLGULA DE GAVETA 11
VG12	VÁLGULA DE GAVETA 12
M9	MANÔMETRO 9
VG13	VÁLGULA DE GAVETA 13
M10	MANÔMETRO 10

Materiais e equipamentos que compõem a bancada:

- 2 Bombas Centrífuga Monoestágio 1/3cv;
- 1 Bomba Centrífuga Monoestágio 1/2cv;
- 10 Manômetros de Bourdon;
- 2 Vacuômetros;
- 1 Mano-vacuômetro;
- 2 Rotâmetros;
- 5 Válvulas de esfera;
- 9 Válvulas de Gaveta;
- 5 Válvulas de pé;
- 2 Reservatórios em inox;
- 3 Amperímetros;
- 3 Voltímetros;
- 3 Wattímetros;
- 3 Botões de emergência;
- 3 Botões acionamento liga/desliga;
- Painel de comando;
- Estrutura em aço com pintura eletrostática;
- Tubulações de diferentes diâmetros;
- Dimensões máximas do equipamento: Largura x Profundidade x Altura = 1370 x 900 x 2500mm

3 PROCEDIMENTOS GERAIS PARA UTILIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO

- 1- Verificar a tensão elétrica do equipamento e da rede de alimentação; caso sejam diferentes proceder às modificações necessárias;
- 2- Somente ligue o equipamento após o mesmo ser aterrado para garantir a segurança dos usuários e prevenir acidentes.
- 3- Caso seja necessário à utilização de ampliação do comprimento do cabo de fornecimento de energia ao equipamento este deve ser realizado por pessoal capacitado.
- 4- Somente ligar o motor após a colocação de água no reservatório e realizar o procedimento de escova para evitar a danificação das vedações da bomba.
- 5- -Verificar se o registro de regulagem da vazão está totalmente fechado para que o motor elétrico não seja sobrecarregado,
- 6- Manipule o registro de regulagem de vazão de forma suave para evitar golpes devido ao transiente provocado pela mudança brusca da aceleração do fluido. Este procedimento também visa proteger os medidores de pressão.
- 7- Em caso de algum problema elétrico, desenergizar a bancada e avisar os responsáveis pela manutenção, os quais deverão identificar o problema e efetuar as correções necessárias.

4 MONTAGENS PRÁTICAS SUGERIDAS

O número de montagens práticas que podem ser levadas a efeito na bancada é muito grande, só dependendo da imaginação e criatividade do professor. A título de orientação são apresentadas aqui algumas montagens úteis para um curso de Hidráulica ou similar.

Segue abaixo algumas práticas possíveis:

Vista frontal

- Procedimento de escorva de uma bomba;
- Funcionamento de uma bomba centrífuga;
- Associação de bombas em paralelo;
- Associação de bombas em série;
- Curvas do sistema de recalque;

Vista posterior

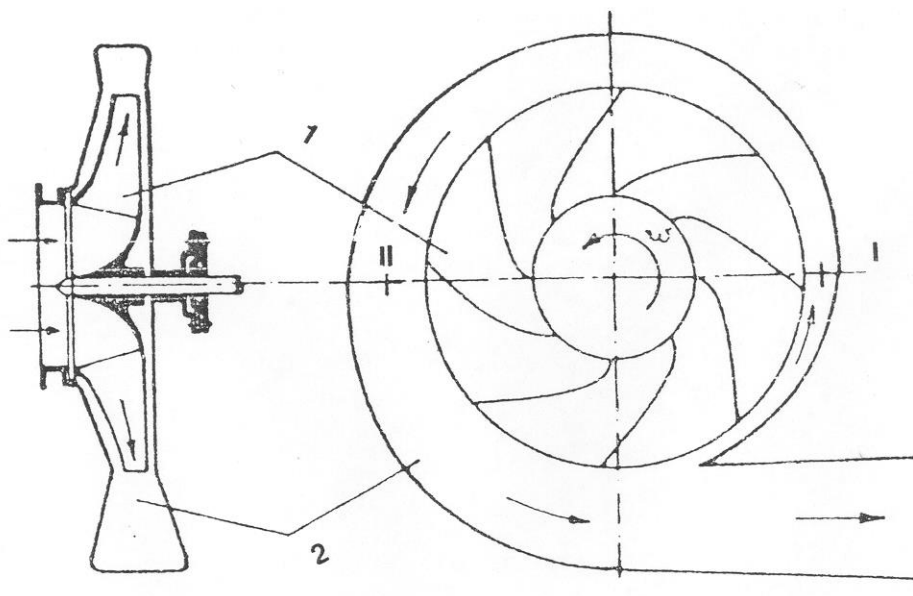
- Procedimento de escorva de uma bomba;
- Funcionamento de uma bomba centrífuga;
- Curvas do sistema de recalque;
- Demonstração do fenômeno de cavitação em bombas;

4.1 FUNCIONAMENTO DE UMA BOMBA CENTRIFUGA

O nome de bomba centrífuga dado a esse tipo se deve ao fato de ser a força centrífuga a responsável pela maior parte da energia que o líquido recebe ao atravessar a bomba.

As bombas centrífugas, turbobombas, também chamadas bombas roto dinâmicas, são caracterizadas por possuírem um órgão rotatório dotado de pás, chamado rotor, dentro de uma carcaça estanque chamada de difusor, voluta ou caracol.

Na figura a seguir são apresentado os componentes principais de uma bomba centrífuga.



Bomba centrífuga: 1- rotor; 2 – difusor.

A finalidade do rotor, também chamado "impulsor" ou "impelidor", é comunicar à massa líquida aceleração, para que adquira energia cinética e se realize assim a transformação da energia mecânica de que está dotado.

O difusor, também chamado recuperador, tem por finalidade permitir a transformação da maior parte da energia cinética com que o líquido sai do rotor, em energia de pressão.

Para maior facilidade de uma primeira compreensão do funcionamento das turbobombas, vamos considerar o tipo mais simples e mais empregado, que é a bomba centrífuga.

Logo que se inicia o movimento do rotor e do líquido contido nos canais formados pelas pás, a força centrífuga decorrente deste movimento cria uma zona de maior pressão na periferia do rotor e, conseqüentemente, uma de baixa pressão na sua entrada, produzindo o deslocamento do líquido em direção à saída dos canais do rotor e à boca de recalque da bomba. Estabelece-se um gradiente hidráulico entre a entrada e a saída da bomba em virtude das pressões nelas reinantes.

Admitamos que uma tubulação, cheia de líquido contido na bomba, ligue a boca de aspiração a um reservatório submetido à pressão atmosférica (ou outra suficiente) e que outra tubulação, nas mesmas condições, estabeleça a ligação da boca de recalque a outro reservatório colocado a uma determinada cota onde ocorra a pressão atmosférica.

Em virtude da diferença de pressões que se estabelece no interior da bomba ao ter lugar o movimento de rotação, a pressão à entrada do rotor torna-se inferior à existente no reservatório de captação, dando origem ao escoamento do líquido através do encanamento de aspiração, do reservatório inferior para a bomba.

Simultaneamente, a energia na boca de recalque da bomba, tornando-se superior à pressão estática a que está submetida à base da coluna líquida na tubulação de recalque, obriga o líquido a escoar para uma cota superior ou local de pressão considerável.

Estabelece-se então, com a bomba em funcionamento, um trajeto do líquido do reservatório inferior para o superior através da tubulação de aspiração, dos canais do rotor e difusor e da tubulação de recalque.

É na passagem pelo rotor que se processa a transformação da energia mecânica nas energias de pressão e cinética, que, como vimos, são aquelas que o líquido pode possuir. Saindo do rotor, o líquido penetra no difusor, onde parte

apreciável de sua energia cinética é transformada em energia de pressão, e segue para a tubulação de recalque.

4.2 PROCEDIMENTO DE ESCORVA DAS BOMBAS DA ASSOCIAÇÃO SÉRIE E PARALELO (VISTA FRONTAL)

As bombas rotodinâmicas precisam ser escorvadas, pois, as mesmas não possuem a capacidade de expurgar o ar do conduto de sucção para o início do funcionamento. Portanto quando postas a funcionar, já devem estar cheias de líquido, bem como, sua tubulação de aspiração (sucção).

A escorva consiste na introdução de água no conduto de sucção e da carcaça da bomba para retirada do ar dos mesmos.

O líquido é mantido no interior do conduto de sucção através da válvula de pé, um dispositivo que permite apenas o fluxo ascensional, evitando o retorno.

Na maioria das instalações de bombas pequenas, como acontece nas instalações prediais, a válvula de pé conserva a bomba escorvada. Se ela está funcionando bem, é capaz de manter a bomba cheia de líquido até ser posta em funcionamento novamente. Se ocorrer o esvaziamento devido a uma falha da mesma é preciso escorvá-la novamente.

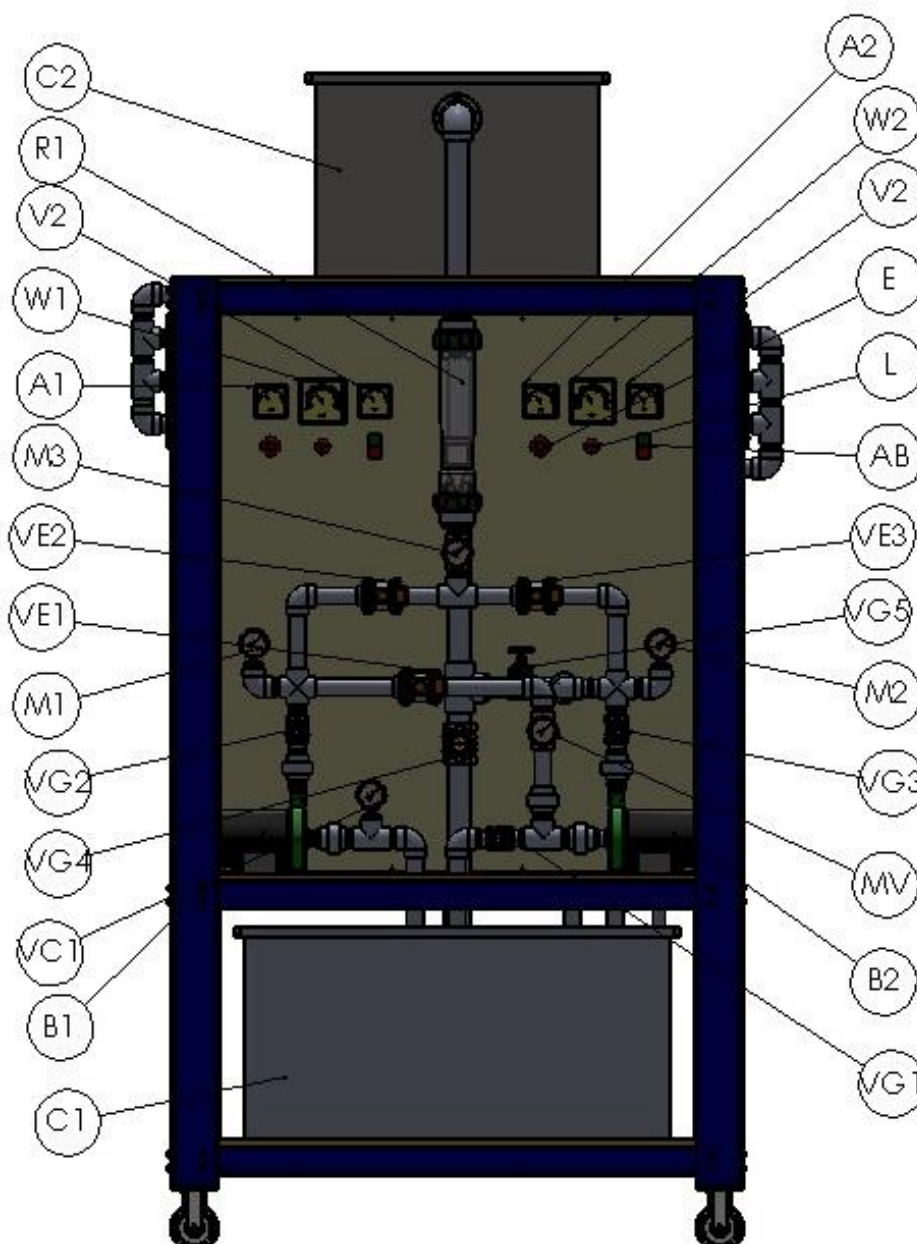
A presença de ar no interior da bomba, por junta mal vedada, folga nas vedações, ou furo no mangote de bombas de remoção de água de valas ou escavação, é denunciada por ruídos e trepidações características. A descarga e a pressão caem imediatamente, podendo a bomba perder a escorva e deixar de recalcar o líquido.

OBJETIVO

Efetuar o procedimento de escorva da bomba.

MATERIAIS

- Bancada didática de associação de bombas.



Vista frontal

PROCEDIMENTO

- Fechar a válvula de gaveta VG4;
- Abastecer o reservatório superior denominado C2 (caixa d'água 2);
- Abrir as válvulas de gaveta VG1, VG2 e VG3;
- Abrir as válvulas de esfera VE2 e VE3
- Abrir a válvula de gaveta VG5. A água do reservatório superior irá escoar pelas tubulações, expulsando o ar existente no seu interior.
- Aguardar enquanto o fluido tome o lugar do ar dentro do sistema hidráulico. Caso isso não ocorra, verificar o estado do funcionamento das válvulas de pé, localizadas na extremidade de cada tubulação de sucção;
- Depois de realizado a escorva, fechar as válvulas de gaveta VG2, VG3 e VG5;
- Abrir a válvula de gaveta VG4, para permitir o retorno da água do reservatório superior para o reservatório inferior, caso contrário pode ocorrer o transbordamento do mesmo.

RESULTADOS

Seguindo o procedimento, as bombas das associações série e paralelo estarão escorvadas. Então sendo possível serem postas em funcionamento conforme necessidade sem riscos de danificação das vedações pela ausência de lubrificação, pois a água é o elemento de lubrificação para este tipo de vedação.

4.3 ASSOCIAÇÃO DE BOMBAS EM PARALELO

Diz-se que duas ou mais bombas funcionam em paralelo quando suas entradas e saídas são respectivamente ligadas entre si. Neste caso a altura manométrica é a mesma a cada instante e a vazão do conjunto é a soma das vazões parciais das bombas que o compõem. Trata-se da situação mais comum.

Usam-se bombas associadas em paralelo para aumentar a vazão de bombeamento, mantendo-se, aproximadamente constante, a pressão.

A curva característica da função $f(Q,H) = 0$, do conjunto de bombas, será obtida somando-se, para cada valor de H, as abscissas de Q de cada bomba.

As bombas deverão ser iguais, a fim de evitar correntes secundárias, no sentido das bombas de maior potência para as de menor.

A descarga obtida com duas bombas é menor que o dobro da fornecida por uma só bomba, isso se deve a uma maior perda de carga ocasionada pelos condutos de recalque uma vez que a vazão aumenta.

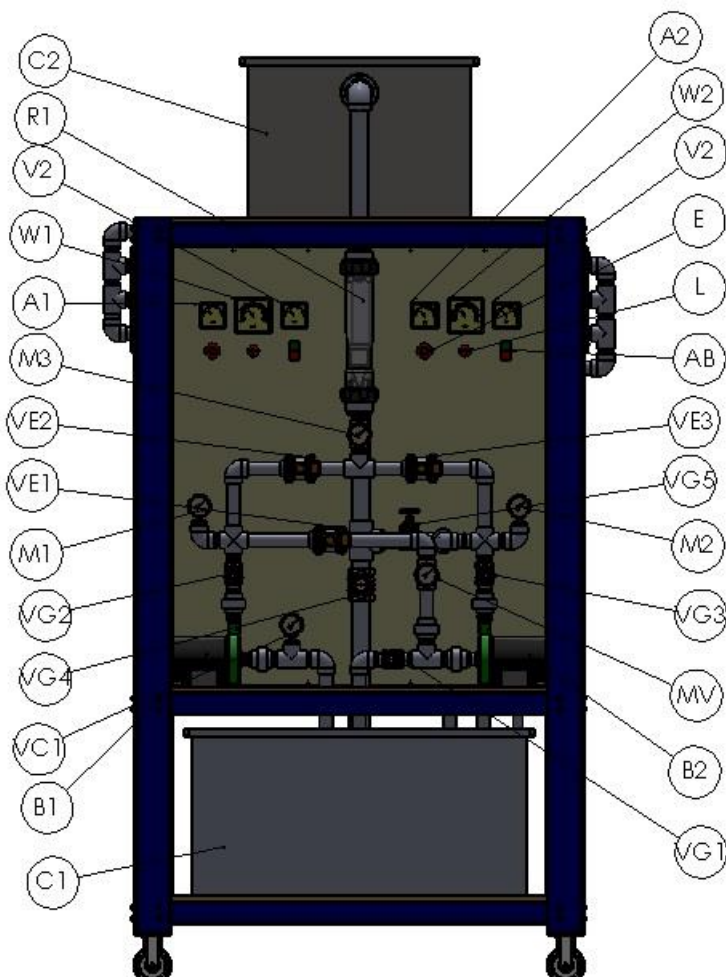
Se a curva do conduto for pouco inclinada e se o encanamento indicar acentuada perda de carga, a associação em paralelo não apresentará vantagem apreciável no aumento da descarga. Além disso cada bomba irá trabalhar com descarga muito abaixo de seu valor normal, o que causará cavitação e aquecimento excessivo.

OBJETIVO

- Configurar uma associação de bombas em paralelo e fazer as análises pertinentes a este tipo de associação.

MATERIAIS

- Bancada didática de associação de bombas.



PROCEDIMENTO

- Energizar a bancada com a tensão recomendada;
- Proceder a escorva caso necessário;
- Verificar se a válvula VG4 encontra-se aberta, para permitir o retorno da água do reservatório superior para o reservatório inferior, caso contrário pode ocorrer o transbordamento do mesmo.
- Fechar as válvulas de gaveta VG2 e VG5;
- Fechar as válvulas de esfera VE1 e VE3 no recalque da bomba B2;
- Abrir a válvula de esfera VE2 no recalque da bomba B1;
- Ligar a bomba B1 no respectivo botão de acionamento;
- Abrir lentamente a válvula de gaveta VG2 no recalque da bomba B1;
- Depois de realizados os procedimentos, partir para a coleta dos dados de Pressão, Vazão, Amperagem, Voltagem e Potência:
 - Manômetros: M1 e M3;
 - Vacuômetro: VC1;
 - Rotâmetro: R1;
 - Amperímetros: A1;
 - Voltímetros: V1;
 - Wattímetros: W1.
- Reduzir a vazão de recalque fechando parcialmente a válvula de gaveta VG2;
- Proceda novamente a coleta de dados;

- Repetir o procedimento para obter informações de várias vazões para o mesmo sistema, estas que poderão ser confrontadas com os valores a serem obtidos na associação paralelo a seguir;

Operação das bombas em paralelo

- Abrir as válvulas de esfera VE2 e VE3 e fechar a VE1, configurando assim o sistema em paralelo;
- Fechar as válvulas de gaveta VG2 e VG3;
- Ligar as bombas B1 e B2 no seu devido acionamento AB;
- Abrir lentamente e simultaneamente as válvulas de gaveta VG2 e VG3 até sua abertura total,
- Depois de realizados os procedimentos, partir para a coleta dos dados de Pressão, Vazão, Amperagem, Voltagem e Potência:
 - Manômetros: M1, M2 e M3;
 - Vacuômetro: VC1;
 - Mano-vacuômetro: MV;
 - Rotâmetro: R1;
 - Amperímetros: A1 e A2;
 - Voltímetros: V1 e V2;
 - Wattímetros: W1 e W2.
- Fechar parcialmente as válvulas de gaveta VG2 e VG3 e fazer nova coleta de dados. Este procedimento deverá ocorrer simultaneamente nas duas válvulas.
- Realizar os procedimentos acima em vários pontos até o estrangulamento completo das válvulas VG2 e VG3;

- Sendo possível assim montar a curva pressão x vazão;

RESULTADOS

Com os primeiros dados coletados de pressão em M1 e vazão em R1, por ocasião de funcionamento apenas da bomba B1, construir o gráfico pressão x vazão.

Com os dados coletados após associação paralelo de pressão em M1 e vazão em R1, construir um novo gráfico.

Confrontar as vazões obtidas junto ao rotâmetro para as mesmas pressões e observar o incremento de vazão ocasionado pela associação paralelo.

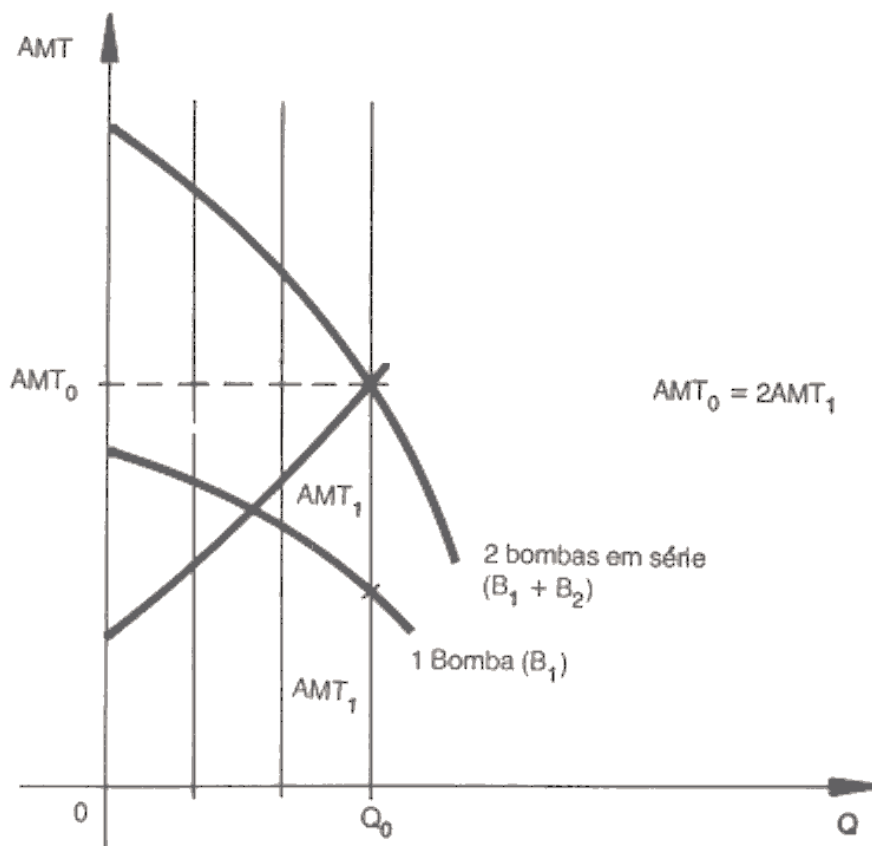
4.4 ASSOCIAÇÃO DE BOMBAS EM SÉRIE

Em certos sistemas de bombeamento pode ocorrer exigências operacionais que não possam ser satisfeitas por apenas uma bomba. Nestes casos, é comum a associação das bombas, em série ou em paralelo.

Associam-se duas ou mais bombas em série quando as alturas a serem vencidas não podem ser atendidas por uma única unidade. Isso pode ocorrer quando a elevatória deve atender a reservatórios em níveis ou distâncias diferentes ou a processamentos industriais onde reservatórios sob pressões diferentes devam ser sucessivamente abastecidos, ou ainda quando num processo houver condições de pressão bastante diversas. Por exemplo, as bombas alimentadoras de caldeiras e as bombas de alimentação de prédios (edifícios) muito elevados.

As bombas em série são colocadas uma após a outra, recalcam a mesma vazão e podem ser iguais ou não; a curva característica do conjunto é obtida somando-se as ordenadas das curvas características das bombas componentes.

Pelo gráfico, observa-se que, quando duas bombas estão funcionando em série, as alturas manométricas totais se somam.



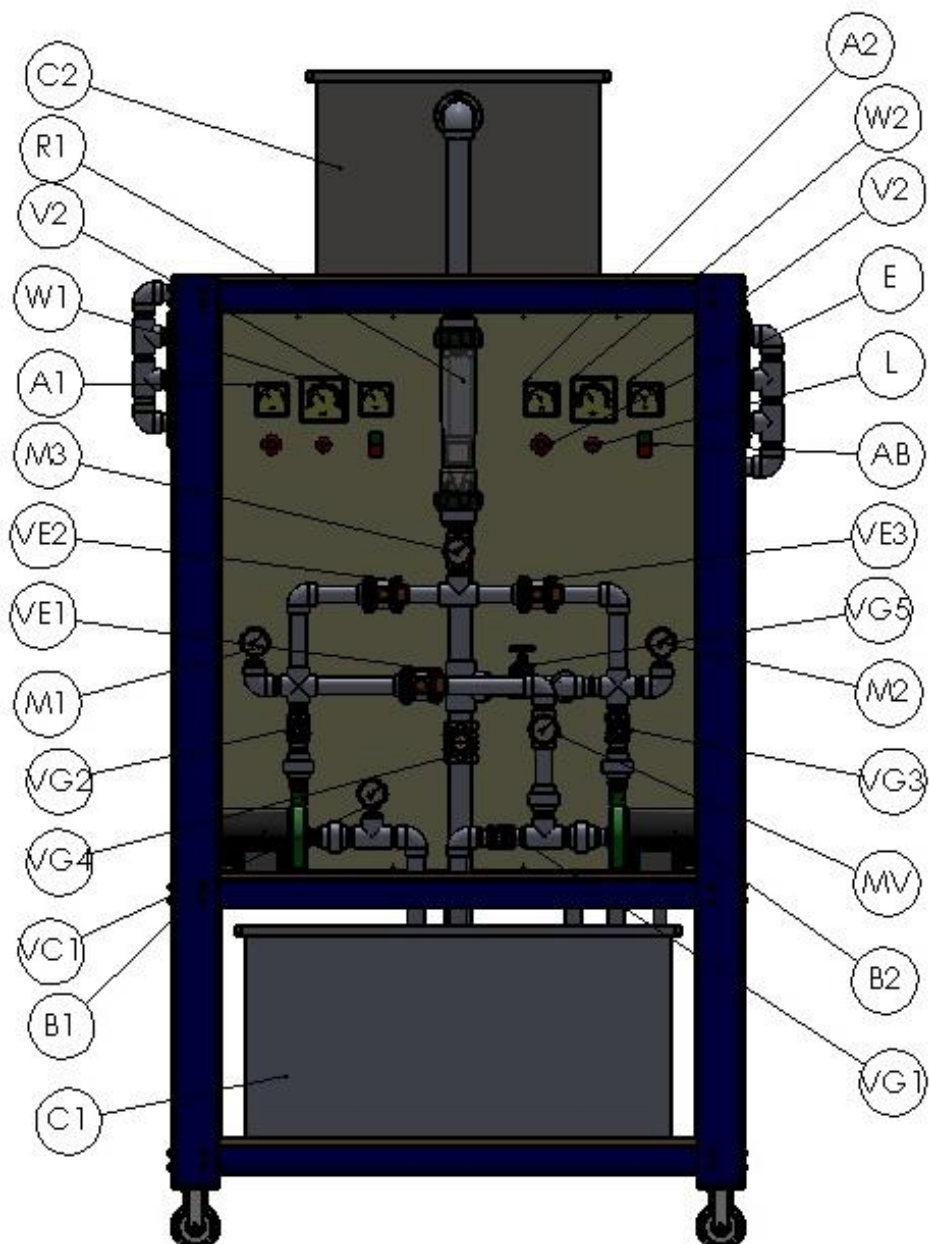
As bombas de vários estágios (vários rotores), funcionam como bombas em série. Cada rotor acelera e pressiona o líquido e o injeta no rotor seguinte, onde a vazão sendo constante sofrerá uma sobre pressão sequencial. As vazões são, em geral, baixas e médias.

OBJETIVO

- Configurar uma associação de bombas em série e fazer as análises pertinentes a este tipo de associação.

MATERIAIS

- Bancada didática de associação de bombas.



PROCEDIMENTO

- Energizar a bancada com a tensão recomendada;
- Proceder a escorva caso necessário;
- Verificar se a válvula VG4 encontra-se aberta, para permitir o retorno da água do reservatório superior para o reservatório inferior, caso contrário pode ocorrer o transbordamento do mesmo.
- Fechar as válvulas de gaveta VG5 e VG3;
- Certificar-se de que a válvula de gaveta VG1 na sucção da bomba B2 se encontra aberta;
- Fechar as válvulas de esfera VE2 e VE1 no recalque da bomba B1;
- Abrir a válvula de esfera VE3 no recalque da bomba B2;
- Ligar a bomba B2 no respectivo botão de acionamento;
- Abrir lentamente a válvula de gaveta VG3 no recalque da bomba B2;
- Depois de realizados os procedimentos, partir para a coleta dos dados de Pressão, Vazão, Amperagem, Voltagem e Potência:
 - Manômetros: M2 e M3;
 - Mano-vacuômetro: MV;
 - Rotâmetro: R1;
 - Amperímetros: A2;
 - Voltímetros: V2;
 - Wattímetros: W2.

- Reduzir a vazão de recalque fechando parcialmente a válvula de gaveta VG3;
- Proceda novamente a coleta de dados;
- Repetir o procedimento para obter informações de várias vazões para o mesmo sistema, estas que poderão ser confrontadas com os valores a serem obtidos na associação série a seguir;

Operação das bombas em série

- Abrir as válvulas de esfera VE1 e VE3 e fechar a VE2, configurando assim o sistema em série;
- Fechar as válvulas de gaveta VG1 e VG2;
- Abrir a válvula de gaveta VG3;
- Ligar a bomba B1 no seu devido acionamento denominado AB;
- Abrir lentamente a válvula de gaveta VG2 até sua abertura total, neste momento o fluído ira circular através da bomba dois, mesmo estando desligada;
- Ligar a bomba B2 no seu devido acionamento denominado AB;
- Depois de realizados os procedimentos, partir para a coleta dos dados de Pressão, Vazão, Amperagem, Voltagem e Potência:
 - Manômetros: M1, M2 e M3;
 - Vacuômetro: VC1;
 - Mano-vacuômetro: MV;
 - Rotâmetro: R1;
 - Amperímetros: A1 e A2;

- Voltímetros: V1 e V2;
- Wattímetros: W1 e W2.
- Realizar os procedimentos acima em vários pontos até o estrangulamento completo da válvula VG3;
- Sendo possível assim montar a curva pressão x vazão;

RESULTADOS

Com os primeiros dados coletados de pressão em M2 e vazão em R1, por ocasião de funcionamento apenas da bomba B2, construir o gráfico pressão x vazão.

Com os dados coletados após associação série de pressão em M2 e vazão em R1, construir um novo gráfico.

Confrontar as pressões obtidas junto ao manômetro M2 para as mesmas vazões e observar o incremento de pressão ocasionado pela associação série.

4.5 ESCORVA DE UMA BOMBA (VISTA POSTERIOR)

As bombas rotodinâmicas precisam ser escorvadas, pois, as mesmas não possuem a capacidade de expurgar o ar do conduto de sucção para o início do funcionamento. Portanto quando postas a funcionar, já devem estar cheias de líquido, bem como, sua tubulação de aspiração (sucção).

A escorva consiste na introdução de água no conduto de sucção e da carcaça da bomba para retirada do ar dos mesmos.

O líquido é mantido no interior do conduto de sucção através da válvula de pé, um dispositivo que permite apenas o fluxo ascensional, evitando o retorno.

Na maioria das instalações de bombas pequenas, como acontece nas instalações prediais, à válvula de pé conserva a bomba escorvada. Se ela está funcionando bem, é capaz de manter a bomba cheia de líquido até ser posta em funcionamento novamente. Se ocorrer o esvaziamento devido a uma falha da mesma é preciso escorvá-la novamente.

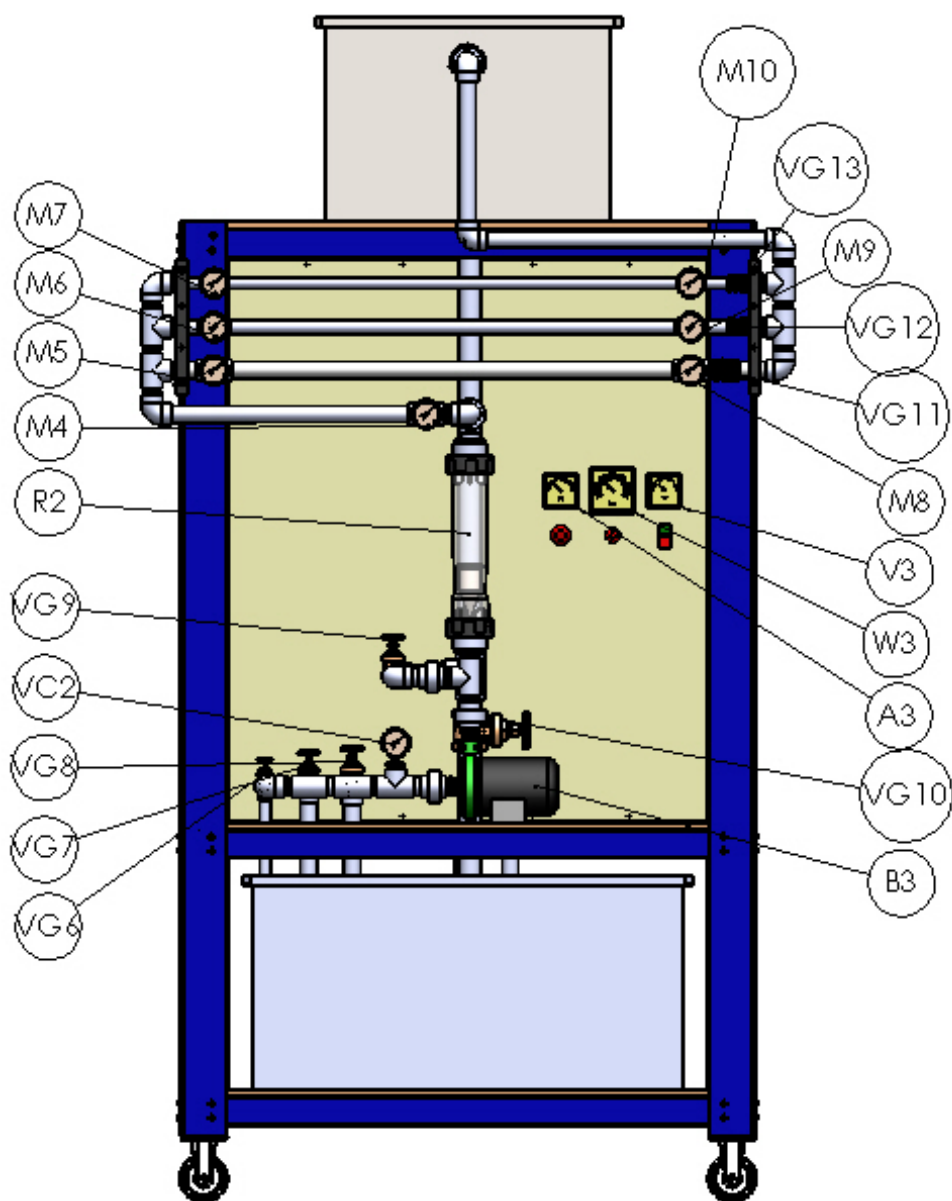
A presença de ar no interior da bomba, por junta mal vedada, folga nas vedações, ou furo no mangote de bombas de remoção de água de valas ou escavação, é denunciada por ruídos e trepidações características. A descarga e a pressão caem imediatamente, podendo a bomba perder a escorva e deixar de recalcar o líquido.

OBJETIVO

Efetuar o procedimento de escorva da bomba.

MATERIAIS

- Bancada didática de associação de bombas.



Vista posterior

PROCEDIMENTO

- Fechar a válvula de gaveta VG10;
- Abastecer o reservatório superior denominado C2 (caixa d'água 2);
- Abrir as válvulas de gaveta VG8 e VG9;
- A água do reservatório superior irá escoar pelas tubulações, expulsando o ar existente no seu interior.
- Aguardar enquanto o fluído tome o lugar do ar dentro do sistema hidráulico. Caso isso não ocorra, verificar o estado do funcionamento das válvulas de pé, localizadas na extremidade de cada tubulação de sucção;
- Depois de realizado a escorva, fechar a válvula de gaveta VG9;
- Abrir a válvula de gaveta VG10, para permitir o retorno da água do reservatório superior para o reservatório inferior, caso contrário pode ocorrer o transbordamento do mesmo.

RESULTADOS

Seguindo o procedimento a bomba B3 estará escorvada. Então sendo possível ser posta em funcionamento conforme necessidade sem riscos de danificação das vedações pela ausência de lubrificação, pois a água é o elemento de lubrificação para este tipo de vedação.

4.6 DEMONSTRAÇÃO DO FENÔMENO DA CAVITAÇÃO

Os líquidos são massas de alta mobilidade, devido à baixa viscosidade (vale dizer, baixa coesão molecular) onde, não raro, ocorrem rarefações (vazios, cavidades), tanto mais intensas quanto maior for a agitação (turbilhamento) da massa em movimento.

As massas líquidas, por outro lado, possuem a capacidade de manterem gases dissolvidos.

Nas bombas centrífugas, as peças móveis, como o roto, agitam consideravelmente a massa líquida bombeada criando condições favoráveis à ocorrência da cavitação.

A cavitação começa a ocorrer quando a pressão absoluta baixa até atingir a pressão de vapor (tensão de vapor) do líquido, na temperatura em que o mesmo se encontra.

A queda da pressão é ocasionada no interior do conduto de sucção pela rarefação causada pelo giro do rotor da bomba.

Quando a pressão absoluta no interior do conduto se tornar igual ou inferior à pressão de vapor do líquido, começa a ocorrer a vaporização espontânea, gerando rarefações e bolhas (onde ocorre a vaporização) na massa do líquido.

A corrente líquida, succionada pelo rotor da bomba, atinge zonas de pressão elevada (na entrada do rotor e da bomba) onde ocorre o colapso (desaparecimento) das bolhas formadas, ocorrendo sobre pressões da ordem de 10.000atm em espaços de tempo muito curtos, da ordem de 0,003 segundos.

O colapso ocorre porque a pressão local se torna superior à pressão do vapor, dentro da bolha, havendo uma redução brusca do volume da bolha e imediato preenchimento do espaço criado, fato que gera um choque devido à inércia de massa.

Quando estes colapsos ocorrem em sequência junto às superfícies metálicas das partes móveis da bomba, pequenas partes são desagregadas e arrancadas da superfície, resultando num aspecto poroso e corroído. É a erosão causada pela cavitação.

Rotores chegam a ser inutilizados em algumas semanas de operação, dependendo da intensidade do fenômeno.

A temperatura da massa líquida tem muita influência sobre a pressão de vapor.

A pressão de vapor do líquido aumenta (vaporiza mais facilmente) com o aumento da temperatura, criando condições mais propícias à cavitação.

A seguir vemos como varia a pressão de vapor da água em função da temperatura.

Pressão de vapor da água, em função da temperatura.

Temperatura	Pressão de Vapor (mca)
0	0,062
2	0,072
4	0,083
6	0,095
8	0,109
10	0,125
15	0,174
20	0,238
25	0,323
30	0,433
40	0,752
50	1,258
60	2,031
80	4,827
100	10,332

A pressão atmosférica tem muita influência sobre as condições da sucção e varia, principalmente, com a altitude.

Quanto maior a altitude do local da instalação, maior o risco de cavitação, por ser menor a pressão atmosférica.

A seguir, vemos como varia a pressão atmosférica em função da altitude.

Altitude em metros	$\frac{P_{atm}}{\gamma}$ mca
0	10,33
300	9,96
600	9,59
900	9,22
1200	8,88
1500	8,54
1800	8,20
2100	7,89
2400	7,58
2700	7,31
3000	7,03

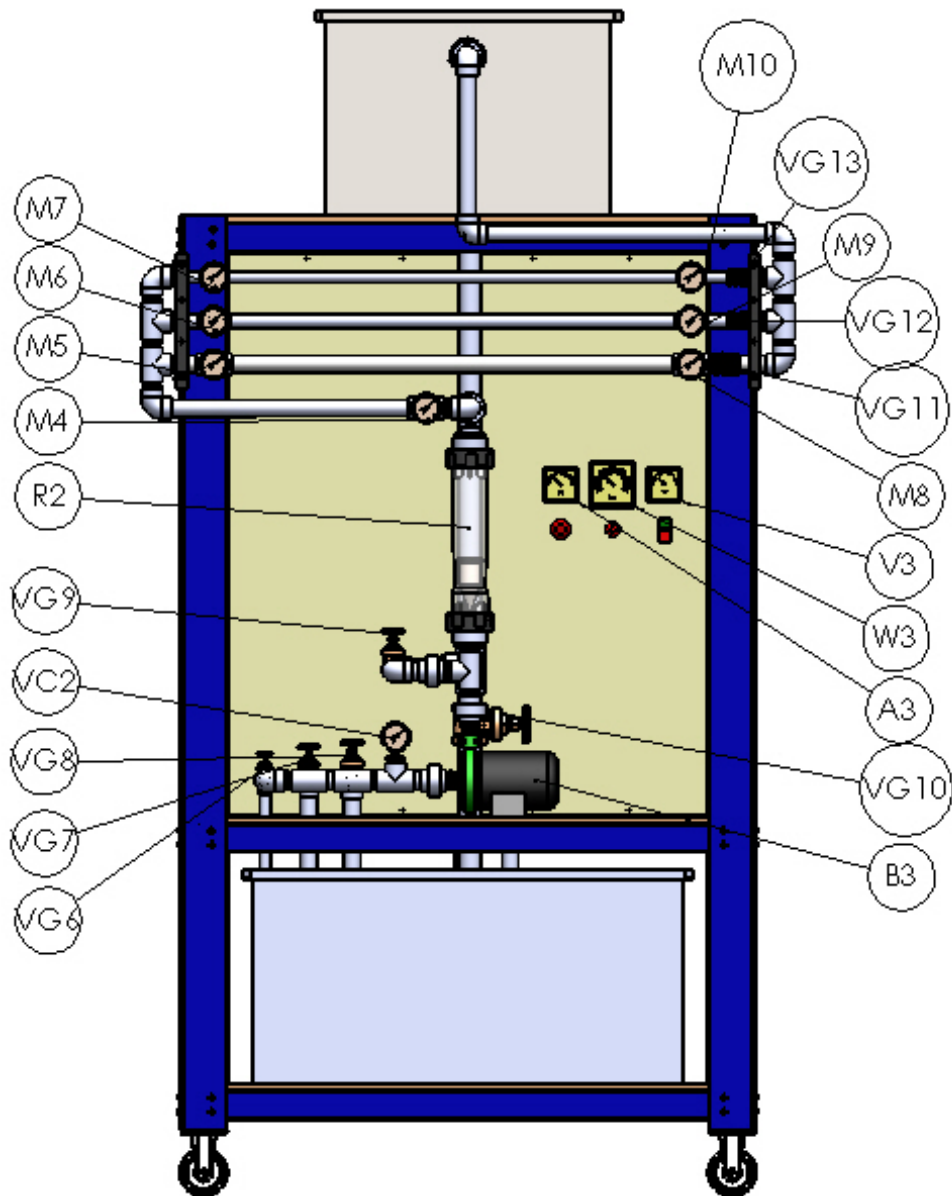
Para que uma bomba funcione sem cavitatar é necessário que, em todos os pontos da corrente líquida, a pressão interna seja, sempre, maior do que a pressão de vapor do líquido.

OBJETIVO

- Demonstrar o fenômeno de cavitação em uma bomba centrífuga.

MATERIAIS

- Bancada didática de associação de bombas.



Vista posterior

PROCEDIMENTO

- Energizar a bancada com a tensão recomendada;
- Proceder a escorva caso necessário;
- Verificar se a válvula VG10 encontra-se aberta, para permitir o retorno da água do reservatório superior para o reservatório inferior, caso contrário pode ocorrer o transbordamento do mesmo.
- Fechar as válvulas de gaveta VG7, VG8, VG9, VG11, VG12 e VG13;
- Abrir a válvula de gaveta VG6, localizada na sucção da bomba B1, onde o diâmetro da tubulação é de 1/2”;
- Ligar a bomba B3 no seu devido acionamento AB;
- Abrir lentamente a válvula de gaveta VG11 até sua abertura total,
- Proceder o fechamento gradual da válvula de gaveta VG6 e observar a variação de pressão no vacuômetro VC2 e os ruídos que ocorrem durante o procedimento.

RESULTADOS

A cavitação é um fenômeno que para sua ocorrência sofre influências da velocidade de sucção, temperatura do fluido e pressão atmosférica.

Com este procedimento é possível uma demonstração prática da ocorrência da cavitação caracterizada pela produção de ruído característico quando da sua ocorrência ou mesmo vibração da carcaça da bomba. Trata-se apenas de uma demonstração, no entanto a realização de estudos mais aprofundados a respeito do fenômeno podem ser realizados no sistema.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO NETTO, José M. de. *Manual de hidráulica*. 8. ed. atual. São Paulo: E. Blücher, 1998. 669 p. ISBN 85-212-0153-2

PIMENTA, Carlito Flávio. *Curso de hidráulica geral*. 4. ed Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981. 2v.

MACINTYRE, A. J. *Bombas e instalações de bombeamento*. 2. ed., rev. Rio de Janeiro: LTC, c1997. 782 p.

JARDIM. SÉRGIO BRIÃO. *Sistemas de bombeamento*. Porto Alegre: Sagra – DC LUZZATTO, 1992.