

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

ANÁLISE DE MONTAGEM DE BOMBA CENTRÍFUGA

**RICARDO SILVA BORGES
Professor Orientador: Me. Paulino Cutrim Martins**

**São Luís – MA
2015**

RICARDO SILVA BORGES

ANÁLISE DE MONTAGEM DE BOMBA CENTRÍFUGA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual do Maranhão, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Paulino Cutrim Martins

**São Luís – MA
2015**

Borges, Ricardo Silva.

Análise de montagem de bomba centrífuga / Ricardo Silva Borges.—São Luís, 2015.

92 Folhas

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2015.

Orientador: Prof. Msc. Paulino Cutrim Martins.

1. Bomba centrífuga. 2.Montagem . 3.Instalação. 4. Manutenção. I.Título

CDU: 621.671

ANÁLISE DE MONTAGEM DE BOMBA CENTRÍFUGA

RICARDO SILVA BORGES

Monografia aprovada em ____ de ____ de 2015.

Profº. Me. Paulino Cutrim Martins

(Orientador)

Profº. Me. Louryval Coelho Paixão

(Membro da Banca Examinadora)

Profº. Alex Luís da Costa Alexandre

(Membro da Banca Examinadora)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus que me ilumina e me concedeu sabedoria para o desenvolvimento desta monografia. Agradeço aos meus pais Romão e Ana e ao meu irmão Felipe, que sempre me ajudaram e incentivaram para a realização do meu sonho de me formar em Engenharia Mecânica. Agradeço também a minha namorada, Larissa Nunes, que sempre me ajudou durante o curso.

Agradeço ao Professor Paulino que sempre se dispôs a me ajudar, tirando todas minhas dúvidas com o desenvolvimento deste trabalho, desempenhando um grande papel não apenas como um excelente professor e orientador, mas principalmente como um grande amigo. Agradeço a presença dos professores da banca examinadora, que além de professores são meus amigos.

RESUMO

O projeto tem como objetivo mostrar a importância da Análise de Montagem detalhada da Bomba Centrífuga para um melhor funcionamento da mesma, sendo analisada a função de cada parte da Bomba na sua individualidade e coletividade, evitando dessa forma prejuízos para a Empresa analisada (CAEMA). Esse processo é realizado para otimizar a vida útil da Bomba, sendo necessário o uso correto de acordo com os padrões determinado pela fabricante da Bomba, proporcionando vantagens como aumento de velocidade de operação em menor intervalo de tempo, diminuindo os custos envolvidos na operação. Ao longo do desenvolvimento será explicado um planejamento na Instalação da Bomba Centrífuga em locais adequado para o funcionamento com maior eficiência e Manutenções corretiva, preventiva, preditiva, detectiva e pró-ativa. Desse modo, seguindo todas as etapas para o bom funcionamento da Bomba Centrífuga proporcionará, uma vida útil maior para o equipamento, garantido ganhos para à Empresa que apresentará melhorias no seu sistema.

Palavras chaves: 1. Bomba Centrífuga; 2. Montagem; 3. Instalação; 4. Manutenção.

ABSTRACT

The project aims to show the importance of detailed assembly Analysis of Centrifugal Pump for a better functioning of it, and analyzed the function of each part of the pump in their individuality and collectivity, thus avoiding damage to the analyzed Company (CAEMA). This process is performed to optimize the life of the pump, it is necessary to use the correct according to the standards specified by the manufacturer of the pump, providing advantages such as increased operating speed in less time interval, decreasing the costs involved in the operation. Throughout the development planning will be explained in Installing the Centrifugal Pump in suitable locations for operating more efficiently and Corrective Maintenance, preventive, predictive, detective and proactive. Thus, following all the steps for the proper functioning of Centrifugal Pump will provide a longer life for equipment, guaranteed earnings for the Company will present improvements on your system.

Key words: 1. Centrifugal Pump; 2. Assembly; 3. Installation; 4. Maintenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Bomba Centrífuga.....	23
Figura 2- Componentes da Bomba Centrífuga.....	23
Figura 3- Tipos de Impulsor.....	24
Figura 4- Fluxo Radial (a), Axial (b) e Misto.....	24
Figura 5- Carcaça em Voluta.....	25
Figura 6. Eixo.....	27
Figura 7-Eixo de Luva.....	27
Figura 8- Anéis de Desgaste.....	28
Figura 9-Gaxetas.....	28
Figura 10- Selo Mecânico	29
Figura 11- Mancal.....	30
Figura 12- Acoplamento	32
Figura 13- Escoamento Turbulento e Laminar.....	33
Figura 14- Trecho de tubulação como volume de controle.....	35
Figura 15- Gráfico de Bernoulli.....	36
Figura 16- Diagrama de Woody.....	38
Figura 17- Instalação de bombeamento e seus acessórios.....	40
Figura 18- Curva Inclínada.....	41
Figura 19- Curva Ascendente/Descendente.....	42
Figura 20- Figura Curva Altamente Descendente.....	42
Figura 21- Curva Plana.....	42
Figura 22- Curva Absorvida x Vazão.....	44
Figura 23- Curva de Rendimento x Vazão.....	44
Figura 24- Curvas Características para Bomba Centrífuga.....	45
Figura 25- Altura de Sucção e Recalque em uma Instalação.....	46
Figura 26- Cavitação no Rotor, Sistema Rio da Prata-Caema.....	49
Figura 27- As quatro fases de danificação do material devido à cavitação.....	55
Figura 28- Associação de Bombas Centrífugas em Série.....	57
Figura 29- Associação de Bomba Centrífuga em Paralelo.....	58

Figura 30- Motor de Bomba Centrífuga.....	58
Figura 31- Verificação das peças.....	62
Figura 32- Peças limpas e Pronta.....	62
Figura 33- Colocação do Rotor no Eixo.....	63
Figura 34- Colocação dos Anéis de Desgastes.....	63
Figura 35- Colocação da Bucha no Eixo.....	64
Figura 36- Colocação do Anel de O'ring.....	64
Figura 37- Colocação do Anel de Lanterna.....	65
Figura 38- Colocação do conjunto girante na voluta.....	66
Figura 39- Mancal com o rolamento interno.....	67
Figura 40- Rolamento.....	67
Figura 41- Colocação da caixa de gaxetas.....	68
Figura 42- Colocação da Carcaça.....	68
Figura 43- Colocação do Acoplamento.....	69
Figura 44- Alinhamento.....	69
Figura 45- Placa de Identificação de Bomba Centrífuga.....	71
Figura 46- Transporte do Conjunto Motor-Bomba.....	71
Figura 47- Transporte da Bomba através do flange de recalque.....	72
Figura 48- Assentamento da Base.....	75
Figura 49- Nivelamento da Base.....	75
Figura 50- Enchimento da Base.....	76
Figura 51- Alinhamento com relógio comparador.....	77
Figura 52- Alinhamento a Laser.....	78
Figura 53 - Limpeza na Carcaça.....	84
Figura 54- Engaxetamento.....	85
Figura 55- Eixo Danificado.....	86
Figura 56- Instalação dos Rolamentos.....	86
Figura 57- Substituição do Acoplamento.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Unidades de Potência.....	59
Tabela 2- Rotação.....	59
Tabela 3- Grau de proteção.....	60
Tabela 4- Grau de proteção.....	61
Tabela 5- Líquidos de Conversação.....	73
Tabela 6- SISTEMA SACA VÉM ÁGUA BRUTA.....	91
Tabela 7- SISTEMA SACA VÉM ÁGUA TRATADA.....	92

LISTA DE SIGLAS

Potmax	Potência máxima admissível em HP
σ	Tensão admissível
N	Rotação
d	Menor diâmetro do eixo, normalmente no acoplamento
Re	Número de Reynolds
V	Velocidade de escoamento do fluido
D	Diâmetro interno da tubulação
ν	Viscosidade cinemática do fluido
μ	Viscosidade absoluta
Re < 2000	Regime Laminar (Tubos Circulares)
Re > 4000	Regime Turbulento (Tubos Circulares)
ρ	Densidade relativa
V	Velocidade média numa seção
S	Seção transversal
hf	Perda de carga, representa a energia perdida no líquido
γ	Peso específico do fluido
Z	Altura geométrica
P	Pressão do fluido
V	Velocidade do fluido
g	Aceleração da gravidade
J	Perda unitária
Le	Comprimento equivalente da tubulação
hf	Perda de carga na tubulação por fricção
f	Fator de fricção (adimensional)
hl	Perda de carga localizada
K	Coeficiente de atrito
Q	Vazão volumétrica
V	Velocidade do Fluido
A	Área interna do Tubo
ρ	Massa específica
γ	Peso específico
η	Rendimento
Hm	Altura Manométrica da Instalação
HG	Altura Geométrica
hf	Perda de Carga Total
Pfs	Pressão Manométrica medida no flange de Sucção

Vfs	Velocidade do Flange de Sucção
Pfd	Pressão Manométrica medida no flange de Descarga
Vfd	Velocidade do Flange de Descarga
H	Altura Manométrica Total
hd	Altura Manométrica de Descarga
hs	Altura Manométrica de Sucção
Pa	Pressão Ambiente do líquido
Pv	Pressão de Vapor
hfi	Perda de Carga entre o flange de sucção e o olho do rotor
V1	Velocidade Absoluta no olho do rotor
λ	Fator experimental dependente do projeto da sucção da Bomba
hfs	Perdas na Linha de Sucção
Pa	Pressão Atmosférica Local
Pv	Pressão de Vapor na Temperatura de Bombeamento
Vfs	Velocidade Média do líquido no Flange de Sucção
Pfs	Pressão Manométrica na Temperatura de Bombeamento

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. JUSTIFICATIVA.....	17
3. OBJETIVOS.....	18
3.1 OBJETIVO GERAL.....	18
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
4. METODOLOGIA.....	19
5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
5.1 MÁQUINAS HIDRÁULICAS.....	20
5.1.1 MÁQUINAS MOTRIZES.....	20
5.1.2 MÁQUINAS GERATRIZES.....	20
5.1.3 MÁQUINAS MISTAS.....	20
5.2 BOMBAS.....	21
5.2.1 BOMBAS CENTRÍFUGAS.....	21
5.2.1.1 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO.....	22
5.2.1.2 COMPONENTES DA BOMBA.....	23
5.3 ESCOAMENTO DO FLUIDO EM TUBULAÇÃO.....	33
5.3.1 ESCOAMENTO LAMINAR.....	33
5.3.2 ESCOAMENTO TURBULENTO.....	33
5.3.3 REGIME PERMANENTE UNIFORME.....	34
5.3.4 ESCOMENTO COMPREENSÍVEL.....	34
5.3.5 EQUAÇÃO DE CONTINUIDADE.....	34
5.3.6 TEORIA DE BERNOULLI.....	35
5.3.7 PERDA DE CARGA.....	36
5.3.7.1 PERDA DE CARGA POR FRICÇÃO.....	37
5.3.7.2 PERDA DE CARGA LOCALIZADA.....	38
5.4 TUBULAÇÕES.....	39
5.4.1 DIMENSIONAMENTO DA TUBULAÇÃO.....	40
5.4.1.1 VAZÃO E VELOCIDADE.....	40
5.5 DESEMPENHO DA BOMBA CENTRÍFUGA.....	41
5.5.1 CURVA CARGA(H) X VAZÃO(Q).....	41
5.5.2 CURVAS DE POTÊNCIA ABSORVIDA (Pot abs)X VAZÃO(Q).....	43
5.5.3 CURVAS NPSH req(NPSH req) X VAZÃO(Q).....	44
5.5.4 CURVAS CARACTERÍSTICAS.....	45
5.6 CARACTERÍSTICA DO SISTEMA.....	45
5.6.1 ALTURA MANOMÉTRICA DE INSTALAÇÃO.....	46
5.6.2 CÁLCULO DA ALTURA MANOMÉTRICA DE SUCÇÃO.....	47

5.6.3	CÁLCULO DA ALTURA MANOMÉTRICA DE DESCARGA OU RECALQUE.....	47
5.6.4	CÁLCULO DA ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL (H).....	48
5.7	CAVITAÇÃO.....	48
5.7.1	INCOVENIENTES DA CAVITAÇÃO.....	49
5.7.1.1	BARULHO E VIBRAÇÃO.....	49
5.7.1.2	ALTERAÇÕES DAS CURVAS CARACTERÍSTICAS.....	49
5.7.1.3	DANIFICAÇÃO DO MATERIAL	50
5.7.1.4	EROSÃO E CORROSÃO.....	50
5.7.2	ANÁLISE DE CAVITAÇÃO EM BOMBAS.....	50
5.7.3	EQUACIONAMENTO DA CAVITAÇÃO.....	50
5.7.4	CÁLCULO DO NPSH DISPONÍVEL.....	52
5.7.5	FATORES QUE MODIFICAM O NPSH DISPONÍVEL.....	52
5.7.6	COMPORTAMENTO DOS MATERIAIS QUANTO A CAVITAÇÃO.....	53
5.7.6.1	INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO MATERIAL.....	53
5.7.6.2	INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS METALÚRGICAS.....	53
5.7.6.3	INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICA.....	54
5.7.6.4	INFLUÊNCIA DE OUTRAS CARACTERÍSTICA DO MATERIAL.....	54
5.7.6.5	FASES DE DANIFICAÇÃO DO MATERIAL.....	55
5.7.6.6	CAVITAÇÃO EM CONDIÇÕES ANORMAIS DE OPERAÇÃO.....	55
5.8	ASSOCIAÇÃO DE BOMBAS.....	56
5.8.1	ASSOCIAÇÃO DE BOMBAS EM SÉRIE.....	56
5.8.2	ASSOCIAÇÃO DE BOMBAS EM PARALELO.....	57
5.9	MOTORES ELÉTRICOS.....	58
5.9.1	POTÊNCIA.....	59
5.9.2	ROTAÇÃO.....	59
5.9.3	TENSÃO.....	59
5.9.4	FREQUÊNCIA.....	60
5.9.5	GRAU DE PROTEÇÃO.....	60
5.9.6	CLASSE DE ISOLAMENTO.....	61
5.9.7	VENTILAÇÃO.....	61
6.	ANÁLISE DE MONTAGEM.....	62
7.	INSTALAÇÃO.....	70
7.1	PREPARO PARA EMBARQUE.....	70
7.2	INSPEÇÃO.....	70
7.3	TRANSPORTE.....	71
7.4	ARMAZENAMENTO.....	72
7.5	LOCALIZAÇÃO DA BOMBA.....	73
7.6	FUNDAÇÕES.....	74

7.6.1	PRINCIPAIS ETAPAS DE ASSENTAMENTO DA BASE, TRILHO OU SAPATA DE FUNDAÇÃO.....	74
7.6.2	NIVELAMENTO DA BASE OU TRILHA DE FUNDAÇÃO.....	75
7.6.3	ENCHIMENTO DA BASE, TRILHO OU SAPATA DE FUNDAÇÃO COM ARGAMASSA.....	76
7.7	ALINHAMENTO.....	76
7.8	TUBULAÇÃO.....	78
7.8.1	TUBULAÇÃO DE SUCÇÃO.....	79
7.8.2	TUBULAÇÃO DE RECALQUE.....	79
8.	MANUTENÇÃO.....	79
8.1	MANUTENÇÃO CORRETIVA.....	80
8.2	MANUTENÇÃO PREVENTIVA.....	80
8.2.1	INSPEÇÕES DIÁRIAS.....	80
8.2.2	INSPEÇÕES MENSAIS.....	81
8.2.3	INSPEÇÕES SEMI-ANUAIS.....	81
8.2.4	INSPEÇÕES ANUAIS.....	81
8.3	MANUTENÇÃO PREDITIVA.....	81
8.4	MANUTENÇÃO DETECTIVA.....	82
8.5	MANUTENÇÃO PRÓ-ATIVA.....	82
9.	ESTUDO DE CASO.....	82
10.	CONCLUSÃO.....	88
	BIBLIOGRAFIA.....	89
	ANEXOS.....	90

1. INTRODUÇÃO

É notável o crescimento do uso de Bombas Hidráulicas no planeta, principalmente as Bombas Centrífugas que são usadas para bombear líquidos no saneamento básico, na irrigação de lavouras, nos edifícios residenciais, na indústria em geral, transferindo líquidos de um local para outro, por isso o uso de Bomba Centrífuga é fundamental em nossa sociedade. No Maranhão a Empresa que é responsável pelo tratamento de água é a CAEMA, sua sede fica localizada na cidade de São Luís. A CAEMA utiliza várias Bombas Hidráulicas no seu sistema.

A captação e distribuição de água têm sido, desde Antiguidade, umas das preocupações da humanidade. Para o abastecimento de águas dos núcleos populacionais que se estabeleceram em locais mais afastados dos rios, foi necessária a criação de alternativas que permitissem captar água, transportá-la e armazená-la para ser utilizada quando fosse o caso. Paralelamente, fez-se necessário encontrar recursos para levar a água a locais onde pudesse atender às necessidades de consumo e a irrigação de terras para fins agrícolas, logo surgiu a criação da Bomba Centrífuga para resolver esses problemas na sociedade. A função da Bomba é fornecer energia para o fluido, a fim de recalcará-la, através de conversão de energia mecânica de seu rotor proveniente de um motor a combustão ou de motor elétrico.

É fundamental uma Montagem correta de Bomba Centrífuga, pois a mesma necessita de planejamento e controle no seu uso. Tendo isso como premissa, esta Monografia propõe o desenvolvimento acadêmico de Análise de Montagem de uma Bomba Centrífuga com todos os requisitos necessários para um excelente funcionamento de uma Bomba instalada em qualquer local desejado.

2. JUSTIFICATIVA

A Monografia tem como base o planejamento quando for executada a montagem de uma Bomba Centrífuga com todas as etapas de instalações sem erros, niveladas e alinhadas por pessoas habilitadas. Na Empresa de saneamento, como a CAEMA encontram-se inúmeras dificuldades por falta de planejamento e manutenção adequada, que acarretar em vários problemas com as Bombas Centrífugas. As instalações de Bombas Centrífugas tem que ser executada com todos os cuidados precisos, pois uma montagem sem os requisitos necessários vai prejudicar a vida útil do equipamento, gerando um alto custo de manutenção por apresentarem altas taxas de falha e baixa disponibilidade para operação.

Os principais problemas relacionados na bomba ou no rotor é a perda de lubrificação, vazamento nas gaxetas, níveis de ruído e vibração muito alta, problemas relacionado ao mecanismo motriz (turbina ou motor), Bombas Centrífugas operando fora do ponto de melhor eficiência representa também desperdício de energia, que é prejudicial para CAEMA. Por isso é muito importante aplicar o uso da Bomba da maneira correta para não ter esse desperdício. Pois aplicando uma montagem correta de uma Bomba garantem vantagens como aumento de velocidade das operações em menor intervalo de tempo, diminuindo os custos envolvidos na montagem, proporciona um longo funcionamento do equipamento.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

O principal objetivo é Analisar a Montagem da melhor forma possível de uma Bomba Centrífuga para otimizar o sistema e lhe proporcionar uma vida útil maior segundo os dados da Bomba. Juntamente com a instalação da Bomba em um local adequado para o funcionamento com maior eficiência e uma manutenção corretiva, preventiva, preditiva, detectiva e pró-ativa em um período regular determinado pelo operador da Bomba.

3.2 Objetivos Específicos

Para alcance do objetivo geral deste projeto, será necessário atender aos seguintes objetivos específicos:

- a) Inspeção do equipamento, verificando se há componentes danificados devido ao transporte, se há peças faltando ou se a embalagem foi violada;
- b) Examinar o transporte do conjunto motor-bomba ou somente a bomba;
- c) Verificar se a bomba foi armazenada em local apropriado pra armazenamento de bombas e se foi armazenado em curto ou longo prazo antes da instalação, pois o limite é 60 dias de armazenamento;
- d) Estudar o local de instalação, pois deve ser instalada em local que permita fácil acesso de manutenção, apoiada em fundação resistente que evite o risco da bomba ficar suportada pelas tubulações.
- e) Testar o equipamento para uso e aplicar Manutenção de acordo com os dados técnicos da Bomba instalada.

4. METODOLOGIA

Esta é uma pesquisa quali-quantitativa, com revisão bibliográfica, com ênfase em livros pertinentes às questões relacionadas à Análise e Montagem de Bombas Centrífugas. Com pesquisa de campo realizada na CAEMA. A pesquisa busca além de quantificar todo o processo de Análise e Montagem e suas consequências, busca também compreender e explicar a dinâmica dos processos.

Realizou-se uma busca ativa na biblioteca da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), em seu acervo de livros científicos levantando os principais referenciais teóricos e seus posicionamentos com a finalidade de subsidiar esta pesquisa, explorando-se os limites de seu problema rumo ao encontro dos elementos necessários para que se obtivessem os resultados desejados.

Foram consultados ainda, via internet, artigos científicos, trabalhos monográficos, teses de mestrados e doutorados, em bancos de dados em português. Para o levantamento do material foi utilizado o Google, Scielo, sites de universidades como a Universidade de São Paulo (USP e UNICAMP), Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Utilizou-se como método de digitação de palavras-chaves como: análise de bombas centrífugas, montagem de bombas centrífugas e partes da bomba centrífuga.

Quanto às leituras priorizou-se uma visão de conjunto, lendo os resumos, introdução com o objetivo de selecionar os estudos mais importantes. Posteriormente, foi realizado um estudo mais aprofundado desses materiais. Quanto ao critério de exclusão, adotou-se como norma excluir as obras em que suas informações não eram importantes para o objetivo do estudo.

Para a coleção das obras consultadas e arquivos da pesquisa de campo com dados precisos e concretos, criou-se um fichário no qual iam sendo documentados, de forma criteriosa, os documentos bibliográficos organizados de acordo com a natureza da temática. Em cada parte foi anotado, progressivamente, os dados bibliográficos da obra e do autor, e editoriais, páginas e ano das obras resumindo-se a obra e da pesquisa de campo. A partir de então, passou-se a elaboração deste material.

5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1 Máquinas Hidráulicas

As Máquinas Hidráulicas podem ser classificadas em três grandes grupos:

- Máquinas Motrizes
- Máquinas Geratrizes ou Operatrizes
- Máquinas Mistas

5.1.1 Máquinas Motrizes

São as que transformam a energia hidráulica em trabalho mecânico, fornecido, geralmente, sob a forma de conjugado que determina um movimento praticamente uniforme. É responsável por acionar outras máquinas, principalmente geradores de energia elétrica (MACINTYRE, 1997). Dois são os tipos principais de máquinas motrizes hidráulicas:

- Turbinas Hidráulicas: responsáveis pelo escoamento da água em canais formados por pás curvas, dispostas simetricamente em torno de um eixo móvel, e que constituem o rotor ou receptor.
- Rodas Hidráulicas: são responsáveis pelo escoamento em canais especiais ou despejados em cubas, desenvolve forças que produzem o conjunto do rotor.

5.1.2 Máquinas Geratrizes

São aquelas que recebem o trabalho mecânico, geralmente fornecido por uma máquina motriz, e transforma em energia hidráulica, comunicando ao líquido um acréscimo de energia sob as formas de energia potencial de pressão e cinética (MACINTYRE, 1997).

5.1.3 Máquinas Mistas

São dispositivos ou aparelhos hidráulicos que modificam o estado de energia que o líquido possui, isto é, transformam a energia hidráulica sob uma forma na outra. Pertencem a esta classe os ejetores ou edutores, os pulsômetros, os

carneiros hidráulicos, as chamadas bombas de emulsão de ar e etc (MACINTYRE, 1997).

5.2 Bombas

São máquinas acionadas que recebem energia de forma motora, transformam em Energia Cinética e Energia de Pressão e a transmitem ao fluido bombeado. A utilização de bombas ocorre sempre que se necessita aumentar a pressão de um fluido, transportá-lo pela tubulação de um ponto a outro de uma planta, seguindo as condições de vazão estabelecida pelo processo. Existem diversos tipos de Bombas, cada uma adequada a uma determinada condição que o processo exige, por isso a utilização de Bombas Centrífugas são fundamentais na sociedade.

5.2.1 Bombas Centrífugas

Para obtenção de água o Homem teve de procurar recursos e estudos de como adquirir água em seu uso diário. Assim, os dispositivos de elevação de líquidos foram surgiram em épocas imemoriais e, com o decorrer do tempo, foram sendo aperfeiçoadas continuamente.

O inventor da Bomba Centrífuga foi um francês, Denis Papin (1647 – 1712), em 1689, quando fabricou uma bomba com disco de pás. (artigo de Abraham Engeda, “From the Cristal Palace to the Pump room” 1999 p.16).

Na Antiguidade, os primeiros dispositivos para coleta e elevação de água foram o balde atado a uma corda e, depois, o balde disposto na extremidade de uma alavanca longa e equilibrado por uma pedra pesada colocada na extremidade oposta. As Bombas propriamente ditas apresentaram quatro estágios principais no decorrer da sua evolução: as bombas de roda d'água, bombas espirais, as de êmbolo e as centrífugas. Em cada uma dessas fases ocorreu aperfeiçoamento sucessivos.

“No estudo das bombas e das instalações de bombeamento, considera-se, quase sempre, pelo menos no estudo preliminar, o líquido como um líquido perfeito, isto é, um fluido ideal, incompressível, perfeitamente móvel, entre cujas moléculas não se verificam forças tangenciais de atrito, isto é, que não possui viscosidade.” (MACINTYRE, 1997 p.1).

Para compreensão do funcionamento da Bomba Centrífuga o líquido que é transportado entre a tubulação tem que ser um líquido de acordo com as normas técnicas.

De acordo com Edson e Falco:

“As bombas centrífugas são aquelas em que a energia fornecida ao líquido é primordialmente do tipo cinética, sendo posteriormente convertida em grande energia de pressão. A energia cinética pode ter origem puramente centrífuga ou de arrasto, ou mesmo uma combinação das duas, dependendo da forma do impelidor.” (EDSON E FALCO, 1998, p.106).

Em Bombas Centrífugas, a energia é transferida ao fluido pela rotação do eixo onde é montado o rotor, com certo número de pás ou palhetas.

A geometria do rotor e suas palhetas caracteriza o tipo da bomba centrífuga e influencia a forma como a energia é transferida ao fluido e sua direção na saída do rotor. A vazão da bomba depende de suas características construtivas e das características do sistema onde ela está operando.

5.2.1.1 Princípio de Funcionamento

A Bomba Centrífuga tem como base de funcionamento a criação de zonas de pressão diferenciadas, uma de baixa pressão (sucção) e outra de alta pressão (recalque). Para que ocorra a formação destas duas zonas distintas de pressão, é necessário existir no interior da bomba a transformação da energia mecânica (de potência), que é fornecida pela máquina motriz (motor ou turbina), primeiramente em energia cinética, a qual irá deslocar o fluido, e posteriormente, em maior escala, em energia de pressão, a qual irá adicionar “carga” ao fluido para que ele vença as alturas de deslocamento (GARCEZ, 1997).

Segundo Edson e Reinaldo (1998), a criação da zona de alta pressão na periferia, alta pressão esta que é a responsável pela possibilidade de transporte de fluido e atendimento das condições finais de processo, deve-se ao fato de que o líquido que parte da periferia, sob a ação da força centrífuga, vai encontrar um aumento progressivo na área de escoamento, que causará queda de velocidade e aumento de pressão (teorema de Bernoulli). Está, assim, criada a alta pressão na periferia, necessária para que a bomba cumpra a sua função.

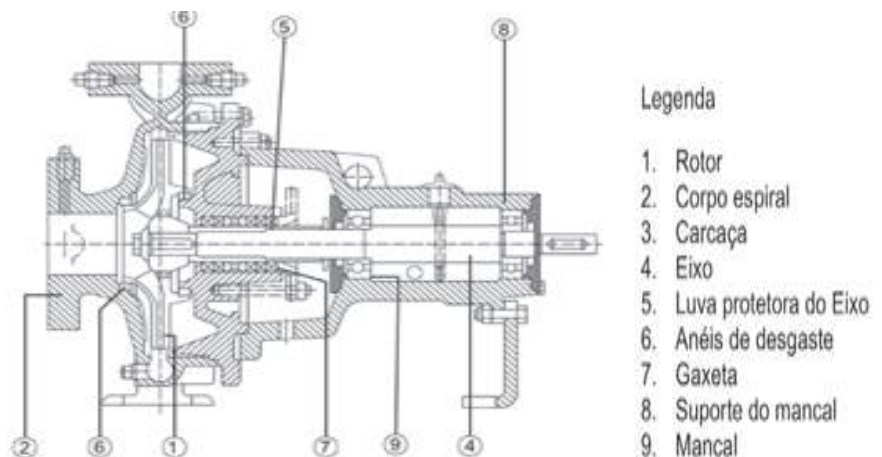
Figura 1 – Bomba Centrífuga



Fonte: Arquivo pessoal de Ricardo Borges

5.2.1.2 Componentes da Bomba Centrífuga

Figura 2. Componentes da Bomba Centrífuga

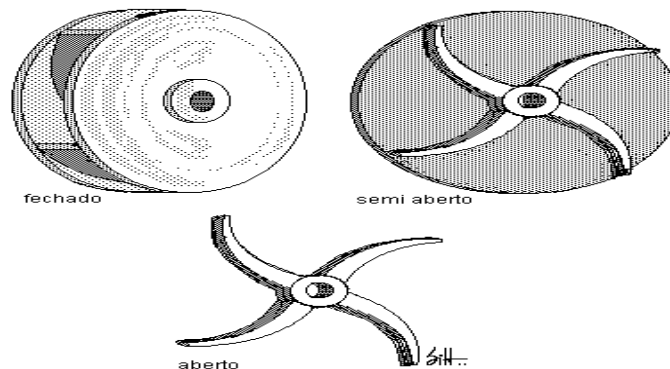


Fonte: Procel Industria-2009

1. Impelidor ou Rotor: é composto essencialmente de palhetas ou pás que impulsionam o líquido.

1.1 As Bombas pode ser ditas de impelidor aberto, semi-aberto e fechado.

Figura 3. Tipos de Impulsor



Fonte: Catálogo KSB

Elas são classificadas de muitas formas:

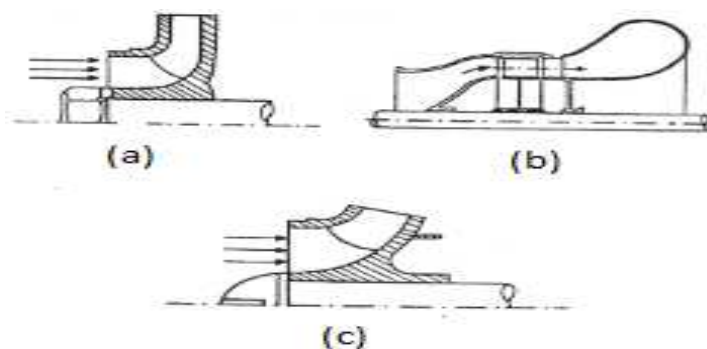
a) Baseada na direção principal do Fluxo em relação ao eixo de Rotação.

-Fluxo Radial: quando a direção do fluido bombeado é perpendicular ao eixo de rotação.

-Fluxo Axial: quando a direção do fluido bombeador é paralela em relação ao eixo de rotação.

-Fluxo Misto: quando a direção do fluido bombeado é inclinada em relação ao eixo de rotação.

Figura 4. Fluxo Radial (a), Axial (b) e Misto



Fonte: Apostila de Bombas Industriais

b) Baseado no tipo de Sucção.

-Sucção simples: entrada do líquido em um lado.

-Dupla-sucção: entrada do líquido simetricamente ao impulsor, de ambos os lados.

c) Baseado na Construção Mecânica.

-Fechado: coberturas ou paredes laterais que protegem as palhetas.

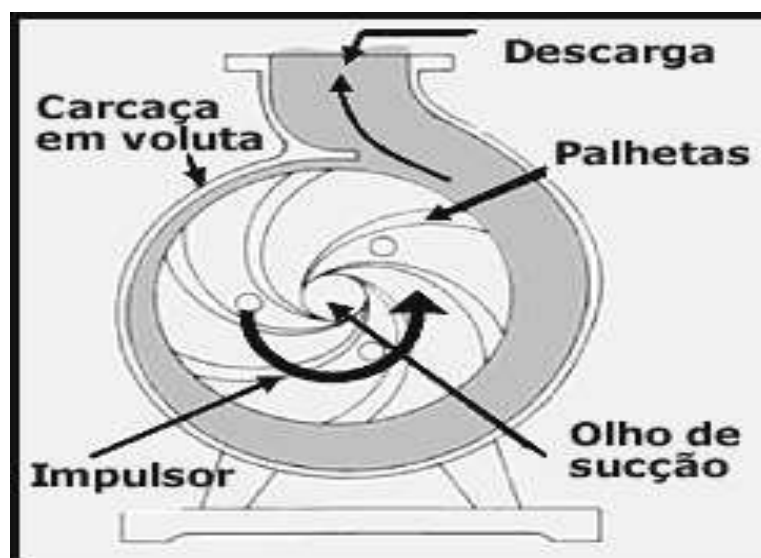
-Semi-aberto: nenhuma cobertura ou parede para enclausurar as palhetas.

2.Carcaça: é o componente responsável pela contenção do fluido bombeado bem como, sob certo aspecto, provê oportunidade para conversão de energia cinética do fluido em energia de pressão, passo fundamental ao bombeamento (MATTOS E FALCO, 1998).

2.1 Tipos de Carcaça:

-Carcaça em voluta: é o tipo mais usual de carcaça, sendo utilizada predominantemente em bombas de simples estágio. A voluta tem por função primordial coletar o fluido que sai na periferia do impelidor e orientar seu caminho até a saída da bomba (MATTOS E FALCO, 1998).

Figura 5. Carcaça em Voluta



Fonte: Apostila de Bombas Industriais

-Carcaça com pás difusoras: é mais utilizada em Bombas de multiestágio, onde o fluido, ao sair de cada impelidor, penetra em um canal de seção crescente formado por pás difusoras fixas à carcaça, processando-se, assim, a necessária conversão de energia cinética em energia de pressão.

-Carcaça Concêntrica: apresentar um formato circular, apesar de seu baixo custo de fabricação, as carcaças concêntricas tem aplicações reduzida em virtude de possibilitarem menor eficiência que as carcaças em voluta.

-Carcaça em dupla voluta: é mais utilizada em bombas de grande porte, particularmente no que concerne à vazão, utiliza-se, como artifício para atenuar o empuxo radial, a carcaça em dupla voluta.

-Carcaça Mista: é encontrada em bombas que usam uma combinação de carcaça com pás difusoras e voluta.

3. Eixo: tem como função básica do eixo transmitir o torque na partida e durante a operação, assim como suportar o impelidor e outras partes rotativas, devendo trabalhar sempre com deflexão menor que a folga mínima entre as partes rotativas e estacionárias. Por isso são levados em consideração a deflexão máxima permissível, o vão ou balanço, a localização das cargas, rotação, torque a ser transmitido, as características do material e a velocidade crítica resultante. É usada uma fórmula para a verificação e adequabilidade do eixo para trabalhar com a potência máxima de operação na velocidade especificada (MATTOS E FALCO, 1998). Logo a Potência Máxima permissível:

$$Pot_{max} = \frac{\sigma N d^3}{321000}$$

Onde:

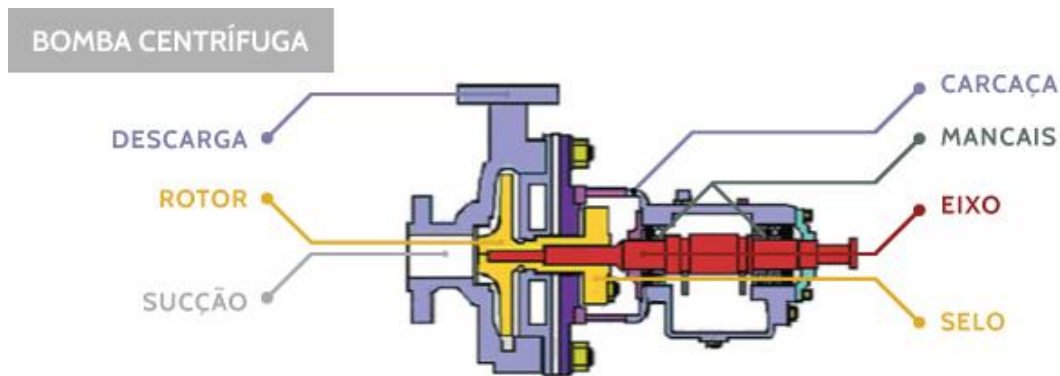
Pot_{max} = potência máxima admissível em HP;

σ = Tensão admissível (kg/cm²);

N = rotação (min⁻¹);

d = menor diâmetro do eixo (cm).

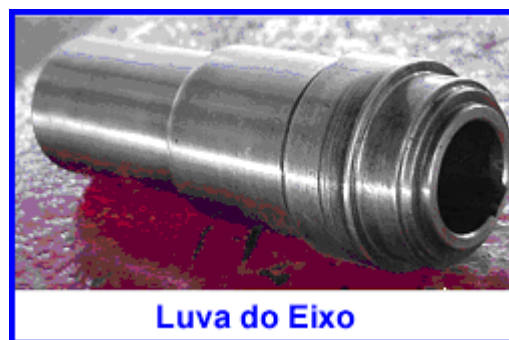
Figura 6. Eixo



Fonte: Bomba Guia Básico/Eletrobrás-2009

4. Eixo de Luva: tem como função proteger o eixo de erosão, corrosão ou desgaste. O objetivo mais comum da luva de eixo é proteger o eixo na região da caixa de gaxetas (MATTOS E FALCO, 1998).

Figura 7. Eixo de Luva



Fonte: Manual de Instalação, Operação e Manutenção de Bombas

5. Anéis de Desgaste: Segundo Edson e Reginaldo (1998), pelo fato do impelidor não pode roçar na carcaça, conseqüentemente, há necessidade de se manter uma folga controlada entre o olho de sucção do impelidor e a carcaça. Naturalmente, devido a diferença de pressão existente, isto implica uma recirculação normal do fluido em direção da sucção. Entretanto, com o tempo, esta folga tenderá aumentar, particularmente quando é bombeando as partículas sólidas em suspensão ou fluidos corrosivos. Isto implicará recirculação excessiva que, não só reduzirá a eficiência da bomba, bem como poderá ser origem de problemas de sucção. A folga original que

existe entre o impelidor e o anel de desgaste é especificada pelo fabricante ou fixada por norma, é necessário analisar de que maneira poderemos reconstituir a folga original quando, durante a operação, ela tiver alcançado valores superiores ao máximo permitido, que é de ordem de dobro da folga original.

Figura 8. Anéis de Desgaste



Fonte: Arquivo pessoal de Ricardo Borges

6. Gaxetas: tem como função proteger a bomba contra vazamentos nos pontos onde o eixo passa através da carcaça. Entretanto, sua função varia com o próprio desempenho, pois se ocorrer defeitos na sua construção ou condição, podem impedir o funcionamento satisfatório da bomba. A gaxeta tem forma de uma caixa cilíndrica que acomoda certo número de anéis de gaxetas em volta do eixo (SANTOS, 2007).

Figura 9. Gaxetas



Fonte: Bombas Guia Básicos/Eletróbrás-2009

7. Selo Mecânico: tem a função proteger a bomba contra vazamentos, consiste basicamente de um conjunto rotativo que é solidário ao movimento do eixo do

equipamento e um conjunto estacionário. Nestes conjuntos tem respectivamente as faces rotativa e estacionária juntamente com suas respectivas vedações secundária. De acordo com Edson e Reginaldo (1998) as superfícies de selagem são localizadas em um plano perpendicular ao eixo e usualmente consistem de duas superfícies adjacentes altamente polidas, uma superfície é ligada ao eixo e a outra à parte estacionária da bomba. Estas superfícies altamente polidas são mantidas em contato contínuo por molas formando um selo fluido entre as partes rotativas e estacionárias com muito pequenas perdas por atrito.

Figura 10. Selo Mecânico



Fonte: Manual de Instalação, Operação e Manutenção de Bombas

7.1 Selos Mecânico Duplo: este tipo é usado para bombas operando com líquidos altamente inflamáveis que não podem escapar para a atmosfera, como líquidos corrosivos ou abrasivos a temperaturas muito altas ou muito baixas.

7.2 Selos Balanceados e não Balanceados: toda a pressão interna atua no sentido de juntas às faces, a força de fechamento será $F = (\text{pressão interna}) \times (\text{área}) + (\text{força mola})$, onde a força da mola depende da compressão exercida sobre a mesma que por sua vez depende do posicionamento do anel de tração ou colar em relação à sede estacionária.

7.3 Selos de Produção Padronizados para serviços leves: são selos compactos de menor custo e aplicáveis a serviços leves.

8. Mancais: tem como função manter o correto alinhamento do conjunto rotativo em relação às partes estacionárias, sob a ação de cargas radiais e axiais (SANTOS, 2007). Existem vários tipos de Mancais.

Figura 11. Mancal



Fonte: Manual de Instalação, Operação e Manutenção de Bombas

8.1 Mancais de Rolamento de Esferas.

8.1.1 Mancais de carreira simples de esfera e pista profunda: são os mais usados exceto para bombas de grande porte. Suportam bem cargas axiais e radiais, mas requerem um alinhamento cuidadoso entre o eixo e a carcaça.

8.1.2 Mancais de carreira dupla de esfera e pista profunda: Consistem em dois mancais de carreira simples posicionados lado a lado, possuindo maior capacidade de suportar cargas axiais e radiais.

8.1.3 Mancais de carreira dupla de esferas e autocompensadores: são particularmente adequados para altas velocidades, mas possuem pouca capacidade para suportar cargas axiais.

8.1.4 Mancais de esfera de contato angular: são particularmente adequados para suportar cargas axiais. Os de simples carreira são constituídos de esferas em apenas uma direção, enquanto que os de dupla carreira, de esfera em ambas as direções.

8.2 Mancais de Rolo: são menos usadas em bombas exceto para diâmetros muitos grandes eixo, onde a escolha de mancais de rolamento é limitada, é utilizada para suportar esforços radiais.

8.3 Lubrificação de Mancais de rolamento: a lubrificação do rolamento tem como objetivo reduzir o atrito, auxiliar na dissipação do calor gerado, fornecer proteção anticorrosiva e dificultar a entrada de partículas estranhas. De um modo geral o lubrificante usado é o óleo ou graxa, havendo uma predominância de óleo nas Bombas de processo e nas Bombas destinadas à operação em altas rotações.

8.4 Mancais de Deslizamento: é usado onde o eixo qualquer sofre forças e o mancal serve de apoio e de guia para o eixo, como em Bombas pequenas operando com líquidos limpos e também é usado em Bombas para serviços severos com eixos de grande diâmetro, caso em que os mancais de rolamento não são comumente disponíveis.

8.5 Lubrificação de Mancais de Deslizamentos: tem como função a formação de filme de óleo entre o munhão e o mancal, devido à distribuição de pressão gerada pelo efeito de bombeamento, resultante da rotação do eixo, eliminando o contato metálico. O sistema de lubrificação os mais usados são em anéis em banho de óleo e circulação forçada.

8.6 Resfriamento da Caixa de Mancal: a temperatura de funcionamento dos mancais deve ser mantida sob controle sendo desejável que não ultrapasse temperaturas da ordem de 70°C. A própria lubrificação auxilia o arrefecimento.

9. Acoplamentos: os eixos das Bombas são conectados aos eixos dos seus acionadores através de acoplamentos exceto para Bombas muito pequenas, de projeto compacto, onde o impelidor é montado na extensão do eixo do acionador. Os acoplamentos são classificados em rígidos e flexíveis. Os acoplamentos que não permitem movimento relativo dos eixos quer axial, quer radial, são chamados rígidos. Já os acoplamentos do tipo flexível permitem um pequeno movimento relativo (SANTOS, 2007).

Figura 12. Acoplamento



Fonte: Manual de Instalação, Operação e Manutenção de Bombas

9.1 Acoplamentos Rígidos: são quando não permitem qualquer movimento relativo entre os eixos. O acoplamento funciona de forma similar a um par de flanges, conectados rigidamente os eixos que passam a operar como um eixo único.

9.2 Acoplamentos Flexíveis: quando são capazes de absorver, em operação, pequenos desalinhamentos, são constituídos de cubos ou luvas que são normalmente enchavetados no eixo, peças amortecedoras, capa externa de proteção e de retenção do lubrificante, no caso dos acoplamentos lubrificados. Os principais tipos encontrados na indústria são:

9.2.1 Acoplamentos com Pinos Amortecedores: nesse tipo, uma das luvas possui vários furos, onde são colocados pinos revestidos de borracha ou outro material flexível, pinos estes que são presos a outra luva, e são responsáveis pela flexibilidade de acoplamento.

9.2.2 Acoplamento com Ressaltos Amortecedores: este tipo possui luvas com ressalto. Estes ressalto se encaixam e, entre eles, é colocada a peça amortecedora de borracha.

9.2.3 Acoplamento de Engrenagens: este tipo possui cubos dotados de dentes de engrenagem internos usinados nas duas extremidades da capa externa. A relativa flexibilidade é dada pelos dentes, havendo, naturalmente, necessidade de lubrificação.

9.2.4 Acoplamento de Discos Flexíveis: os acoplamentos a flexibilidade é obtida através de um conjunto de finos discos de aço, localizados na parte central.

9.2.5 Acoplamento tipo Grade e Ranhura: é um dos mais utilizados na indústria, as luvas possuem ranhuras onde se encaixa a grade de aço que é responsável pela ação amortecedora. O acoplamento possui ainda uma capa de retenção e lubrificante.

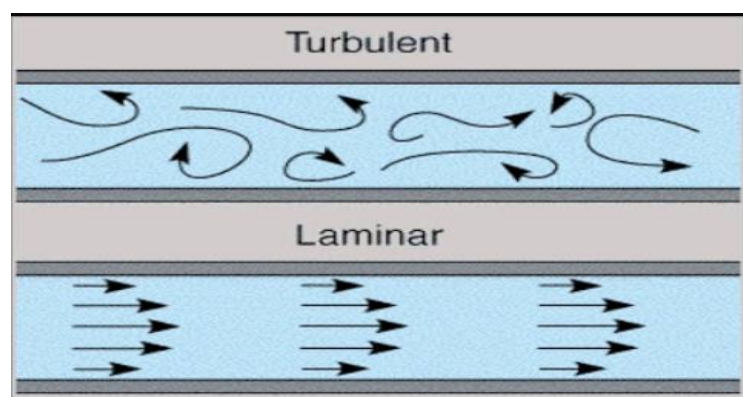
5.3 Escoamento de Fluido em Tubulação

Para se caracterizar perfeitamente um escoamento, quanto a sua dinâmica, o escoamento é classificado em (ALAMBERT JUNIOR, 1997):

5.3.1 Escoamento Laminar: é definido como aquele no qual o fluido se move em camadas, ou lâminas, uma camada escorregando sobre adjacente havendo somente a troca de quantidade de movimento molecular.

5.3.2 Escoamento Turbulento: quando as partículas movem-se em todas as direções com velocidades variáveis, em direção e grandeza, de um ponto para outro e, no mesmo ponto.

Figura 13. Escoamento Turbulento e Laminar



Fonte: Bombas Industriais

Segundo Nelson Alambert (1997) o fato de existir dois tipos distintos de escoamento foi demonstrado experimentalmente por Osborne Reynolds. Logo a relação entre a força inercia e força devido à viscosidade do fluido, este número é a variação que permite caracterizar o escoamento em Laminar e Turbulento.

$$Re = \frac{D.V.\rho}{\mu} \text{ ou } Re = \frac{D.V.}{\nu}$$

Onde:

Re = número de Reynolds;

V = Velocidade de escoamento do fluido (m/s);

D = diâmetro interno da tubulação (m);

ν = viscosidade cinemática do fluido na temperatura de bombeamento (m²/s);

μ = viscosidade absoluta (Pa.s).

Logo, o valor de Reynolds que caracterizará o tipo de escoamento, para tubos circulares.

$Re < 2000$ Regime Laminar

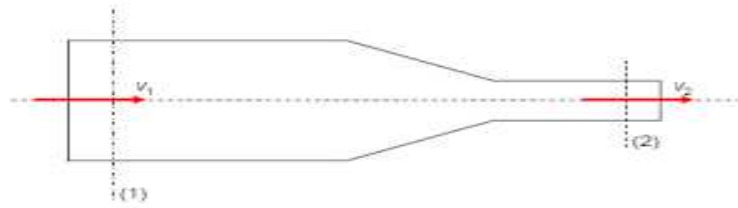
$Re > 4000$ Regime Turbulento

5.3.3 Regime Permanente e Uniforme: é dito permanente se as propriedades em cada ponto não variam com o tempo, podendo variar de um ponto para outro. Um regime é dito uniforme se a velocidade é a mesma em magnitude e direção em cada ponto do espaço em um instante qualquer.

5.3.4 Escoamento Compreensível: é o escoamento no qual existem variações significativas ou notáveis na massa específica do fluido. Assim como, na verdade, os fluidos invíscidos não existem, também os escoamentos incompressíveis não existem realmente.

5.3.5 Equação da Continuidade: é a Lei de Conservação de massa, que estabelece que a massa de uma partícula de fluido é constante, onde intervalo t a massa de fluido que atravessa a seção (1) é a mesma que atravessa a seção (2).

Figura 14. Trecho de tubulação como volume de controle.



Fonte: Manual de Instalação, Operação e Manutenção de Bombas

Considerando as propriedades do fluido constante em cada seção transversal, temos:

$$\rho_1.V_1.S_1 = \rho_2.V_2.S_2 = \text{constante}$$

Onde:

ρ = densidade relativa (g/cm³);

V = velocidade média numa seção (cm/s);

S = Área de seção transversal (cm²);

Podemos afirmar que a vazão mássica do sistema é:

$\dot{m} = \rho.V.S = \text{constante}$, $\dot{m}$ = vazão mássica (g/cm³).

5.3.6 Teorema de Bernoulli

No Teorema de Bernoulli tem como princípio descreve o comportamento de um fluido movendo-se ao longo de uma linha corrente e traduz para o fluido o princípio da conservação da energia (ALAMBERT JUNIOR, 1997). Portanto considerando a hipótese do líquido ser perfeito não levando em conta, a perda de energia devido ao trabalho ao atrito, viscosidade e turbilhonamento, logo a equação tem a seguinte forma:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_{f1} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{f2}$$

Onde:

h_f = perda de carga, representa a energia perdida pelo líquido (m);

γ = peso específico do fluido (N/m²);

Z = altura geométrica (h);

P = pressão do fluido (N/m^2);

V = velocidade do fluido (m/s);

g = aceleração da gravidade (m/s^2).

Figura 15. Gráfico de Bernoulli



Fonte: Manual de Instalação, Operação e Manutenção de Bombas

5.3.7 Perda de Carga

Perdas de carga referem-se à energia perdida pela água no seu deslocamento por alguma tubulação. Essa perda de energia é provocada por atritos entre a água e as paredes da tubulação, devido à rugosidade da mesma. Portanto, ao projetar uma estação de bombeamento, deve-se considerar essa perda de energia (ALAMBERT JUNIOR, 1997). São classificadas em dois tipos:

- Perdas de carga contínuas: São aquelas relativas às perdas ao longo de uma tubulação, sendo função do comprimento, material e diâmetro.
- Perdas de carga acidentais: São aquelas proporcionadas por elementos que compõem a tubulação, exceto a tubulação propriamente dita.

Portanto, são perdas de energia observadas em peças como, curvas de 90° ou 45°, registros, válvulas, luvas, reduções e ampliações. Para o cálculo de perda total, normalmente trabalha-se com o método dos comprimentos equivalentes (ALAMBERT JUNIOR, 1997).

$$h_f = J \cdot L_e$$

Onde:

J = perda unitária (m/m);

L_e = comprimento equivalente da tubulação (m).

Resistência de Escoamento e a perda de energia por atrito é usado na equação um termo que considera esta perda:

$$\frac{P1}{\rho} + \frac{V1^2}{2g} + Z1.g = \frac{P2}{\rho} + \frac{V2^2}{2g} + Z2.g$$

5.3.7.1 Perda de Carga por Fricção: a perda de pressão ou perda de carga provocada pelo atrito do fluido no interior de um tubo cilíndrico é utilizada com o auxílio da Equação de Darcy-Weissbach, também conhecido como a equação universal da perda de carga.

$$H_f = \frac{fLV^2}{2Dg}$$

Onde:

h_f = perda de carga na tubulação por fricção;

f = fator de fricção (adimensional);

L = comprimento da Tubulação (m);

D = diâmetro interna da Tubulação (m);

V = velocidade de escoamento do fluido (m/s);

g = aceleração da gravidade (m/s²).

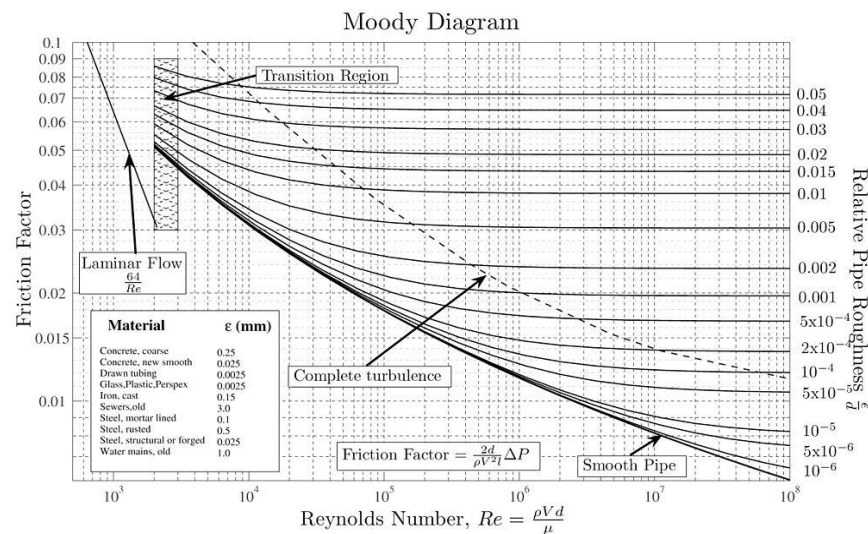
O fator de Fricção f é obtido através de fórmulas experimental ou gráfico.

No caso de escoamento em regime laminar:

$$f = \frac{64}{Re}$$

Para Escoamento Turbulento, o fato de fricção depende do número de Reynolds e rugosidade relativa (ξ/D) da tubulação. Pode ser determinado pelo auxílio do Diagrama de Moody.

Figura 16. Diagrama de Moody, mostrando o fator de atrito em função do número de Reynolds para vários valores de rugosidade. No canto inferior esquerdo, uma tabela com a rugosidade absoluta de diversos materiais.



Fonte: Tese de Bombas Centrífugas-SIQUEIRA-2012

O Diagrama de Moody também mostra que, na transição do escoamento laminar para o turbulento, o fator de atrito, que vinha diminuindo com a velocidade, aumenta bruscamente, voltando a diminuir com o aumento da velocidade a partir da tabela. Como a perda de carga é proporcional também ao quadrado da velocidade média, o resultado é que ela aumenta monotonamente com o aumento da velocidade (ALAMBERT JUNIOR, 1997).

5.3.7.2 Perda de Carga Localizada: são aquelas devidas a distúrbios locais de fluxo ao passar por acidentes (válvulas, derivações, joelhos, etc.). No caso de tubulações de grande extensão estas perdas podem ser insignificantes em relação à perda normal, entretanto em outros casos (Ex: tubulações de sucção em um sistema de bombeamento), elas podem ser bem representadas em relação às perdas normais. Existem dois métodos utilizados no cálculo da perda de carga localizada:

- Método direto: é determinada através da equação:

$$h_l = K \frac{V^2}{2g}$$

Onde:

h_l = perda de carga localizada (m);

K = valor representativo de influência do coeficiente de atrito, comprimento e do diâmetro, é encontrado na literatura para diversos acidentes, como: entrada, saída, reduções, válvulas de globo, válvulas de bloqueio, válvulas de retenção, válvula de pé e joelhos;

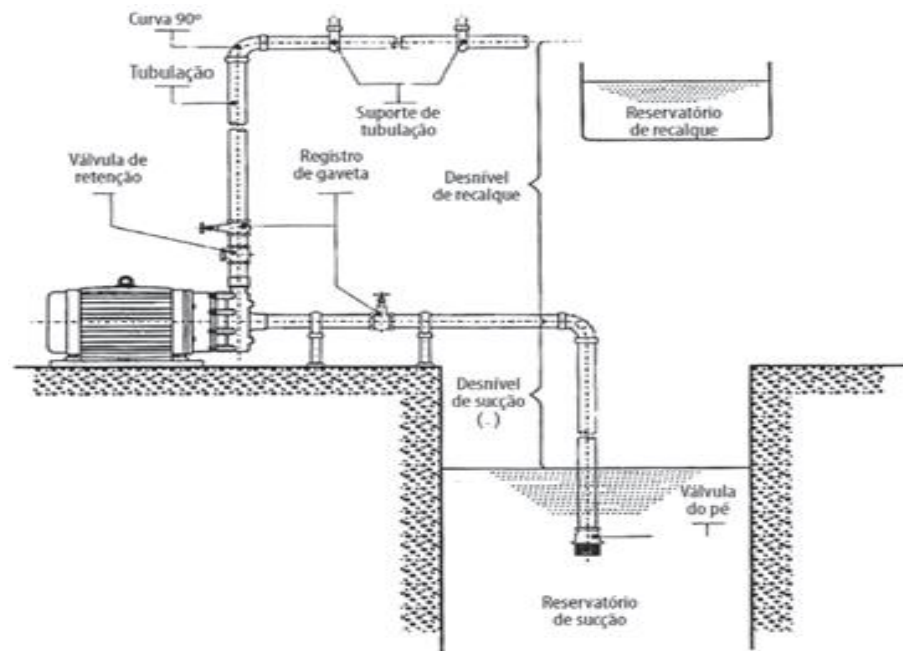
V = velocidade de escoamento do fluido (m/s).

- Método do comprimento equivalente: consiste em fixar o valor do comprimento reto de tubulação que reproduziria, nas mesmas condições, a mesma perda de carga que o acessório considerado. Tendo calculado o comprimento equivalente dos acessórios, o cálculo da perda de carga é feito como se a tubulação fosse um único trecho reto com um comprimento total igual ao comprimento reto adicionado ao comprimento equivalente de todos os acessórios.

5.4 Tubulações

O perfeito serviço de uma bomba depende das dimensões e da correta disposição da tubulação a ser utilizada. E por meio dela que circulará o fluido que a bomba está ajudando a movimentar. De acordo com Lucas Garcez (1999) pode afirmar que duas tubulações são equivalentes quando são capazes de conduzir à mesma vazão sob a mesma perda de carga. Aplicabilidade da Tubulação deve-se considerar o tipo de fluido a ser transportada, a distância entre as bombas e o destino do fluido, a altura das subidas, a altura da sucção da bomba, a vazão do fluido, e a quantidade de acessórios hidráulicos utilizados. Por isso é fundamental calcular a perda de carga e determinar qual a bomba que melhor atende às exigências do projeto hidráulico.

Figura 17. Instalação de bombeamento e seus acessórios.



Fonte: Manual de Instalação, Operação e Manutenção de Bombas

5.4.1 Dimensionamento da Tubulação

Quando ocorrer o dimensionamento das tubulações de recalque e sucção é primordial considerar o impacto dos custos dessas tubulações, pois quando menor for o diâmetro da tubulação, menor será o custo de implantação. Caso o Engenheiro responsável pela obra tenha dimensionado incorreto o diâmetro da tubulação, resultará em aumento de velocidade do fluido, causando quedas de pressão e perda de carga nas tubulações de recalque e sucção, ocasionando perda na capacidade do bombeamento devido à alta potência e consumo de energia acelerado (GARCEZ, 1997).

5.4.1.1 Vazão e Velocidade

A relação entre a vazão volumétrica e a velocidade do fluido no interior da tubulação é:

$$Q = V.A$$

Onde:

Q = vazão volumétrica (m³/s);

V = velocidade do Fluido (m/s);

A = área interna do Tubo (m²).

5.5 Desempenhos da Bomba Centrífuga

A determinação da vazão, carga, potência consumida, rendimento de uma bomba operando em um sistema, é a função das características da bomba e do sistema. As curvas características da bomba são fornecidas pelos fabricantes e normalmente traduzem o desempenho da bomba quando operando com água (GARCEZ, 1997).

5.5.1 Curva Carga (H) x Vazão (Q)

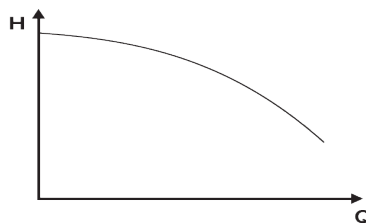
A Carga de uma Bomba Centrífuga é definida com energia por unidade de massa ou energia por unidade peso em que a Bomba tem condições de fornecer ao fluido uma determinada vazão. Logo as curvas de carga x vazão fornecida.

$$\frac{Kgf \times m}{kgf} = m \quad \text{Unidades: } \frac{lbf \times ft}{lbf} = ft$$

Altura da coluna de líquido (m) equivalente ao diferencial de pressão que a bomba fornece a uma determinada vazão com altura manométrica que a Bomba é capaz de vencer naquela vazão. Logo a Curva “carga x vazão” recebe diferentes denominações:

- Curva Inclinada: nesta curva a carga aumenta continuamente com a diminuição da vazão.

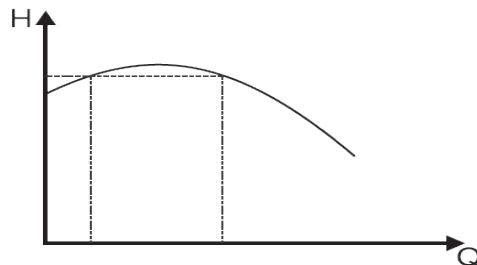
Figura 18. Curva Inclinada



Fonte: Dissertação de Mestrado, Metodologia de Projeto Estrutural de Bombas Centrífugas Verticais de Poços-LOESER-2011

- Curva Ascendente/Descendente: nesta curva a carga na vazão zero é menor que a desenvolvida para outras vazões.

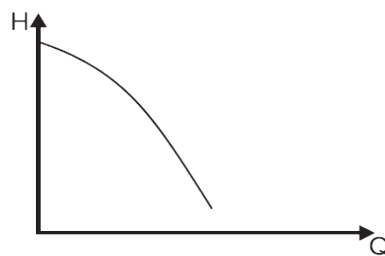
Figura 19. Curva Ascendente/Descendente



Fonte: Dissertação de Mestrado, Metodologia de Projeto Estrutural de Bombas Centrifugas Verticais de Poços-LOESER-2011

- Curva Altamente Descendente: nesta curva é inclinada, pois existe uma grande diferença entre a carga desenvolvida na vazão.

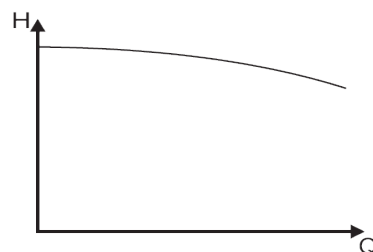
Figura 20. Figura Curva Altamente Descendente



Fonte: Dissertação de Mestrado, Metodologia de Projeto Estrutural de Bombas Centrifugas Verticais de Poços-LOESER-2011

- Curva Plana: nesta curva a carga varia muito pouco com a vazão.

Figura 21. Curva Plana



Fonte: Dissertação de Mestrado, Metodologia de Projeto Estrutural de Bombas Centrifugas Verticais de Poços-LOESER-2011

5.5.2 Curvas de Potência Absorvida ($P_{ot_{abs}}$) x Vazão (Q)

A potência absorvida pelo líquido, potência útil, é definida em função da massa ou do peso.

- Potência Útil cedida ao fluido (Pot_c)

Dependendo da escolha da grandeza básica como sendo massa ou peso, potência cedida (Pot_c) é expressa como:

$$Pot_c = \rho \cdot Q \cdot H_1 \quad H_1 = \frac{Energia}{Massa}$$

$$Pot_c = \gamma \cdot Q \cdot H_2 \quad H_2 = \frac{Energia}{Peso}$$

Onde:

ρ = massa específica (Kg/m^3);

γ = peso específico (gf/cm^3).

- Potência Absorvida pela Bomba (Pot_{abs})

É a potência que a bomba recebe ou absorve do acionador (motor, turbina, etc.). Analogamente à potência cedida, a potência absorvida é expressa como:

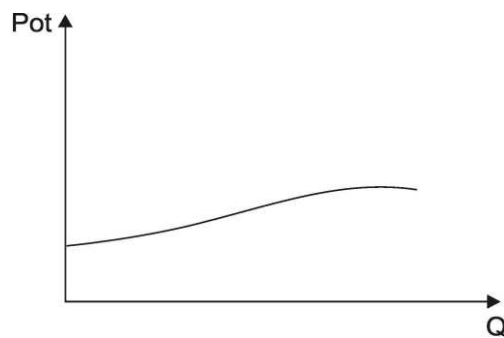
$$Pot_{abs} = \frac{\rho \cdot Q \cdot H}{\eta} \quad H_1 = \frac{Energia}{Massa}$$

$$Pot_{abs} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta} \quad H_2 = \frac{Energia}{Peso}$$

Onde: η = rendimento

Na prática, não se faz cálculos das perdas volumétricas e perdas mecânicas, a curva de potência absorvida é gerada a partir de testes de bancadas no fabricante da Bomba, conforme o gráfico.

Figura 22. Curva Absorvida x Vazão



Fonte: Dissertação de Mestrado, Metodologia de Projeto Estrutural de Bombas Centrífugas Verticais de Poços-LOESER-2011

- Curva Rendimento Total (η) x Vazão (Q)

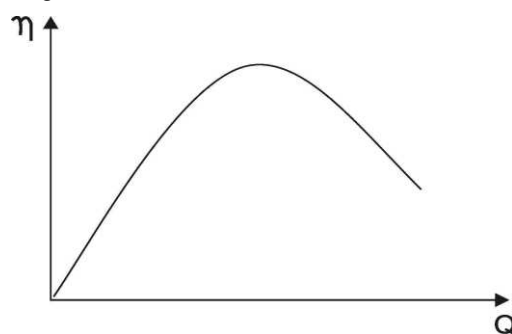
Rendimento Total da Bomba em função da Vazão, apurar os rendimentos Hidráulicos, Volumétricos e Mecânicos.

$$\eta = \eta_H \cdot \eta_V \cdot \eta_m$$

Logo a relação entre a Potência Útil e Potência Absorvida:

$$\eta = \frac{Pot\ c}{Pot\ abs}$$

Figura 23. Curva de Rendimento x Vazão



Fonte: Dissertação de Mestrado, Metodologia de Projeto Estrutural de Bombas Centrífugas Verticais de Poços-LOESER-2011

5.5.3 Curvas NPSH req (NPSH req) x Vazão (Q)

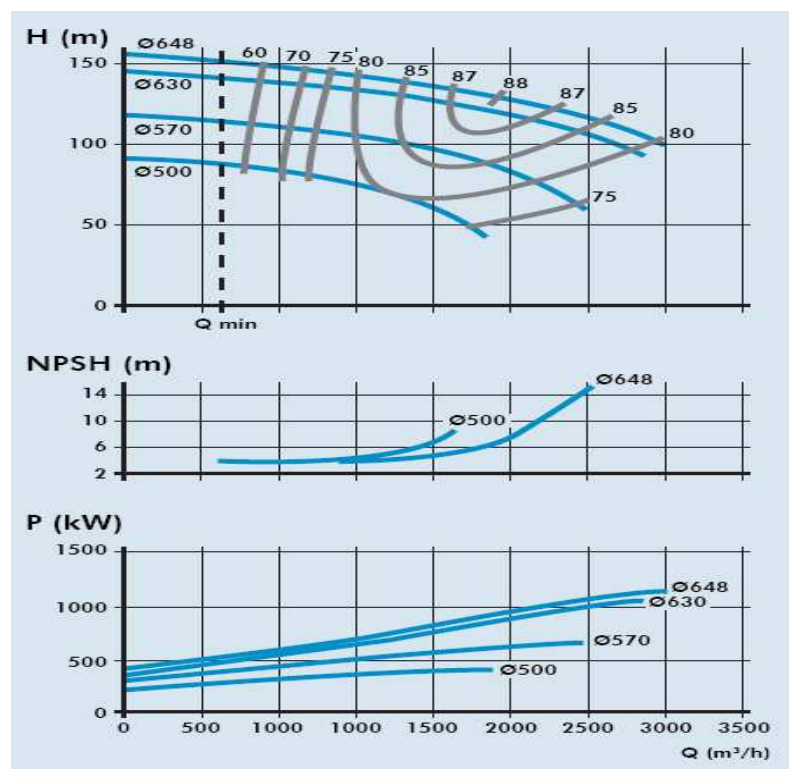
As Bombas Centrífugas necessitam de líquidos na sucção que operem de forma satisfatória, logo existe uma certa pressão na sucção da Bomba. Em testes

feitos pelo fabricante da Bomba é definido um valor de pressão líquida positiva na sucção (NPSH – Net Positive Suction Head). O NPSH foi requisitado para uma Bomba Centrífuga varia com vazão, sendo assim os fabricantes efetuam testes de bancada a fim de gerar Curva NPSH req x Vazão (GARCEZ, 1997).

5.5.4 Curvas Características

As Curvas de Carga (H) x Vazão (Q), Potência Absorvida x Vazão (Q), Rendimento Total (η) e pressão líquida positiva de sucção (NPSH req) x Vazão (Q) são fornecidas pelos fabricantes da Bomba em um gráfico, em relação ao único eixo de vazão, é apresentado potências e rendimento em conjunto de linhas que marcam faixa e valores.

Figura 24. Curvas Características para Bomba Centrífuga



Fonte: Tese de Bombas Centrífugas-SIQUEIRA-2012

5.6 Características do Sistema

A Curva de Carga da Bomba x Vazão, afirmar que a energia por unidade de peso que a Bomba é capaz de fornecer ao fluido em função da Vazão. Portanto para determinar o ponto de trabalho, torna-se necessário determinar qual a energia por unidade de peso que o Sistema solicitará de uma Bomba em função da vazão

bombeada. Por isso é usado Altura Manométrica do Sistema (MATTOS E FALCO, 1998).

5.6.1 Alturas Manométrica de Instalação

É definida como sendo a Altura Geométrica da Instalação mais as Perdas de Carga ao longo da trajetória do fluxo. Altura Geométrica é a soma das alturas de sucção e recalque. Logo é a quantidade de Energia Hidráulica que a Bomba deverá fornecer à água, para que a mesma seja recalçada a certa altura, ganhando, as Perdas de Cargas (MATTOS E FALCO, 1998). A equação de Altura Manométrica é definida:

$$H_m = H_G + h_f$$

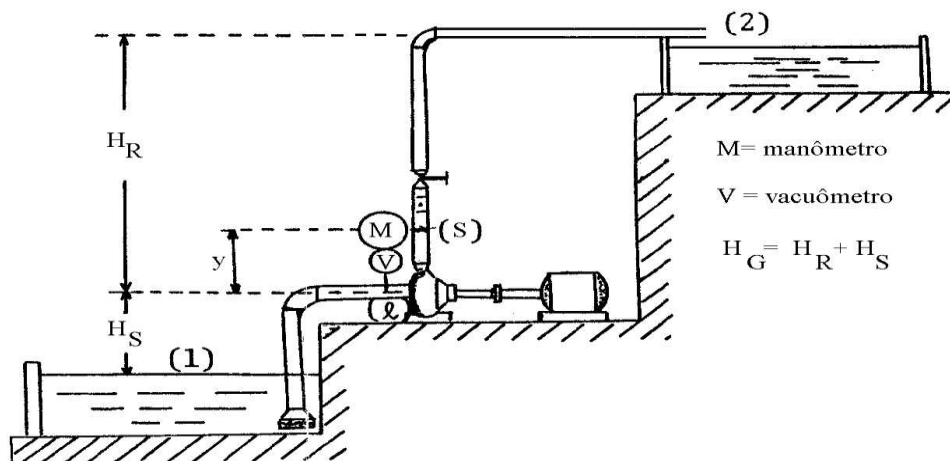
Onde:

H_m = Altura Manométrica da Instalação (m);

H_G = Altura Geométrica (m);

h_f = Perda de Carga Total (m).

Figura 25. Altura de Sucção e Recalque em uma Instalação.



Fonte: Bombas Industriais-UFRN

$$H_G = H_R + H_S$$

Altura Geométrica = Altura de Recalque + Altura de Sucção

5.6.2 Cálculo da Altura Manométrica de Sucção (hs)

É representado em duas formas, na primeira forma consiste em aplicar o Teorema de Bernoulli entre o Flange de Descarga e o ponto final de Descarga. $h_s =$ (Energia por unidade de peso no ponto final de descarga) + (Perdas na linha de recalque para a vazão considerada)

Na segunda alternativa consiste em medir localmente a quantidade de Energia por unidade de peso existente no flange de Sucção (MATTOS E FALCO, 1998).

$$h_s = \frac{P_{fs}}{\gamma} + \frac{V_{fs}^2}{2g}$$

Onde:

P_{fs} = Pressão Manométrica medida no flange de Sucção (Pa);

γ = Peso Específico (gf/cm³);

V_{fs} = Velocidade do Flange de Sucção (m/s);

g = Aceleração da Gravidade (m/s²).

5.6.3 Cálculo da Altura Manométrica de Descarga ou Recalque (hd)

É representado em duas formas, onde a primeira consiste em Aplicar o Teorema de Bernoulli entre o flange de Descarga e o ponto final de Descarga. $h_d =$ (Energia por unidade de peso no final de descarga) + (Perdas na linha de recalque para vazão considerada)

Na segunda alternativa consiste em medir localmente a quantidade de Energia por unidade de peso no Flange de Descarga (MATTOS E FALCO, 1998).

$$h_d = \frac{P_{fd}}{\gamma} + \frac{V_{fd}^2}{2g}$$

Onde:

P_{fd} = Pressão Manométrica medida no flange de Descarga (Pa);

γ = Peso Específico (gf/cm³);

V_{fd} = Velocidade do Flange de Descarga (m/s);

g = Aceleração da Gravidade (m^2/s).

5.6.4 Cálculo da Altura Manométrica Total (H)

É composta pela altura de descarga subtraída à altura de sucção do Sistema.

$$H = h_d - h_s$$

Onde:

H = Altura Manométrica Total (m);

h_d = Altura Manométrica de Descarga (m);

h_s = Altura Manométrica de Sucção (m).

5.7 Cavitação

É um fenômeno que acontece quando a pressão absoluta em qualquer ponto de um sistema de bombeamento atingir um valor igual ou inferior à pressão de vapor do líquido, provocando estragos, principalmente no rotor e palhetas e é identificado por ruídos e vibrações. No interior das Bombas, no deslocamento das pás, ocorrem inevitavelmente rarefações no líquido, isto é, pressões reduzidas devidas à própria natureza de escoamento ou ao movimento de impulsão recebido pelo líquido, tornando possível a ocorrência do fenômeno e, isto acontecendo, formar-se-ão bolhas de vapor prejudiciais ao seu funcionamento, caso a pressão do líquido na linha de sucção caia abaixo da pressão de vapor originando bolsas de ar que são arrastadas pelo fluxo (CONTE, 2012). Com esta passagem gasoso-líquido é brusca, o líquido alcança a superfície do rotor em alta velocidade, produzindo ondas de alta pressão em áreas reduzidas. Estas pressões podem ultrapassar a resistência à tração do metal e arrancar progressivamente partículas superficiais do rotor, inutilizando com o tempo.

Figura 26. Cavitação no Rotor, Sistema Rio da Prata-Caema.



Fonte: Arquivo pessoal de Ricardo Borges

5.7.1 Inconvenientes da Cavitação

Os principais inconvenientes da cavitação são barulhos, vibrações, alterações das curvas características, danificação do material, erosão e corrosão.

5.7.1.1 Barulho e Vibração

Estes dois inconvenientes são provocados, pela instabilidade gerada pelo colapso das bolhas.

5.7.1.2 Alteração das Curvas características

A alteração no desempenho é devida à diferença de volume específico entre o líquido e vapor, bem como à turbulência gerada pelo fenômeno. Essa alteração é mais drástica em Bombas Centrífugas, tendo em vista que o canal de passagem do líquido é mais restrito, a presença de bolhas influencia especialmente o desempenho do equipamento (CONTE, 2012).

5.7.1.3 Danificação no Material

Quando uma Bomba operar por um certo tempo em cavitação, haverá danificação do material adjacente à zona de colapso das bolhas sendo a quantidade de material perdido dependente das características do material e da severidade da cavitação.

5.7.1.4 Erosão e Corrosão

Ocorre normalmente na incompatibilidade do material com líquido, propiciando reação química destrutiva, ou da utilização de materiais muito afastado na tabela de potencial, em presença de um líquido que aja com eletrólito, propiciando a oportunidade de uma ação galvânica. Contudo, nada impede que estes fenômenos coexistam em um determinado sistema acelerando o processo de deterioração do material (CONTE, 2012).

5.7.2 Análise da Cavitação em Bombas

Existem dois aspectos que concerne à cavitação em Bombas, o primeiro que constitui o objetivo principal, é determinar as condições que devemos satisfazer para evitar o fenômeno. O segundo aspecto é apresentar procedimentos que atenuam os efeitos da cavitação, caso seja impossível ou impraticável evitar sua existência. Nesta análise, consideraremos que a cavitação normalmente tem origem na entrada do rotor, devido à insuficiência do sistema em manter, naquela região, uma pressão acima da crítica.

5.7.3 Equacionamento da Cavitação

Segundo Edson e Reginaldo (1999) o objetivo é determinar a pressão mínima no olho do rotor, deve-se subtrair deste valor a parte corresponde à energia cinética absoluta no mesmo, $(V_1^2/ 2g)$, e uma parcela da energia cinética relativa, $(\lambda.Vr_1^2/ 2g)$, que corresponde a uma queda de pressão local (perda de carga) devido à aceleração sofrida pelo fluido ao propriamente no olho do rotor. Considerando que

a cavitação inicia quando esta pressão mínima é igual à pressão de vapor, a equação do início da Cavitação toma a seguinte forma:

$$h_s + \frac{P_a - P_v}{\gamma} = h_{fi} + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{\lambda \cdot V_{r1}^2}{2g}$$

Onde:

h_s = Altura Manométrica de Sucção (m);

P_a = Pressão Ambiente do líquido (Pa);

P_v = Pressão de Vapor (Pa);

h_{fi} = Perda de Carga entre o flange de sucção e o olho do rotor (m);

V_1 = Velocidade Absoluta no olho do rotor (m/s);

λ = fator experimental dependente do projeto da sucção da Bomba.

V_{r1} = Velocidade Relativa no olho do rotor (m/s);

g = aceleração da gravidade (m^2/s).

É verificado que o primeiro membro não depende na Bomba, só dependendo das características do Sistema e do líquido bombeado. Este membro, abaixo repetido, recebe comumente a denominação de NPSH disponível e é interpretado fisicamente como sendo a Energia Absoluta por unidade de peso existente no flange de Sucção, acima da Pressão de Vapor.

$$NPSH_d = h_s + \frac{P_a - P_v}{\gamma}$$

No segundo membro da equação não depende das características do Sistema, só dependendo daquelas da Bomba e, sob certos aspectos, do líquido bombeado. Este membro, abaixo repetido, recebe comumente a denominação de NPSH requerido e é interpretado fisicamente como sendo a quantidade mínima de Energia Absoluta por unidade de peso acima da Pressão de Vapor, que deve existir no flange de Sucção para que não haja Cavitação.

$$NPSH_r = h_{fi} + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{\lambda \cdot V_{r1}^2}{2g}$$

5.7.4 Cálculo do NPSH disponível

$$\text{NPSH}_d = \left(\frac{P_{fs}}{\gamma} + \frac{V_{fs}^2}{2g} \right) + \left(\frac{P_a - P_v}{\gamma} \right)$$

Onde:

h_{fs} = Perdas na Linha de Sucção (m);

P_a = Pressão Atmosférica Local (Pa);

P_v = Pressão de Vapor na Temperatura de Bombeamento (Pa);

V_{fs} = Velocidade Média do líquido no Flange de Sucção (m/s);

P_{fs} = Pressão Manométrica na Temperatura de Bombeamento (Pa);

γ = Peso Específico na Temperatura de Bombeamento (gf/cm³).

Para calcular os critérios de avaliação das condições da Cavitação o NPSH disponível para a vazão de operação pretendida e comparar com o valor do NPSH requerido tirado da Curva NPSH requerido x Vazão fornecida pelo fabricante.

5.7.5 Fatores que modificam o NPSH disponível

- **Altura Estática de Sucção (Z_s):** Variando a altura estática de sucção (Z_s) variará o valor do NPSH disponível. Logo se devem analisar as condições críticas, NPSH disponível mínimo, é utilizado à altura estática mínima no caso de Z_s positivo e a altura estática máxima no caso Z_s negativo.
- **Altitude do Local da Instalação:** Variando a altitude variará a Pressão Atmosférica e, portanto o NPSH disponível. Para Bombas instaladas acima do nível do mar é considerada uma diminuição da pressão atmosférica.
- **Temperatura de bombeamento:** Quando maior a temperatura maior a pressão de vapor, influenciando também no peso específico e na Perda de Carga através da viscosidade.
- **Tipo de líquido bombeado:** Eventualmente, uma mesma instalação pode trabalhar com mais de um tipo de líquido. É necessário verificar o caso crítico, NPSH disponível mínimo, analisando os valores da pressão de vapor, peso específico e viscosidade dos produtos.

- Tipo de entrada, comprimento, diâmetro e acessórios da tubulação de sucção: É necessário ter em mente que qualquer alteração nas características físicas da tubulação de sucção ou nos acessórios, instalação de um filtro ou válvula de pé, por exemplo modificam o valor de NPSH disponível.
- Vazão: Naturalmente, alteração na vazão de operação implica alteração na Perda de Carga de sucção e consequentemente no NPSH disponível.
- Pressão no reservatório de sucção (P_s): Tem influência direta no valor de NPSH disponível.

5.7.6 Comportamentos dos Materiais quanto à Cavitação

É apresentado o comportamento das diversas matérias quanto a cavitação, fornecendo elementos aplicáveis à seleção e especificações.

5.7.6.1 Influência da Composição Química do Material

Lista simplificada de materiais desde o menos Resistente até o mais Resistente:

- Chumbo;
- Ferro Fundido;
- Bronze;
- Alumínio;
- Aço;
- Aço Inoxidável;
- Aço Cromo/Vanádio

5.7.6.2 Influência das Características Metalúrgicas

Aumentam a Resistência do material:

- Pequeno tamanho de grão (grãos finos);
- Matriz austenítica;

- Homogeneidade;
- Estrutura lamelar;
- Estrutura laminada ou forjada.

Diminuem a Resistência do material:

- Grãos grosseiros;
- Micro estrutura ferrítica;
- Heterogeneidade;
- Estrutura dentrítica;
- Estrutura fundida.

5.7.6.3 Influência das Características Mecânicas

- Aumentam a Resistência à cavitação:
- Maior dureza;
- Maior tenacidade;
- Maior ductilidade;
- Existência de tensões residuais de compressão.

Características que reduzem a Resistência:

- Baixa dureza;
- Fragilidade;
- Baixa ductilidade;
- Existência de tensões residuais de tração.

5.7.6.4 Influência de outras Características do Material

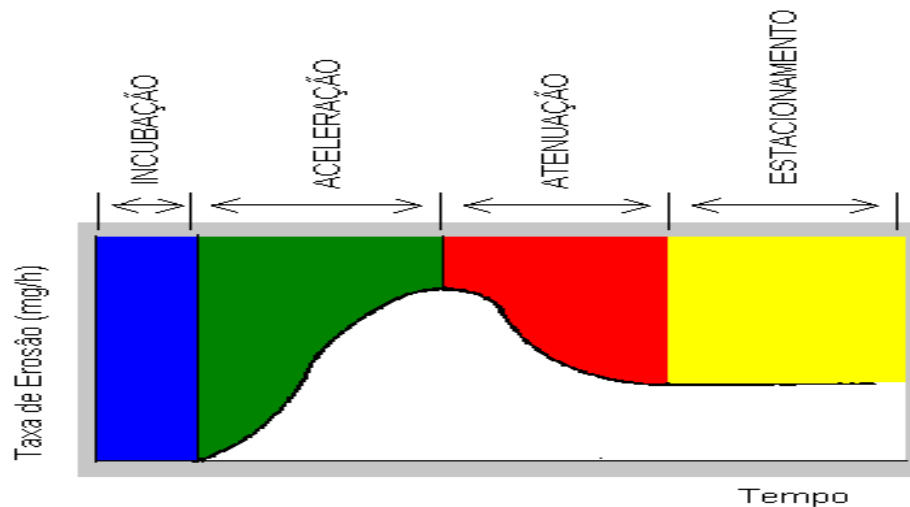
Exercem influência positiva, aumentando a Resistência à Cavitação os seguintes fatores:

- Alta resistência à corrosão;
- Superfície lisa, baixa irregularidade.

5.7.6.5 Fases de Danificação do Material

O processo de danificação do material passar por quatro fases. Na primeira fase de incubação, quando em determinado período de tempo, variável de acordo com o material, não existe perda de peso mas o material já revela deformação plástica devido à ação mecânica local, induzida pelo colapso das bolhas. Na segunda fase, de aceleração, logo apresentar um rápido crescimento da taxa de desgaste. Na terceira fase, de retardamento, já aconteceu um substancial desgaste e a superfície do material apresenta-se bastante rugosa (CONTE, 2012). Nesta fase, as depressões existentes são preenchidas por líquido formando colchão protetor contra as implosões, reduzindo, em consequência, a taxa de desgaste com o tempo. Na quarta e última fase, de estabilidade, a perda de peso por unidade de tempo permanece quase constante.

Figura 27. As quatro fases de danificação do material devido à cavitação.



Fonte: Bombas Industriais-UFRN

5.7.6.6 Cavitação em Condições Anormais de Operação

O que acontece é que o NPSH requerido dado pelo fabricante é válido para Condições Normais de Operação. Da mesma forma, o NPSH disponível do sistema é calculado para determinadas condições de sucção. Entretanto, poderá acontecer Cavitação se fatos anormais, não considerados, estiverem deturpando o

funcionamento da Bomba, aumentando o NPSH requerido, ou prejudicando o Sistema de Sucção, diminuindo o NPSH disponível. Entre os fatos anormais que merecem apreciação, estão:

- Distúrbios ou bloqueios parciais na linha de sucção ou entrada da Bomba;
- Vazamento excessivo através dos anéis de desgaste;
- Cavitação na Voluta;
- Cavitação nas pás difusoras;
- Fluxo em sentido inverso na tubulação de sucção;
- Efeito de impurezas no líquido bombeado.

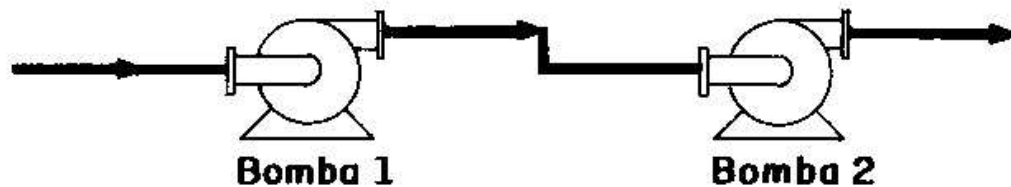
5.8 Associações de Bombas

Bombas são associadas em série e em paralelos. A associação de Bombas em série é uma opção quando, para a vazão desejada, a altura manométrica do sistema é muito elevada, acima dos limites alcançados por uma única bomba. Já a associação em paralelo é fundamentalmente utilizada quando a vazão desejada excede os limites de capacidade das bombas adaptáveis a um determinado sistema (MACINTYRE, 1997). O uso de bombas associadas, particularmente em paralelo, oferece vantagens adicionais como flexibilidade e segurança operacionais.

5.8.1 Associações de Bombas em Série

A opção de operação com Bombas Centrífugas operando em Série se dá quando a altura manométrica de recalque não pode ser atingida por uma única bomba a uma determinada vazão. A Curva carga x Vazão resultante é a soma das alturas manométricas de recalque das duas bombas para a mesma vazão. Esse tipo de associação é muito utilizado em oleodutos, onde se necessita transportar produtos a longas distâncias, nesses sistemas a Perda de Carga é muito elevada devido à longa distancia (MACINTYRE, 1997).

Figura 28. Associação de Bombas Centrífugas em Série



Fonte: Manual de Instalação, Operação e Manutenção de Bombas

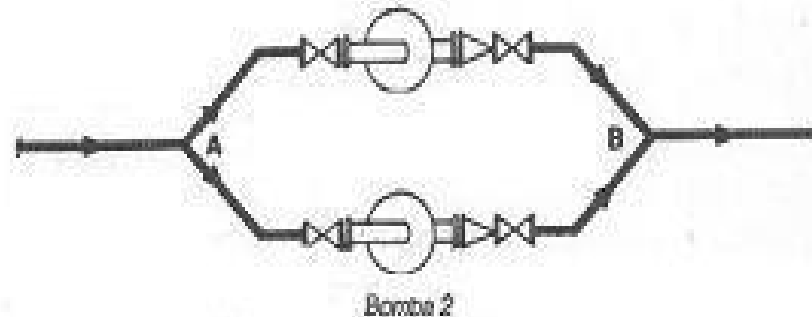
5.8.2 Associação de Bombas em Paralelo

A opção por Bombas Centrífugas operando em Paralelo, se dá quando a vazão esperada por um sistema a uma determinada altura manométrica de recalque não pode ser atingida por uma única bomba, ou quando em um sistema a vazão pode variar significativamente, nesse segundo caso, a utilização de bombas centrífugas operando em paralelo, flexibiliza a operação desse sistema. A operação de sistemas de bombeamento com bombas centrífugas operando em paralelo pode oferecer flexibilidade e segurança operacional, visto que a falha de uma bomba apenas diminui a vazão de um sistema de bombeamento não o parando como um todo. A Curva carga x Vazão resultante para bombas centrífugas operando em paralelo é a soma das vazões das duas bombas para a mesma altura manométricas de recalque (MACINTYRE, 1997).

A utilização de bombas centrífugas iguais em paralelo é muito comum na indústria do petróleo, pois a vazão desejada em alguns sistemas de bombeamento pode ser muito elevada, e nesses casos uma única bomba centrífuga produzida em escala comercial pode não atender o sistema.

No caso de utilização de duas Bombas Centrífugas diferentes em Paralelo, deve-se ter cautela, pois depende do ponto de trabalho, definido pelo sistema, uma das bombas pode operar com vazão muito baixa, o que é muito prejudicial ao equipamento. Não se recomenda à operação de bombas centrífugas diferentes em paralelo.

Figura 29. Associação de Bomba Centrífuga em Paralelo



Fonte: Manual de Instalação, Operação e Manutenção de Bombas

5.9 Motores Elétricos

Para o funcionamento da Bomba Centrífuga é necessário o acionamento de um Motor para o conjunto Motor-Bomba funcionar perfeitamente. Motor Elétrico é uma Máquina destinada a transformar Energia Elétrica em Energia Mecânica. É o mais usado entre os motores pois, combina as vantagens de utilização de Energia Elétrica (baixo custo, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de comando) com sua construção simples, custo reduzido e grande versatilidade de adaptação a diversos tipos de cargas. O tipo mais utilizado em Bombas é o de corrente alternada (CA) assíncrono, porque sua velocidade é constante (APOSTILA KSB, 2014).

Figura 30. Motor de Bomba Centrífuga



Fonte: Arquivo pessoal de Ricardo Borges

5.9.1 Potência

Força que o motor produz para movimentar a carga com uma determinada velocidade (APOSTILA KSB, 2014). É medida em HP, cv ou Kw. Para converter os valores de unidade de potência, é utilizado as seguintes fórmulas, como mostra a tabela:

Tabela 1. Unidades de Potência

DE	MULTIPLIQUE POR	PARA OBTER
HP/cv	0,745	Kw
Kw	1,341	HP/cv

Fonte: Apostila KSB Bombas Hidráulicos-2014

5.9.2 Rotação

Expressa em RPM (rotação por minuto) é a quantidade de giros no eixo do motor por unidade de tempo. Para frequência de 60Hz, temos:

Tabela 2. Rotação

MOTOR	ROTAÇÃO
2 POLOS	3600 RPM
4 POLOS	1800 RPM
6 POLOS	1200 RPM
8 POLOS	900 RPM

Fonte: Apostila KSB Bombas Hidráulicas-2014

5.9.3 Tensão

Responsável pela geração, transmissão e distribuição de Energia Elétrica em corrente Alternada. É dividida em duas partes:

- Monofásica: é a tensão medida entre fase e neutro.
- Trifásica: é a tensão medida entre fases.

5.9.4 Frequência

É o número de vezes que um determinado evento se repete dentro de um intervalo de tempo. A frequência da rede de alimentação utilizada no Brasil é de 60 Hz (APOSTILA KSB, 2014). Isso significa que a Tensão da rede repete ciclo sessenta vezes a cada segundo.

5.9.5 Grau de Proteção

É a proteção do motor contra entrada de corpos estranhos (poeiras, fibras, etc.) contato accidental e penetração excessiva de água. O grau de proteção é definido por duas letras (IP) seguindo de dois números. O primeiro indica proteção contra entrada de corpos estranhos e accidentais e o segundo número indica proteção contra entrada de água (APOSTILA KSB, 2014).

- Primeiro Algarismo

Tabela 3. Grau de proteção

ALGARISMO	INDICAÇÃO
0	Sem proteção
1	Corpos estranhos de dimensão acima de 50mm.
2	Corpos estranhos de dimensão acima de 12mm
3	Corpos estranhos de dimensão acima de 2,5mm
4	Corpos estranhos de dimensão acima de 1,2mm
5	Proteção contra acúmulo de poeiras prejudiciais ao motor
6	Totalmente protegido contra poeira

Fonte: Apostila KSB Bombas Hidráulicas-2014

- Segundo Algarismo

Tabela 4. Grau de proteção

ALGARISMO	INDICAÇÃO
0	Sem proteção
1	Pingos de água na vertical
2	Pingos de água até a inclinação de 15° com vertical
3	Água de chuva até inclinação de 60° com vertical
4	Respingos de todas as direções
5	Jatos de água de todas as direções
6	Água de vagalhões
7	Imersão temporária
8	Imersão permanente

Fonte: Apostila KSB Bombas Hidráulicas-2014

5.9.6 Classe de Isolamento

Definem os tipos de materiais isolantes no motor, no que diz respeito à temperatura de operação. Os motores normalmente são fabricados com classe de isolamento B, cuja temperatura máxima é 130°C, mas também podem ser fabricados com classe de isolamento F e H, cujas temperaturas máximas são de 155°C e 180°C, respectivamente (APOSTILA KSB, 2014).

5.9.7 Ventilação

É o processo responsável pela refrigeração do motor. Os Motores IP 55, normalmente são fornecidos Totalmente fechados ventilação externa, já os IP 21 o ar circula livremente pelo motor, possuem sistema de refrigeração interna (APOSTILA KSB, 2014).

6. ANÁLISE DE MONTAGEM

Um dos fatores que influenciam o bom desempenho de uma Bomba é sua correta montagem. Uma montagem mal executada terá como consequência perturbações no funcionamento, ocasionando vibrações e desgastes nas partes internas. Deve ser feito um verdadeiro planejamento da Montagem com previsão de recursos humanos, materiais e equipamentos bem como a previsão de possíveis entraves e procedimentos consequente. Logo as etapas de Montagem são:

1. É estudado os desenhos de corte familiarizando-se com as peças.

Figura 31. Verificação das peças



Fonte: Arquivo pessoal de Ricardo Borges

2. Todas as peças estejam limpas e prontas para o prosseguimento da montagem.

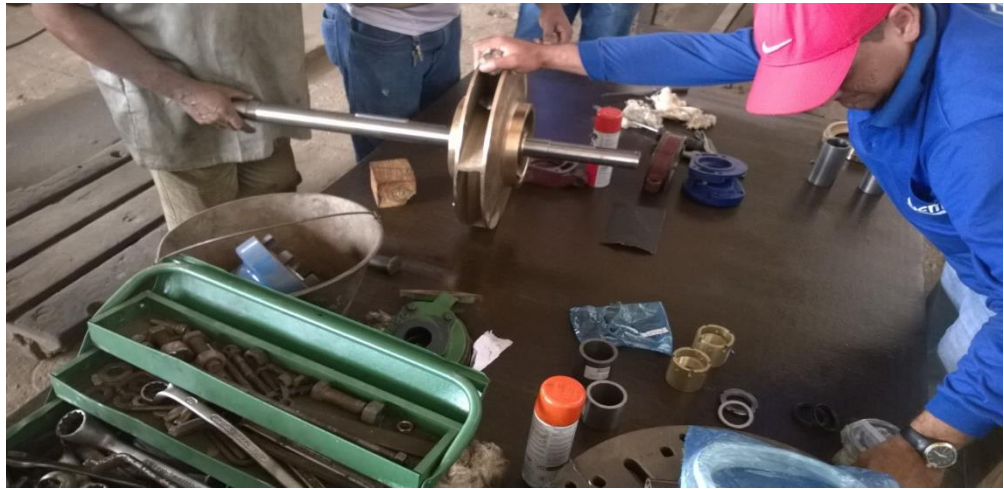
Figura 32. Peças limpas e Pronta



Fonte: Arquivo pessoal de Ricardo Borges

3.É montado o Rotor no Eixo.

Figura 33. Colocação do Rotor no Eixo.



Fonte: Arquivo pessoal de Ricardo Borges

4.É montados os dois anéis de Desgaste entre o Rotor no Eixo.

Figura 34. Colocação dos Anéis de Desgastes



Fonte: Arquivo pessoal de Ricardo Borges

5.É instalada com cuidado a junta da bucha no eixo.

Figura 35. Colocação da Bucha no Eixo.



Fonte: Arquivo pessoal de Ricardo Borges

6.É instalado anel centrífugado.

7.Colocação do Anel O'ring para vedação.

Figura 36. Colocação do Anel de O'ring.



Fonte: Arquivo pessoal de Ricardo Borges

8.É instalado o Anel de Lanterna.

Figura 37. Colocação do Anel de Lanterna



Fonte: Arquivo pessoal de Ricardo Borges

9.É colocado em seguida, as porcas de aperto até que encostem nas buchas protetoras, apertando igualmente usando uma chave de pino, e em seguida é afrouxado cada porca, 1/8 de volta, para aliviar as tensões axiais, e imobilizando por meio dos parafusos de travamento.

10. É deixado apenas o espaço para as gaxetas serem instaladas na montagem final do conjunto.

11. É instalado o conjunto girante na carcaça, com verificação se gira livremente e se o rotor está corretamente centrado, em relação a voluta.

Figura 38. Colocação do conjunto girante na voluta.



Fonte: Arquivo pessoal de Ricardo Borges

12. Caso o Rotor não esteja bem centrado na carcaça, é afrouxada a porca de aperto do lado para o qual o rotor deve ser deslocado. É apertada a porca oposta firmemente para eliminar qualquer folga surgida em decorrência do movimento do rotor em seguida é afrouxada ambas as porcas 1/8 de volta.

13. Montagem da Caixa de Mancal deve-se montar o rolamento nos eixos, usando uma prensa. Para que os suportes normais, os rolamentos podem ser montados de qualquer lado. Para o suporte reforçado, o rolamento de rolos cilíndricos, deve ficar ao lado do rotor e o de dupla carreira de esferas do lado de acionamento, deve-se colocar o anel de segurança e a porca apertá-la e travá-la. Para os suportes normais, tem que colocar o eixo com os rolamentos na caixa de mancal, o conjunto deve entrar com facilidade ligeiramente pressionado. Para os suportes reforçados tem que colocar primeiros os anéis elásticos, se os tiver retirados. É montado a capa do rolamento de rolos no lado da sucção, onde é introduzido facilmente o eixo pelo lado de acionamento. É colocado graxa para sua lubrificação.

Figura 39. Mancal com o rolamento interno



Fonte: Arquivo pessoal de Ricardo Borges

Figura 40. Rolamento.



Fonte: Arquivo pessoal de Ricardo Borges

14. É montado o adaptador na caixa de mancal, colocando parafusos e apertando-os.

15. Colocação da Caixa de Gaxetas e instalação da prensa gaxeta, em ambos os lados.

Figura 41. Colocação da caixa de gaxetas



Fonte: Arquivo pessoal de Ricardo Borges

16.Instalação da junta da carcaça na caixa de gaxetas.

17.Colocação da Carcaça Superior e apertado dos parafusos, ruelas e porcas.

Figura 42. Colocação da Carcaça.



Fonte: Arquivo pessoal de Ricardo Borges

18.É girado o eixo com a mão e verificado se há partes com atrito entre as partes móveis e fixas. Caso isso ocorra o problema deve ser corrigido antes de colocar a Bomba em operação.

19.Colocação da Chaveta de acordo com tamanho do Acoplamento.

20.Instalação do Acoplamento para Ligação entre a Bomba e Motor.

Figura 43. Colocação do Acoplamento



Fonte: Arquivo pessoal de Ricardo Borges

21.Logo a última etapa será o Alinhamento entre a Bomba e o Motor, com um relógio comparador.

Figura 44. Alinhamento



Fonte: Arquivo pessoal de Ricardo Borges

7. INSTALAÇÃO

As Bombas devem ser instaladas, niveladas e alinhadas por pessoas habilitadas. Os serviços executado incorretamente provoca transtornos na operação, desgaste prematuro das peças e danos irreparáveis ao equipamento.

7.1 Preparo para o Embarque

Medidas fundamentais para o preparo do embarque dos equipamentos:

- Proteção das partes internas com óleo viscoso;
- Limpeza e proteção das partes metálicas expostas com produto anti-corrosivo;
- Cobertura dos bocais de sucção e descarga com tampo de madeira ou metálico;
- Instalação de guardas protetoras para tubulações auxiliares.

7.2 Inspeção

Imediatamente após receber uma Bomba deve-se inspecioná-la totalmente. Verificar se o equipamento e sua descrição no documento que o acompanha conferem. Qualquer diferença ou dano deve ser imediatamente comunicado à entidade transportadora. Um agente da transportadora deve estar sempre presente para evitar futuras controvérsias. As Bombas devem ser entregues com todos os flanges e partes de metal expostas limpas de matérias estranhas e tratadas com algum composto anticorrosivo como graxa, vaselina ou óleo pesado. Quando a Bomba for utilizada, deverá ser desmontada, e os materiais anticorrosivo utilizados na superfície metálica da Bomba precisam ser limpos.

Na Bomba Centrífuga sempre vêm uma descrição em um Manual que descrevi qual tipo de rotor, diâmetro Nominal de recalque (mm), diâmetro Nominal do rotor (cm), qual tipo de montagem e o suporte mancal. As Bombas vêm acompanhadas de uma placa de identificação contendo dados importantes sobre o

produto. Tais informações são de grande auxílio na Montagem, nas consultas sobre o produto e encomendas de peças sobressalentes.

Figura 45. Placa de Identificação de Bomba Centrífuga



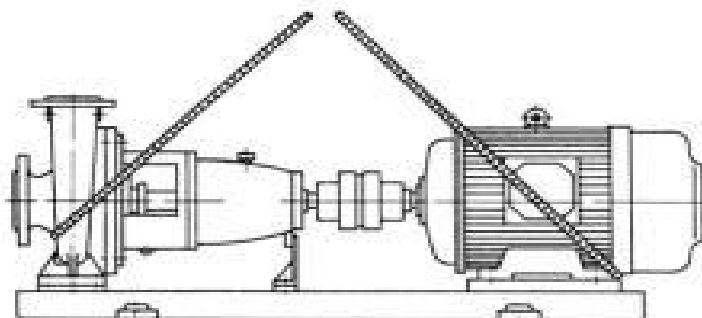
Fonte: Arquivo pessoal de Ricardo Borges

7.3 Transporte

Ao transportar o conjunto Motor-Bomba ou somente Bomba, deve-se fazer com perícia e bom senso, com toda análise correta de deslocamento, dentro das normas técnicas de segurança. É de suma importância observar o Manual da Bomba, pois apresentar orientações e observações para o transporte da Bomba de forma correta e eficiente. Dentre essas orientações, existir algumas que primordiais, como:

- Nunca utilize só o olhal de içamento do motor (se houver), para levantar o conjunto.

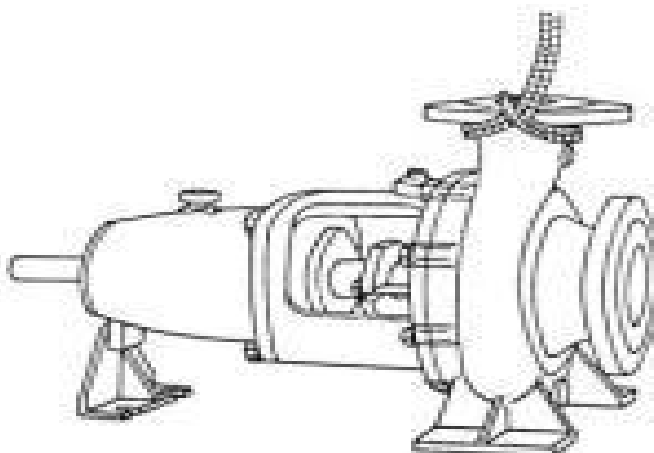
Figura 46. Transporte do Conjunto Motor-Bomba



Fonte: Catálogo KSB

- Ao transportar somente a Bomba utilize o flange de recalque

Figura 47. Transporte da Bomba através do flange de recalque



Fonte: Catálogo KSB

7.4 Armazenamento

Deve-se armazenar a Bomba em local coberto, por um espaço de tempo de, no máximo, seis meses, ela deverá ficar em lugar seco. Já as Bombas estocadas por período superior a 1 ano deverão passar pelo processo de conservação a cada 12 meses, as mesmas devem ser desmontadas, limpas e reaplicado o processo de conservação e armazenamento. Se a Bomba for muito tempo armazenada, tem que abrir a carcaça e a caixa de selagem, revestindo todas as superfícies sujeitas a corrosão com uma substância protetora aprovada pelo fabricante, e fechar novamente a Bomba. Os elementos de proteção enviados pelo fabricante devem permanecer intactos até a sua Montagem e instalação definitiva.

Todas as Bombas devem ser bem envolvidas por uma proteção (capa) de material impermeável. Antes de envolvê-la, tem que verificar se os flanges de sucção e recalque estão fechados. Todas as conexões existentes, tais como: tomadas, para líquidos de fonte externa, escorva, dreno, deverão ser devidamente tampadas. Enquanto durar armazenamento, deve-se girar o rotor a intervalos regulares para manter as partes móveis livres. Os mancais de rolamento necessitam de atenção especial, pois se danificam rapidamente com umidade excessiva, por isso devem ser lubrificados. Para Bombas montadas com gaxetas, as mesmas deverão ser retiradas do equipamento antes de seu armazenamento. O selo mecânico deverá ser limpo com ar seco, não deverão ser aplicados líquidos ou outro

material de conservação, a fim de não danificar as vedações secundárias. Se o rotor prender, deve desmontar as partes que controlam seu movimento axial e desloque-o nesta direção algumas vezes, este procedimento deverá soltá-lo. O eixo deve ser girado a mão pelo menos uma vez por semana, para evitar oxidação e consequente travamento. Antes dos líquidos de conservação ser aplicados nas respectivas áreas, as mesmas deve ser lavadas com gasolina ou querosene até ficarem completamente limpas. Alguns exemplos das principais características dos líquidos de conservação são:

Tabela 5. Líquidos de Conservação

Líquidos de Conservação	Espessura da camada aplicada (μm)	Tempo de Secagem	Remoção	Fabricante
TECTIL 506	De 80 à 100	De ½ à 1 hora	Gasolina, Benzol, Óleo Diesel	BRASCOLA
RUSTILO DW-301	De 6 à 10	De 1 à 2 horas	Gasolina, Benzol	CASTROL
Mobilarma 524	≤ 6	Fica líquido	Não é necessário	MOBIL OIL

Fonte: Catálogo KSB

Um cuidado muito importante antes da instalação, quando a Bomba foi armazenada por longo tempo ou se esta apresentar vestígios de oxidação excessiva, deve ser lavado com querosene. O óleo dos mancais deve ser substituído por óleo novo e as superfícies internas devem ser instaladas com água, para eliminar os vestígios do protetor usado no armazenamento.

7.5 Localização da Bomba

A Bomba deve ser instalação em local que permita fácil acesso para manutenção, apoiada em fundação resistente que evite o risco da Bomba ficar suportada pelas tubulações. De acordo com 'Edson e Reginaldo (1999)' para garantir boas condições de escoamento a Bomba deve ficar o mais próximo possível

de reservatório de sucção, e também abaixo do nível do reservatório, isto fará com que o líquido penetre na Bomba por gravidade, simplificando os procedimentos da partida. Deve-se usar o mínimo de tubo e o mais reto possível.

O local deve ser bem ventilado para permitir boa refrigeração do motor acima do nível de inundações, colocando a Bomba em local suficientemente alto para evitar sua imersão nas enchentes.

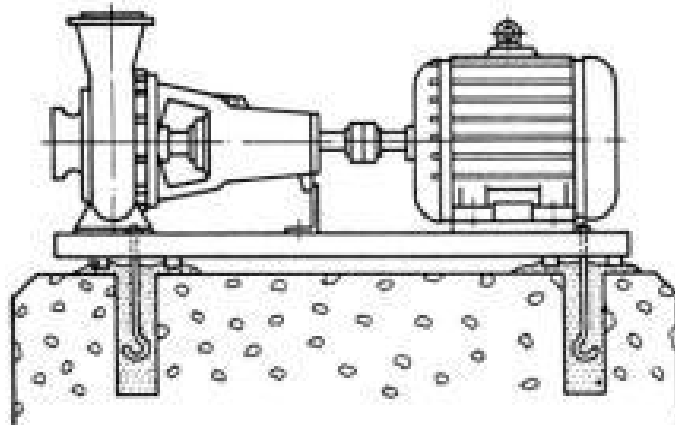
7.6 Fundações

Na construção da base de fixação do conjunto Motor e Bomba deve-se usar o material que possibilite uma base firme. A maioria das Bombas tem fundações de concreto, em virtude do baixo custo, alta resistência e boa aparência deste material. As fundações colocadas sobre o solo devem ser projetadas com o cuidado de não se ultrapassar a resistência do solo existente, utilizando-se de preferência uma base comum para Bomba e Motor, em aço estrutural, montado sobre uma fundação permanente de alvenaria, suficiente para absorção das vibrações normais que ocorrem durante a operação, é necessário um manual técnico do fabricante, pois lá estão medidas da base de fixação, os pontos onde deverão ser fixados os chumbadores, a distância entre eles e outras informações necessária para uma correta. Chumbadores em número e diâmetro suficientes devem ser usados sendo locados adequadamente para absorverem os esforços previstos.

7.6.1 Principais etapas de assentamento da Base, Trilho ou Sapata de Fundação:

- É colocado os chumbadores nos orifícios ou cavas feitas no bloco de fundação.
- Entre a base e o bloco de fundação, colocar ao lado dos chumbadores, calços metálicos de mesma altura para o apoio da base, sendo os mesmos fixados em argamassa, juntamente com os chumbadores.
- Para perfeita aderência, os chumbadores devem estar isentos de resíduos de graxa ou óleo.
- Após a cura da argamassa de fixação dos chumbadores, é colocado a base sobre o bloco de fundação.

Figura 48. Assentamento da Base

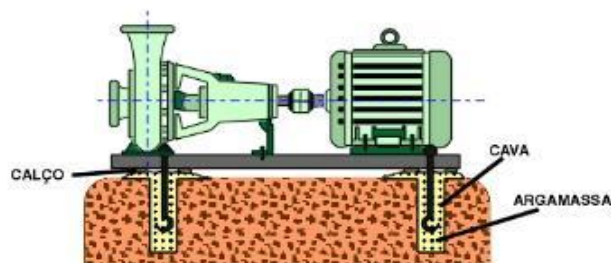


Fonte: Catálogo KSB

7.6.2 Nivelamento da Base ou Trilha de Fundação.

- Verificar se a Base esta apoiada por igual em todos os calços, caso afirmativo, colocar e apertar uniformemente as porcas dos chumbadores.
- Verificar o nivelamento da base com um nível de precisão (0,1 mm/metro), no sentido transversal e longitudinal.
- Ocorrendo desnivelamento, soltar a porca dos chumbadores e introduzir calços padrões entre o calço metálico e a base, nos pontos onde houver necessidade, para corrigir o nivelamento.

Figura 49. Nivelamento da Base

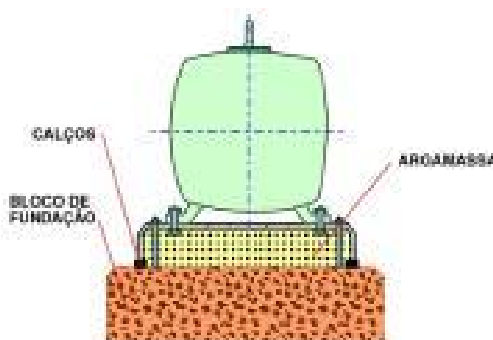


Fonte: Bombas Industriais.

7.6.3 Enchimento da Base, Trilho ou Sapata de Fundação com Argamassa.

Para uma sólida fixação e funcionamento livre de vibrações, é efetuado o enchimento do interior da base com argamassa (grauteamento). A preparação da argamassa para este fim deverá ser efetuada com produtos específicos existentes no mercado de construção civil, os quais evitam a retração durante o processo de cura, proporcionam fluidez adequada para o total preenchimento dos interiores, não permitindo a formação de espaços vazios.

Figura 50. Enchimento da Base



Fonte: Bombas Industriais.

7.7 Alinhamento

O correto alinhamento da Bomba com o acionador é um dos aspectos muito importante no processo de montagem e deve ser executado com todos os cuidados, pois constitui um pré-requisito para o perfeito funcionamento do equipamento. Do perfeito alinhamento entre Bomba e Motor, dependerá a vida útil do conjunto girante e o funcionamento do equipamento livre de vibrações anormais. O pré-alinhamento deve ser feito, pois durante o transporte e manuseio, o conjunto Bomba e Motor, podem sofrer desalinhamento. É importante observar que só deve executar o alinhamento somente após a cura da argamassa e preferencialmente com as tubulações de sucção e recalque já conectadas. É de suma importância o alinhamento do acoplamento, logo é executado com o auxílio de um relógio comparador para o controle do deslocamento radial e axial. Fixar a base do instrumento na parte periférica de uma das metades do acoplamento, ajustar o relógio posicionando o apalpador perpendicular à periferia da outra metade do acoplamento, zerar o relógio e movimentar manualmente o acoplamento, do lado

que tiver a base magnética, com o relógio comparador completando um giro de 180°. O mesmo procedimento deve ser adotado para o controle axial.

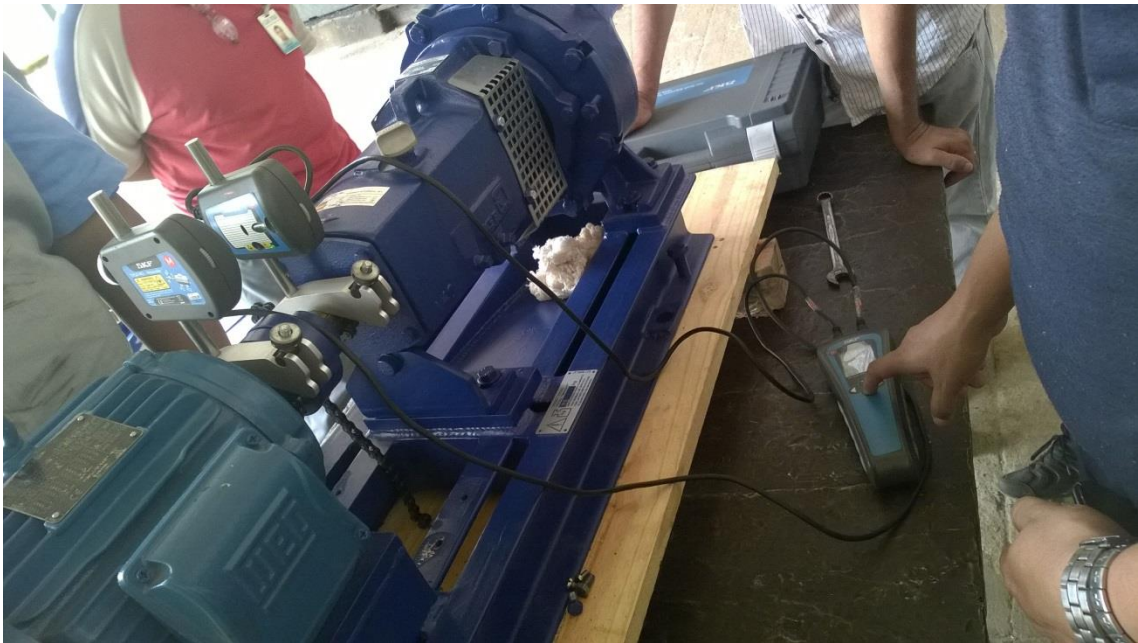
Figura 51. Alinhamento com relógio comparador



Fonte: Arquivo Pessoal de Ricardo Borges

Outra forma de alinhamento que é utilizado com mais eficiência e precisão do que o relógio comparador é o alinhamento a Laser. Esse equipamento tem obtenção em tempo real de valores do alinhamento e do nivelamento dos pés, fornecidos durante o processo de alinhamento, torna as correções fáceis e rápidas, esse aparelho realizar pré-alinhamento rápido em relação ao relógio comparador. Tem como característica o posicionamento rápido das unidades de medidas onde as unidades de medidas são fixadas de maneira fácil e rápida, com o uso de níveis de bolhas integradas.

Figura 52. Alinhamento a Laser.



Fonte: Arquivo Pessoal de Ricardo Borges

7.8 Tubulações

As Tubulações devem ser projetadas de modo não permitir esforços à carcaça da Bomba. Deve-se apoiá-la com suportes e prever, sempre que necessário, a instalação de juntas de expansão ou flexíveis. O projeto de uma Tubulação com uma instalação incorreta poderá comprometer o seu desempenho. É fundamental ter cuidados na instalação como:

- A tubulação deve ser apoiada de maneira independente em relação à Bomba. Não deve apoiar as Tubulações nos flanges da Bomba para que a carcaça não se encontre submetida a esforços desnecessários e, às vezes, prejudiciais.
- Todas as Tubulações devem ser alinhadas naturalmente com o flange da Bomba, antes do aperto das Tubulações, deve-se verificar o alinhamento da Tubulação em relação à Bomba.
- As seções de Tubulação devem ser adequadas à vazão.
- Quanto menor for o comprimento de uma Tubulação, maior será a possibilidade de se evitar a perda de carga e ganhar maior eficiência energética.

- Toda Tubulação e acessórios devem ser limpos internamente antes da conexão com a Bomba, para evitar que qualquer resíduo sólido penetre no seu interior, mesmo que existam filtros de Tubulação de sucção e descarga.

7.8.1 Tubulação de Sucção

A Tubulação de Sucção deve ser a mais curta possível para minimizar a perda de carga bem como o diâmetro não inferior ao do flange de Sucção da Bomba. Em trechos horizontais deve-se prever um aclave gradual na direção da Bomba. Se a Bomba for instalada acima do nível do reservatório de Sucção, não deve colocar trechos de Tubulação acima do nível da Bomba, providenciar para que a mesma seja totalmente estanque, tomando todo o cuidado para impedir a infiltração e formação de bolsas de ar. Em instalação onde se aplica válvula de pé observar que a área de passagem seja 1,5 vezes maior que área da Tubulação. Normalmente acoplada à válvula de pé deverá existir um crivo, cuja área de passagem livre seja de 3 a 4 vezes maior que a área da Tubulação.

7.8.2 Tubulação de Recalque

O dimensionamento da Tubulação de recalque obedece normalmente a critérios econômicos. No que concerne à configuração, recomenda-se usar uma válvula de retenção e uma válvula gaveta tão próxima da Bomba quanto possível. A válvula gaveta deve ser instalada após a de retenção e no caso de utilização de redução, esta deve ser locada antes das duas válvulas.

8. MANUTENÇÃO

A Manutenção é primordial em uma Empresa que depende do desempenho do equipamento em perfeito estado. Não basta uma Empresa ter máquinas modernas, tecnologia de ponta em Bombas Centrífugas com ótima qualidade, com funcionários capacitados e programa de qualidade se a Empresa não contar com uma eficiente Manutenção Mecânica. Normalmente toda função básica de Manutenção se resume em efetuar reparos, selecionar, treinar e qualificar pessoal para assumir responsabilidades de Manutenção, acompanhar projetos e

montagens de instalações para posteriormente a Manutenção para aperfeiçoá-los. Logo algumas práticas básicas definem os tipos principais de Manutenção.

8.1 Manutenção Corretiva

Ao atuar em um equipamento que apresentar um defeito ou um desempenho diferente do esperado, está sendo usada Manutenção Corretiva. Por sua vez sendo a intervenção feita de forma planejada, com base na atuação em um equipamento para corrigir uma falha ou um baixo desempenho. Dessa forma a manutenção corretiva tem como foco principal corrigir ou restaurar as condições de operação do sistema ou equipamento. Quando a corretiva é feita em uma situação já ocorrida, seja esta uma falha ou desempenho inferior em que não há tempo para preparar o serviço, é chamada manutenção corretiva não planejada. E suas consequências podem ser graves.

Acompanhamento das funções e do desempenho do equipamento ou na decisão de operar até a quebra, essa forma de intervenção é chamada de manutenção corretiva planejada. Essa modalidade de manutenção é sempre mais barata e de melhor qualidade que a anterior.

8.2 Manutenção Preventiva

Ao contrario da manutenção corretiva a preventiva busca ao máximo que a falha ou a queda de desempenho seja prevenida. São adotados planos de manutenção que seguem intervalos de tempo pré-estabelecidos. Os componentes não necessitam falhar para serem substituídos, neste caso se conhece o tempo de vida e o regime de operação desse componente para se prevenir a falha. A preventiva é usada quando o fator segurança ou produção está em primeiro plano. Logo são utilizados itens para Manutenção em Bombas Centrífugas, como:

8.2.1 Inspeções diárias

- Das pressões de sucção e descarga,

- Da vazão (se possuir indicador),
- De alterações bruscas em ruído e vibrações,
- De vazamentos de caixa de gaxetas,
- De temperatura dos mancais.

8.2.2 Inspeções mensais

- Dos níveis de vibração,
- Do alinhamento,
- Das temperaturas dos mancais (com termômetro).

8.2.3 Inspeções semi-anuais

- Do funcionamento da caixa de selagem e sobreposta,
- Da necessidade de substituir ou complementar o lubrificante dos mancais,
- Do alinhamento, se já não é feito mensalmente.

8.2.4 Inspeção anual

- Inspeção completa da bomba, acionador, sistemas auxiliares, acoplamentos e instrumentos indicadores.

8.3 Manutenção Preditiva

Seu objetivo é prever as condições de operação dos equipamentos através do monitoramento do desempenho, permitindo dessa forma sua operação contínua pelo maior tempo possível. O monitoramento é feito com o equipamento operando. Quando a degradação das partes atinge um nível crítico, é feita a intervenção, que é previamente preparada de acordo com os resultados do monitoramento. Com a adoção da manutenção preditiva a redução de falhas catastróficas nos equipamentos é muito significativa, impactando diretamente no custo de

manutenção além de intervir o mínimo na planta, favorecendo assim a produção e a segurança.

8.4 Manutenção Detectiva

São tarefas efetuadas em sistemas de proteção utilizados no controle de processo. Esses sistemas garantem a integridade dos principais ou de todos os equipamentos envolvidos na produção. Os especialistas fazem a manutenção nesses sistemas detectando falhas ocultas e podem corrigir situações sem tirar os equipamentos de operação.

8.5 Manutenção Pró-Ativa

Essa Manutenção tem como foco a busca da eficiência global, através da participação de toda a empresa, com o acréscimo de ser humano. Objetiva a redução de quebra dos equipamentos, redução do tempo de espera e de setup, através de uma maior participação integração, e comprometimento de todos os funcionários da empresa, buscando uma maior confiabilidade do sistema. Tem como estrutura base, um sério programa de treinamento.

9. ESTUDO DE CASO

Criada em 6 de junho de 1966, sob o Decreto nº 2.653, a Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão – CAEMA, sociedade de economia mista, foi instituída em 29 de julho de 1966 com o objetivo de gerir a política de saneamento básico no Estado do Maranhão e, especialmente, planejar, coordenar, implantar, ampliar, construir e explorar serviços de abastecimento de água e de esgoto.

Atualmente, a Companhia conta com a colaboração de 1.638 empregados, sendo 80% na capital e 20% nas Gerências de Negócios localizadas nas cidades de Chapadinha, Pinheiro, Pedreiras, São João dos Patos, Santa Inês, Itapecuru, Presidente Dutra e Imperatriz. Dos 217 municípios do Estado, a CAEMA atende com água tratada 156 sistemas de abastecimento de água, sendo 136 em sedes municipais e em povoados. Em termos de esgotamento sanitário, a CAEMA

atende dois municípios: São Luís e Imperatriz. Ao todo são 260.379 ligações domiciliares no interior e na capital, 203.166 ligações domiciliares que atendem uma população total de 2.085.953.

Portanto o Setor que é responsável pela Manutenção de Bombas Centrífugas é a OCMPA (COORDENAÇÃO DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL DE ESTAÇÃO DE ELEVATÓRIA DE ÁGUA E ESGOTOS), onde são realizadas manutenções nas elevatórias de esgotos, elevatórias de água tratada e elevatórias de água bruta. Diariamente ocorre chamados nas elevatórias para realizar Manutenções em Bombas com gaxetas desgastadas, rotor com palhetas defeituosas, vazamento de óleo, motor queimado e outros problemas relacionados. No Sistema do Sacavém tem 14 Bombas Centrífugas que são responsáveis pelo abastecimento de vários bairros onde a captação da água é feita pelo Rio da Prata e do Rio Batatã, 8 bombas de água tratada e 6 de água bruta. Existe um planejamento diariamente responsável pela Manutenção para que o equipamento tenha eficiência durante o processo de tratamento que é feito na Estação de Tratamento de Água (ETA). A manutenção é fundamental nas Bombas Centrífugas, pois qualquer erro pode comprometê-la no seu funcionamento, ocasionando danificação no equipamento. Logo afetará o abastecimento de água provocando insatisfação dos clientes da CAEMA. Foram selecionados 5 estudos de casos no Sistema Sacavém, descritos abaixo:

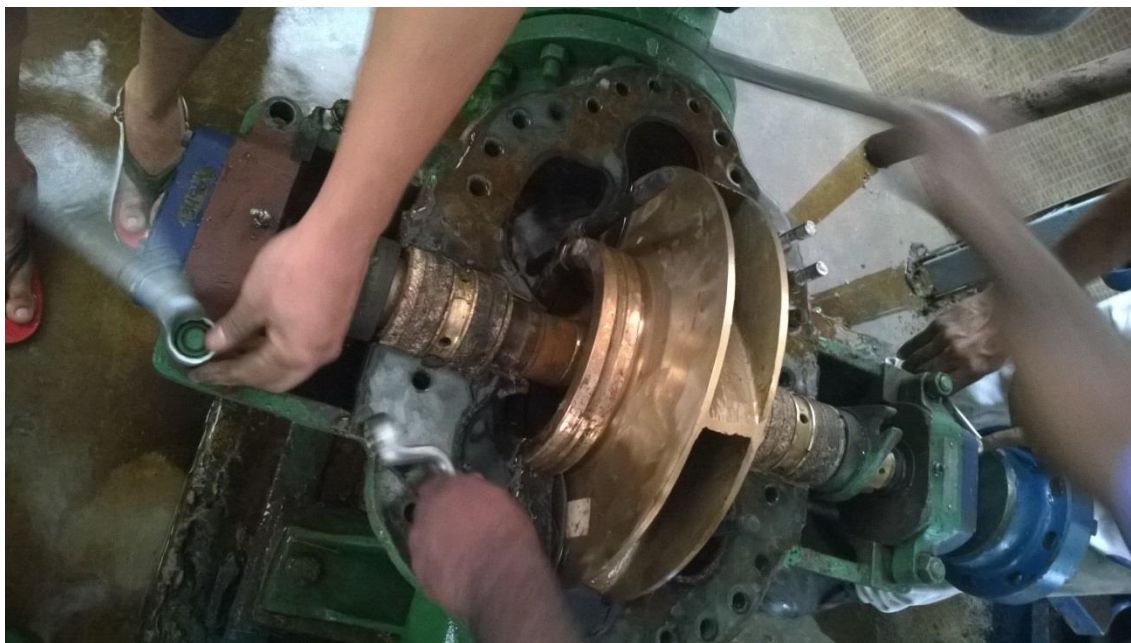
1.Limpeza na Carcaça da Bomba 4 de Água Tratada.

Nesse serviço foi detectado que estava ocorrendo baixa produção na Bomba, que significa pouca vazão no fluxo de água. Logo a equipe de manutenção foi verificar tal acontecimento. Ao chegar no local foi detectado ruídos internos na Bomba, à vista disso a equipe desligou o motor e foi desmontar a carcaça superior, para visualizar o motivo do ruído. Então foi detectada que o Rotor estava atingido a carcaça inferior da Bomba, devido à sujeira acumulada na parede superficial da carcaça.

Imediatamente a equipe retirou o conjunto girante para executar a limpeza na parede da carcaça inferior, após a limpeza o conjunto girante foi instalado no mesmo local que foi retirado. Além disso, a junta foi substituída e colocada uma

junta com a mesma espessura e com o mesmo comprimento, seguindo o contorno exato. Colocada a carcaça com cola de selagem rápida para as juntas. Em seguida o motor foi ligado e não houve mais o ruído estranho, pois o rotor não estava mais em contato com a carcaça.

Figura 53. Limpeza na Carcaça



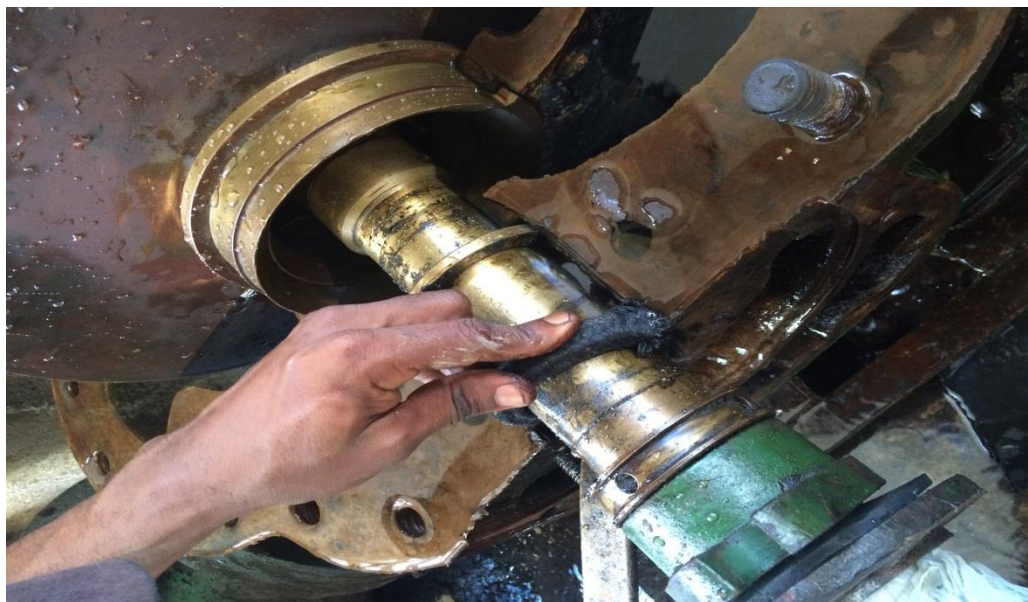
Fonte – Arquivo Pessoal de Ricardo Borges

2. Engaxetamento na Bomba 5 de Água Bruta

Quando a Bomba apresentar vazamento pelas gaxetas é sinal que é preciso realizar a troca de gaxetas. Logo a equipe de manutenção foi retirar o prensa gaxeta e os anéis de gaxetas e executar a limpeza na caixa de gaxetas. Em seguida a equipe mediu a caixa de gaxetas a fim de determinar o comprimento exato das gaxetas. Estas não podem ser cortadas tão pequenas que não completem a volta nem tão grande que cheguem a ficar enrugadas ao serem colocadas na caixa de gaxetas. Prontamente é inserido um anel de cada vez, empurrando-o, tanto quanto possível para o fundo da caixa, onde é montado cada anel. Logo é verificado se a gaxeta ficou localizada diretamente abaixo da conexão do circuito de selagem líquida e se a colocação dos anéis seguintes não afetará esta localização, foram

inseridos os anéis restantes e a prensa gaxeta pra regularizar as gaxetas de acordo com as normas da Bomba.

Figura 54. Engaxetamento



Fonte: Arquivo pessoal de Ricardo Borges

3.Substituição do Eixo na Bomba 6 de Água Tratada

A Bomba 6 de Água Tratada foi trocada em 2014 no mês de Novembro pela Bomba da marca KSB, umas das fornecedoras de Bombas Centrífugas para CAEMA. No entanto, após 20 dias de sua instalação a mesma apresentou mal funcionamento, com ruídos estranhos e baixa vazão, imediatamente a equipe foi verificar a Bomba.

Quando foi desmontada a carcaça para verificar o conjunto girante, foi verificado problema no eixo, onde foi detectado que o problema era de fábrica. Em seguida o Setor da OCMPA entrou em contato com a Empresa KSB e comunicou que a Bomba apresentava problema relacionado ao o eixo desgastado com defeito de fábrica. De acordo com o problema apresentado a solução oferecida pela KSB foi fornecimento de um novo com os parâmetros da Bomba, no qual a equipe de manutenção fez a substituição. Logo ocorreu o funcionamento correto da Bomba 6. Portanto é fundamental a inspeção do equipamento no ato de recebimento, para não ocorra prejuízo para ambas às partes.

Figura 55. Eixo Danificado



Fonte: Arquivo Pessoal de Ricardo Borges

4.Substituição de Rolamentos da Bomba 3 de Água Bruta

A Bomba 3 de Água Bruta estava apresentando vibração alta, quando a equipe de manutenção foi verificar, foi detectado que tinha também ruído estranho na Bomba. Em seguida foi realizada a retirada da carcaça e foi observado o rolamento danificado, com algumas esferas fora do rolamento. Logo foi executada a substituição por um rolamento novo. Para o funcionamento satisfatório, os rolamentos devem ter seus anéis internos firmemente presos aos eixos, para que não girem. Também é importante o encaixe do anel externo no mancal para que não permita o movimento relativo livre. Com o término da montagem dos rolamentos e o fechamento da carcaça, o rolamento foi lubrificado com a quantidade correta determinada com os dados da Bomba.

Figura 56. Instalação dos Rolamentos



Fonte: Arquivo Pessoal de Ricardo Borges

5.Substituição dos Acoplamentos da Bomba 2 de Água Tratada

Nesse serviço foi detectado ruído muito estranho no acoplamento da Bomba 2 de Água de Água Tratada, quando a equipe de manutenção foi verificar qual era o motivo do ruído, foi identificado desgaste no acoplamento. As possíveis causas para o desgaste do acoplamento é desalinhamento no eixo ou a Base da Bomba desalinhada. Logo foi executada a substituição do acoplamento, tendo em vista a borracha de proteção que fica entre os acoplamentos, também foi trocada. Quando foi realizada a substituição do acoplamento, as juntas e as partes dentadas devem ser limpas. Após a colocação do acoplamento, é primordial ser realizado o alinhamento do eixo da Bomba com o Motor.

Figura 57. Substituição do Acoplamento



Fonte: Arquivo Pessoal de Ricardo Borges

10. CONCLUSÃO

Esta pesquisa refere-se passo a passo a análise de montagem de Bomba Centrífuga, realizado na Empresa da CAEMA no âmbito onde se desenvolver o estudo detalhado, sobre o funcionamento adequado das Bombas Centrífugas.

Todas as etapas para Montagem e Instalação são de suma importância, pois aplicação dessa pesquisa ira contribuir para o enriquecimento dessa área de estudo, uma vez que na CAEMA, ainda esta carente de novos estudos e novas aplicações nessa temática.

De acordo com as informações obtidas no Estudo de Caso, foi possível identificar que se houvesse uma análise de montagem e instalação adequada com os padrões recomendados pela Empresa responsável pela fabricação da Bomba, relacionado com a manutenção correta, a vida útil do equipamento teria maior durabilidade. Além da análise de montagem, a manutenção aonde esta inserida as inspeções diárias, mensais e anuais, proporcionará maior eficiência e garantirá estabilidade no sistema operacional de Bombas Centrífugas.

BIBLIOGRAFIA

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Bombas e Instalações de Bombeamento**, 2ª Edição. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científico Editora S.A, 1997.

Primeiro Artigo de ENGEDA, Abraham. “ **From the Cristal Palace to the Pump room**” 1999. 16 p.

MATTOS, Edson Ezequiel; FALCO, Reinaldo. **Bombas Industriais**. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1998.

GARCEZ, Lucas Nogueira. **Elementos de Engenharia Hidráulica e Sanitária**. 2ª Edição. São Paulo: Editora Edgard Blucher LTDA, 1997.

SANTOS, Sérgio Lopes. **Bombas e Instalações Hidráulicas**. 1ª Edição. São Paulo: Editora LTCE, 2007.

ALAMBERT JUNIOR, Nelson. **Manual Prático de Tubulação para Abastecimento de Água**. 1ª Edição. Editora ABES, 1997.

CONTE, Antônio Eurides. **Aspectos de Hidrograma máximo mais provável: segurança de barragens e de obras Hidráulicas**. 1ª Edição Português, Editora Create Space Independent Publishing Platform, 2007.

Apostila do 2º **Seminário KSB de Manutenção em Bombas Centrífugas CAEMA**. São Luís/MA, 2014.

GAUGHIS, Diógenes. **Bombas Industriais**. 1º Volume. Disponível em: <www.ufrnet.ufnr.br/lair/Página-Input/Bombas> Acesso 1 de março de 2015.

Bomba: Guia Básico / Eletrobrás [et al.]. Brasília: IEL/NC, 2009.

Manual de Instalação, Operação e Manutenção de Bombas Centrífugas. Rio de Janeiro. 1º Volume. Disponível em: <www.tropicalrio.com.br/catalogos.php> Acesso em 20 de abril de 2015.

SIQUEIRA, Cristiano Roque. **Tese de Bombas Centrífugas**. São Paulo, 1º Volume, IBICT 20120224, 2012. Disponível em: <www.libdigi.unicamp.br/document/code=000855951> Acesso em 9 de maio de 2015

LOESER, Sérgio. Dissertação de Mestrado – **Metodologia de Projeto Estrutural de Bombas Centrífugas Verticais de Poço úmido**. São Paulo, 2011. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses> Acesso em 21 de maio de 2015.

ANEXOS

SISTEMA SACA VEM ÁGUA BRUTA

BOMBAS								
COD	MARCA	MODELO	VAZÃO (m³/h)	RPM	M.C.A	ØROT (mm)	ROLAMENTO	GAXETA
B-01	KSB	ETA 150-26	280	1780	52	260	6409	1/2"
B-02	KSB	ETA 150-26	280	1780	52	260	6409	1/2"
B-03	KSB	ETA 150-26	280	1780	52	260	6409	1/2"
B-04	KSB	ETA 150-26	280	1780	52	260	6409	1/2"
B-05	KSB	ETA 200-23	390	1780	52	230	6409	1/2"
B-06	KSB	ETA 200-23	390	1780	52	230	6309	1/2"
MOTORES								
MARCA		ROTAÇÃO	POT(cv)	TENSÃO(v)		ROLAMENTO		
GE		1780	50	220/380		6312 / 6310		
BÚFALO		1760	50	120/380		6312 / 6310 C3		
WEG		1770	50	220/380		6312 / 6212 - Z		
SIEMENS		1765	60	220/380		6312 / 6310 C3		
GE		1780	50	220/380		6312 / 6212 - Z		
OBS:SEM MOTOR NO MOMENTO								

Fonte: Dados técnicos das Bombas Centrífugas- Caema

SISTEMA SACA VEM ÁGUA TRATADA

BOMBAS								
COD	MARCA	MODELO	VAZÃO (m³/h)	RPM	M.C.A	ØROT (mm)	ROLAMENTO	GAXETA
B-01	KSB	RDL 150-400A	575	1750	70,5	400	6312C3	1/2"
B-02	IMBIL	BP 150-450A	575	1750	70,5	400	6312C3	1/2"
B-03	KSB	RDL 150-400A	575	1750	70,5	400	6312C3	1/2"
B-04	KSB	RDL 150-400A	575	1750	70,5	400	6312C3	1/2"
B-05	KSB	GLG1	366	1750	70	400	23096409	1/2"
B-06	KSB	ETANORIM 150/400	720	1750	200	400	6312C3	1/2"
B-07	KSB	RDL 250-400A	1150	1750	54,5	400	6312C3	1/2"
B-08	KSB	RDL 250-400A	1150	1750	54,5	383	6312C3	1/2"
MOTORES								
MARCA	ROTAÇÃO	POT(cv)	TENSÃO(v)			ROLAMENTO		
WEG	1785	200	220/380			6316C6		
WEG	1785	200	220/380			6316C6		
WEG	1785	200	220/380			6316C6		
WEG	1785	200	220/380			6316C6		
WEG	1780	200	220/380			6316C6		
WEG	1780	250	220/380			6316C6		
WEG	1780	350	220/380			6316C6		
WEG	1780	350	220/380			6316C6		

Fonte: Dados técnicos das Bombas Centrífugas- Caema