

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COMIM-COORDENAÇÃO TEC. DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL
MECÂNICA**

**ANDERSON APARECIDO DE LIMA
RICARDO APARECIDO BREGAGNOLI**

**PROJETO DE UM DISPOSITIVO PARA ABERTURA E FECHAMENTO
DE FUNDO DA CENTRÍFUGA AUTOMÁTICA DE AÇÚCAR MODELO
FZ 1000**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CORNÉLIO PROCÓPIO
2016**

**ANDERSON APARECIDO DE LIMA
RICARDO APARECIDO BREGAGNOLI**

**PROJETO DE UM DISPOSITIVO PARA ABERTURA E FECHAMENTO
DE FUNDO DA CENTRÍFUGA AUTOMÁTICA DE AÇÚCAR MODELO
FZ 1000**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Manutenção Industrial Mecânica, pelo Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Conrado Di Raimo

**CORNÉLIO PROCÓPIO
2016**



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procopio
Dr. Márcio Jacometti
MSc. Jefferson Luis Cesar Salles
Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial Mecânica



TERMO DE APROVAÇÃO

PROJETO DE UM DISPOSITIVO PARA ABERTURA E FECHAMENTO DE FUNDO
DA CENTRÍFUGA AUTOMÁTICA DE AÇÚCAR MODELO FZ 1000

Por:

ANDERSON APARECIDO DE LIMA
RICARDO APARECIDO BREGAGNOLI

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 19:30 do dia 12 de maio de 2016, como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Manutenção Industrial Mecânica, pelo Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. MSc. Conrado Di Raimo
Orientador

Prof. Carlos De Nardi
Membro titular

Prof. MSc. Jeferson Luis Cesar Salles
Membro titular

O termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.

Dedicamos aos nossos familiares
pela compreensão, carinho e apoio durante
nossa vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à DEUS por nos dar força e sabedoria nos momentos de dificuldade e também de alegria da vida.

A todos que nos rodeiam, sintam-se honrados por beneficiar estes escritos. Aos nossos familiares que tanto nos incentivaram durante toda nossa vida e na realização deste trabalho. Nos apoiando psicologicamente e auxiliando em situações adversas.

Agradecemos ao apoio da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), que nos disponibilizou livros e ótimos professores com alta capacidade teórica e prática. Dentre esses, nosso orientador Prof. Conrado Di Raimo pelo apoio e suas orientações metodológicas que contribuíram na realização deste trabalho.

O SENHOR, tua é a grandeza, o poder, a glória, a vitória e a majestade, porque tudo quanto há no céu e na terra a ti pertence. O SENHOR, o reino é teu, e tu governas soberano sobre tudo e todos!

I Crônicas 29:11.

RESUMO

Lima e Bregagnoli, Anderson Aparecido e Ricardo Aparecido. **Projeto de um dispositivo para abertura e fechamento de fundo da centrífuga automática de açúcar modelo FZ 1000**. 2016. 77 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso – Tecnólogo em Manutenção Industrial Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Cornélio Procópio, 2016.

O tema do trabalho consiste em apresentar o dimensionamento de um dispositivo pneumático de melhoria no acionamento de abertura e fechamento de fundo das centrífugas automáticas de açúcar. As constantes quebras, manutenções e paradas de máquinas, são problemas que o projeto deve ajudar a solucionar. A realização do dimensionamento tem como objetivo melhorar a confiabilidade das máquinas para que o processo de produção e manutenção seja realizado de forma eficaz, diminuindo as paradas por quebras dos equipamentos. Através do estudo o planejamento de projeto, projeto informacional e projeto conceitual desenvolveram-se especificações e ideias que resultarão em um dispositivo de acionamento para abertura e fechamento de fundo das centrífugas automáticas de açúcar modelo FZ 1000. Uma vez que os objetivos estabelecidos foram alcançados e bem sucedido através da aplicação do método em questão, o estudo permitirá utilizar como parâmetro para o desenvolvimento das demais etapas do projeto do produto.

Palavras-chave: Sistema Pneumático. Centrífugas. Dimensionamento.

ABSTRACT

Lima and Bregagnoli, Anderson Aparecido and Ricardo Aparecido. **Design of a device for opening and automatic centrifuge bottom closure sugar model FZ 1000**. 2016. 77 pages. Work Completion of course - Technologist in Industrial Maintenance Mechanics, Federal Technological University of Paraná (UTFPR).

Cornelius, 2016. The work of the theme is to present the design of a pneumatic device for improving the opening drive and bottom closing of automatic sugar centrifuges. The constant breaks, maintenance and downtime of machines, are problems that the project should help solve. The completion of the design aims to improve the reliability of the machines for the production process and maintenance is carried out effectively, reducing downtime for equipment of breaks. By studying the project planning, informational design and conceptual design have developed specifications and ideas that will result in a drive device for opening and closing bottom of the automatic centrifugal sugar model FZ 1000. Since the established objectives were achieved and successful by applying the method in question, the study will be used as a parameter for the development of other stages of product design. **Keywords:** Pneumatic System. Centrifuges. Dimensioning.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Moldes cônicos perfurados | 16 |
| Figura 2 - Pão de açúcar após 40 dias de purga..... | 17 |
| Figura 3 - Centrífuga automática de açúcar | 18 |
| Figura 4 - Açúcar cristal após centrifugado e seco..... | 18 |
| Figura 5 - Centrífuga de fluxo intermitente | 21 |
| Figura 6 - Centrífuga de fluxo contínuo | 22 |
| Figura 7 - Compressor de ar | 29 |
| Figura 8 - Unidade geradora de ar compressor de parafuso duplo | 30 |
| Figura 9 - Unidade geradora de ar do compressor de parafuso duplo | 30 |
| Figura 10 - Reservatório de ar comprimido | 32 |
| Figura 11 - Reservatório de ar comprimido | 33 |
| Figura 12 - Secagem por Refrigeração | 34 |
| Figura 13 - Secagem por Absorção..... | 35 |
| Figura 14 - Secagem por Adsorção..... | 36 |
| Figura 15 - Unidade de Condicionamento (LUBREFIL) | 37 |
| Figura 16 - Unidade LUBREFIL individual para cada centrífuga..... | 38 |
| Figura 17 - Simbologia do número de posições de uma válvula de direcional..... | 40 |
| Figura 18 - Simbologia do número de vias de uma válvula direcional..... | 40 |
| Figura 19 - Válvula Direcional com identificação de orifícios | 41 |
| Figura 20 - Válvula de Retenção com mola..... | 42 |
| Figura 21 - Válvula de Controle de Fluxo Bidirecional..... | 43 |
| Figura 22 - Válvula de Controle de Pressão..... | 44 |
| Figura 23 - Montagem de um Bloco Manifold com Válvulas direcionais | 45 |
| Figura 24 - Comando de Válvulas Direcionais em Bloco | 45 |
| Figura 25 - Atuador Pneumático de Dupla Ação | 47 |
| Figura 26 - Atuador Linear de Dupla Ação | 47 |
| Figura 27 - Atuador Rotativo | 48 |
| Figura 28 - Motor de pistões axiais por disco oscilante..... | 48 |
| Figura 29 - Motor da Centrífuga Automática | 49 |

| | |
|---|----|
| Figura 30 - Cabeçote de Acionamento da Centrífuga Automática | 50 |
| Figura 31 - Acoplamento do Cabeçote de Acionamento | 51 |
| Figura 32 - Eixo principal e cesto | 52 |
| Figura 33 - Eixo principal, cesto e tela | 52 |
| Figura 34 - Sistema Pneumático de Abertura e Fechamento de Fundo..... | 53 |
| Figura 35 - Eixo para Abertura e Fechamento de Fundo | 54 |
| Figura 36 - Descarregador pneumático de açúcar | 55 |
| Figura 37 - Válvula automática para carregar o cesto..... | 56 |
| Figura 38 - Sistema de lavagem do açúcar e tela | 57 |
| Figura 39 - Controlador de espessura de camada | 58 |
| Figura 40 - Monitor da Centrífuga Automática..... | 59 |
| Figura 41 - Acionamento de Abertura e Fechamento de Fundo antigo..... | 60 |
| Figura 42 - Acionamento de Abertura e Fechamento de Fundo atual..... | 61 |
| Figura 43 - Sistema de Acionamento aberto | 61 |
| Figura 44 - Painel de controle do compressor..... | 66 |
| Figura 45 - Manômetro na linha que fornece ar para as centrífugas..... | 66 |
| Figura 46 - Flange superior fixado no cabeçote | 68 |
| Figura 47 - Desenho flange superior | 69 |
| Figura 48 - Suporte superior..... | 70 |
| Figura 49 - Desenho do suporte superior | 70 |
| Figura 50 - Desenho do cilindro pneumático parker DIN 63,5 mm x 150mm | 71 |
| Figura 51 - Suporte Inferior de fixação dos pistões | 72 |
| Figura 52 - Suporte inferior vista frontal | 72 |
| Figura 53 - Suporte inferior vista lateral | 73 |
| Figura 54 - Pino de Travamento..... | 74 |
| Figura 55 - Desenho do Pino de Travamento..... | 74 |
| Figura 56 - Bucha de desgaste bipartida..... | 75 |
| Figura 57 - Desenho da bucha bipartida de desgaste..... | 76 |
| Figura 58 - Desenho da bucha bipartida de bronze | 76 |
| Figura 59 - Desenho do conjunto geral | 77 |
| Figura 60 - Desenho do circuito pneumático | 78 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 REVISÃO DA LITERATURA | 15 |
| 2.1 PROJETO PARA ABERTURA E FECHAMENTO DE FUNDO DA CENTRÍFUGA AUTOMÁTICA DE AÇÚCAR MODELO FZ 10000 | 15 |
| 2.2 HISTÓRICO DA CENTRIFUGAÇÃO DE AÇÚCAR | 15 |
| 2.3 CENTRÍFUGAS DE FLUXO INTERMITENTE DESCONTÍNUAS | 19 |
| 2.4 CENTRÍFUGAS DE FLUXO CONTÍNUO..... | 21 |
| 2.5 CAPACIDADE E CARACTERÍSTICAS DAS CENTRÍFUGAS AUTOMÁTICAS DE AÇÚCAR MODELO FZ 1000 | 23 |
| 2.6 SISTEMAS PNEUMÁTICOS | 24 |
| 2.7 PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DO AR COMPRIMIDO | 26 |
| 2.8 COMPRESSOR DE AR..... | 27 |
| 2.9 RESERVATÓRIOS | 31 |
| 2.10 SECAGEM | 33 |
| 2.11 UNIDADE DE CONDICIONAMENTO (LUBREFIL) | 36 |
| 2.12 VÁLVULAS DE COMANDO | 38 |
| 2.13 VÁLVULAS DE CONTROLE DIRECIONAL | 39 |
| 2.14 VÁLVULAS DE BLOQUEIO E RETENÇÃO | 42 |
| 2.15 VÁLVULAS DE CONTROLE DE FLUXO | 42 |
| 2.16 VÁLVULAS DE CONTROLE DE PRESSÃO..... | 43 |
| 2.17 MONTAGEM DE VÁLVULAS PNEUMÁTICAS EM BLOCO | 44 |
| 2.18 ATUADORES PNEUMÁTICOS..... | 46 |
| 3 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS | 49 |
| 3.1 MOTOR ELÉTRICO | 49 |
| 3.2 CABEÇOTE DE ACIONAMENTO | 50 |
| 3.3 EIXO PRINCIPAL E CESTO | 51 |
| 3.4 ABERTURA E FECHAMENTO DE FUNDO..... | 53 |
| 3.5 DESCARREGADOR DE AÇÚCAR | 54 |
| 3.6. VÁLVULA DE CARGA..... | 55 |

| | |
|---|-----------|
| 3.7 SISTEMA DE LAVAGEM COM ÁGUA..... | 56 |
| 3.8 CONTROLADOR DE ESPESSURA DE CAMADA | 57 |
| 3.9 MONITOR | 58 |
| 4 METODOLOGIA | 60 |
| 4.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS | 62 |
| 4.2 DIMENSIONAMENTO DE ATUADORES PNEUMÁTICOS LINEARES COMERCIAIS..... | 62 |
| 4.3 REDE DE AR QUE ABASTECE AS CENTRÍFUGAS AUTOMÁTICAS DE AÇÚCAR | 65 |
| 4.4 DIMENSIONAMENTO DOS ATUADORES PNEUMÁTICOS..... | 67 |
| 4.5 FLANGE SUPERIOR PARA FIXAÇÃO DO PISTÃO | 68 |
| 4.6 SUPORTE SUPERIOR E PISTÕES | 69 |
| 4.7 SUPORTE SUPERIOR | 71 |
| 4.8 PINOS DE TRAVAMENTO | 73 |
| 4.9 BUCHA DE DESGASTE BIPARTIDA | 75 |
| 4.10 CONJUNTO GERAL | 77 |
| 4.11 CIRCUITO PNEUMÁTICO | 77 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 79 |
| 6 CONCLUSÕES | 82 |
| REFERÊNCIAS..... | 83 |

1 INTRODUÇÃO

Projetadas e construídas de acordo com as mais recentes normas da ABNT, DIN, AWS, entre outras, as Centrífugas Automáticas de açúcar foram desenvolvidas para as condições e necessidades das modernas indústrias açucareiras, que exigem máquinas com maiores recursos mecânicos e operacionais. São aplicadas na centrifugação de massa cozida de primeira (massa A), para açúcar cristal, refinado ou VHP, operando em ciclos totalmente automáticos, por bateladas (CENTRIMAX, 2008).

Essas máquinas são compostas de vários dispositivos, com funções diferentes, compondo o ciclo de trabalho automático, tendo por finalidade à obtenção do açúcar cristal centrifugado.

As centrífugas são constituídas de um motor, situado na parte superior, o qual aciona um eixo vertical, acoplado em um cabeçote, que sustenta um cesto cilíndrico, na qual se coloca a massa cozida a ser turbinada. Este cesto é perfurado para deixar passar o mel e reforçado resistir à força centrífuga. É protegido com telas metálicas para reter o açúcar e, ao mesmo tempo, deixar passar o mel, o qual retorna para ser processado, (ZANINI, 1982).

Na parte superior, existe uma válvula que controla a abertura para entrada da massa, um sistema de abertura e fechamento de fundo para descarregar o açúcar e um descarregador que raspa o açúcar cristal para transportadores, direcionando para secagem, empacotamento, refinar, líquido entre outros.

O presente trabalho tem como objetivo, apresentar uma melhoria de manutenção realizada no sistema de acionamento para abertura e fechamento de fundo para descarga de açúcar das Centrífugas Automáticas modelo FZ 1000. Essa melhoria deve-se à grande ocorrência de quebras envolvendo o antigo dispositivo que estava em funcionamento desde 1986, encontrando-se bem ultrapassado e com quebras consideráveis, apresentando falta de sobressalentes (peças de reposição), levando a adaptação de peças, retirando a originalidade do mesmo.

A melhoria realizada ocorreu na parte de acionamento do dispositivo de abertura e fechamento de fundo, composto de um cone de fechamento em aço

inoxidável situado na parte inferior do cesto que se abre para baixo para descarregamento do açúcar, e fechando o fundo do cesto, evita respingos de massa sobre o açúcar. O sistema antigo era acionado por um cilindro ligado à um garfo, trabalhando fora de centro. Atualmente o conjunto é acionado através de dois cilindros pneumáticos ligados a uma bucha bipartida de desgaste feita de bronze presa no mancal ligado a um tubo distribuidor de massa fixado no cone.

Assim, o objetivo geral deste trabalho é dimensionar o sistema pneumático de um Dispositivo Pneumático para Abertura e Fechamento de Fundo das Centrífugas Automáticas de açúcar modelo FZ 1000 da empresa Raízen Alimentos Unidade Tarumã SP.

Afim, de responder o problema de pesquisa traçaram-se os seguintes objetivos específicos:

- Estudou – se os componentes que irão compor o sistema;
- Realizou – se os equacionamentos para atingir o objetivo geral desta pesquisa;
- Apresenta – se os resultados após a realização dos cálculos.

As etapas que constituíram esse trabalho foram: primeiramente, uma revisão a partir de uma literatura adequada referente às Centrífugas Automáticas de açúcar, sistemas pneumáticos, dimensionamento e equacionamento dos principais componentes pneumáticos que fazem parte do dispositivo pneumático de Abertura e fechamento de Fundo das Centrífugas Automáticas de açúcar modelo FZ 1000, tema deste trabalho de pesquisa.

E, por último a análise dos resultados, apresentando os ganhos, com a melhoria realizada no dispositivo pneumático. Cada etapa dessas constitui um capítulo do trabalho em questão.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, apresenta-se o embasamento teórico a partir de uma literatura adequada referente às centrífugas automáticas de açúcar, sistemas pneumáticos e os principais componentes pneumáticos que fazem parte do Projeto para Abertura e Fechamento de Fundo das Centrífugas Automáticas de açúcar modelo FZ 1000, tema deste trabalho de pesquisa.

2.1 PROJETO PARA ABERTURA E FECHAMENTO DE FUNDO DA CENTRÍFUGA AUTOMÁTICA DE AÇÚCAR MODELO FZ 10000

Esse sistema tem a finalidade de abrir e fechar o fundo do cesto da Centrífuga automática. É composto de um cone de fechamento em aço inoxidável que se abre para baixo para descarregamento do açúcar, e fechando o fundo do cesto, evita respingos de massa sobre o açúcar. O conjunto é acionado através de dois cilindros pneumáticos ligados a uma bucha bipartida de desgaste feita de bronze presa no mancal ligado a um tubo distribuidor de massa fixado no cone.

2.2 HISTÓRICO DA CENTRIFUGAÇÃO DE AÇÚCAR

Na indústria, o caldo de cana quando concentrado via cozimento, sua viscosidade aumenta, tornando-se massa. Quando alcança 78°C a 80°C, os cristais de açúcar começam a aparecer e a massa vai ficando cozida, alterando o seu estado líquido para um estado pastoso.

Deixando esta massa em repouso nos cristalizadores, a sacarose começa a ser depositada sobre os cristais. Ao se esgotar a massa, basta separá-lo dos cristais

para obter o açúcar comercial. Este procedimento é realizado em turbinas centrífugas de secagem, que são chamadas de centrífugas.

A separação dos cristais e do mel da massa cozida, antigamente era realizada somente por gravidade, em moldes cônicos e perfurados conforme Figura 1, onde após a drenagem lenta e demorada do licor-mãe, obtinha-se o “Açúcar de forma” ou “Pão de açúcar”. Esta era uma operação custosa e bastante demorada, (ZANINI, 1982).

O "pão-de-açúcar" nos dá uma pista preciosa quanto às origens do termo "mascavo". A antiga maneira de se purgar o açúcar, isto é, separar os cristais formados do mel, pela colocação da massa cozida em formas de barro que tinham o formato de um cone invertido, conforme figura 2 na página 18, com um orifício inferior por onde o mel escoava por gravidade, deu origem ao termo "pão-de-açúcar", uma vez que os pães também eram assados em formas, (MACHADO, 2003).



Figura 1 - Moldes cônicos perfurados

Fonte: Segundo os passos da história (2015)



Figura 2 - Pão de açúcar após 40 dias de purga

Fonte: Segundo os passos da história (2015)

Atualmente, a separação dos cristais é realizada pela ação da “força centrífuga”, em máquinas dos mais variados tipos em função da natureza das massas cozidas a serem centrifugadas. Esta operação é realizada em apenas alguns minutos em certos casos, sendo conhecida como “purga” ou “centrifugação” (ZANINI, 1982).



Figura 3 - Centrifuga automática de açúcar
Fonte: Raízen (2015)



Figura 4 - Açúcar cristal após centrifugado e seco
Fonte: Raízen (2015)

As centrífugas de açúcar, todas baseadas na máquina inventada por “Weston” no século XIX, pouco mudaram fundamentalmente. As modificações introduzidas dizem respeito à forma de conduzir a operação de centrifugação, a velocidade ceste, ao processo de descarga do açúcar, e mais recentemente à substituição do controle manual pelo automático.

As máquinas utilizadas na operação da centrifugação, em função do processo de alimentação e da qualidade da massa cozida, são classificadas em dois grupos: centrífugas de fluxo intermitente ou descontínuas e centrífugas de fluxo contínuo de massa cozida (ZANINI, 1982).

De acordo com PAYNE (1989), o objetivo da centrifugação consiste basicamente na separação do melaço que envolve os cristais de açúcar. Sob a força centrífuga o melaço sai através das perfurações e dirige-se à caixa dos méis.

A centrifugação do açúcar é uma etapa fundamental para obtenção de um produto de qualidade. O conhecimento das máquinas, equipamentos e técnicas corretas envolvidas é fundamental para obter desta operação o máximo de eficácia, qualidade e segurança.

2.3 CENTRÍFUGAS DE FLUXO INTERMITENTE DESCONTÍNUAS

As centrífugas de fluxo intermitente ou descontínuas podem ser utilizadas na centrifugação de qualquer tipo de massa cozida. Entretanto com o aparecimento das centrífugas de fluxo contínuo que as substituem com vantagem na separação das massas cozidas de baixo grau de pureza, isto é, massas de segunda ou terceira, a sua utilização ficou restrita à separação das massas de alto grau de pureza, isto é, massas de primeira e segunda (ZANINI, 1982).

A centrífuga de Batelada é responsável pela obtenção do açúcar comercial e possui um cesto cilíndrico e perfurado, para que o mel possa ser eliminado. Possui motor com frenagem que se inicia e para conforme a etapa do processo de centrifugação. As etapas desse tipo de centrifugação são as seguintes: aceleração da centrífuga vazia para nível de velocidade baixo, admissão da massa cozida A, o

aumento da velocidade de rotação (remoção do mel pobre), aplicação de vapor ou água quente (remoção do mel rico), aumento para a velocidade máxima de centrifugação, e em seguida, frenagem. Com a centrífuga ainda em giro, o fundo da mesma se abre, enquanto um raspador retira o açúcar da parede da centrífuga. Esse açúcar cai na esteira que o leva ao secador para reduzir a umidade e temperatura (ALBUQUERQUE, 2011).

Nas centrífugas de fluxo intermitente, a alimentação é feita em cargas, isto é, um determinado volume de massa cozida é carregado no interior do cesto, sendo feito o processamento de centrifugação, em seguida os cristais de sacarose já separados do licor mãe, são descarregados e nova carga de massa cozida é carregada no interior do cesto, dando sequência ao novo ciclo de centrifugação (ZANINI, 1982).

Comportam ainda uma subdivisão em: centrífugas de controle manual, semiautomático e completamente automático. As centrífugas de controle manual, são aquelas em que todas as operações são feitas pelo operador; as centrífugas semiautomáticas têm apenas fases de carga e descarga realizadas manualmente, enquanto as automáticas têm todas as operações realizadas completamente automáticas.

A capacidade de produção de açúcar deste equipamento depende de três fatores principais:

- Conteúdo do cesto em volume;
- Duração do Ciclo;
- Conteúdo de cristais na massa cozida.

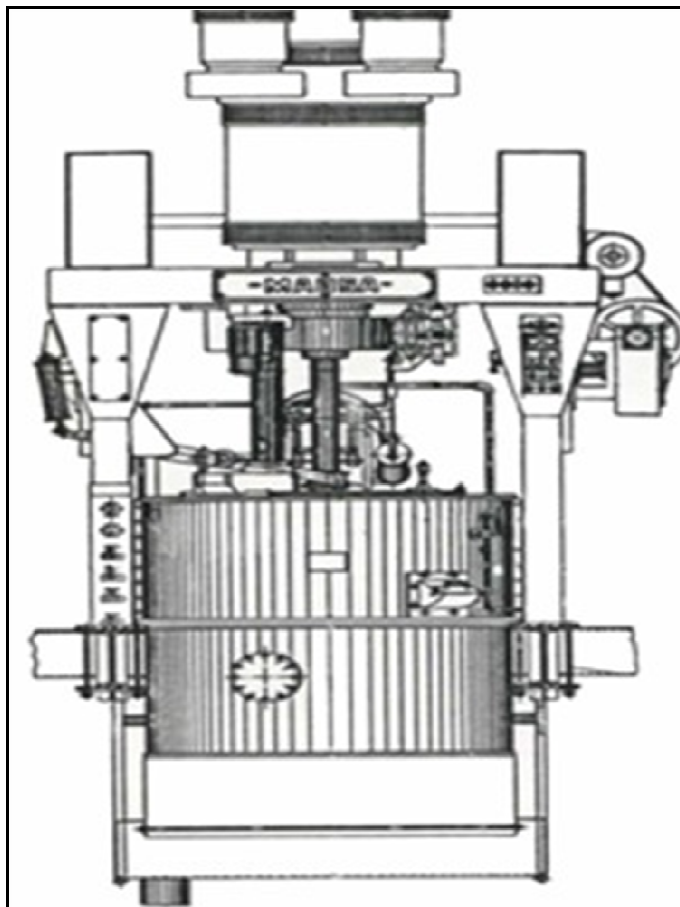


Figura 5 - Centrífuga de fluxo intermitente

Fonte: Fatec, alunos (2015)

2.4 CENTRÍFUGAS DE FLUXO CONTÍNUO

As centrífugas ou turbinas contínuas consistem em um cesto cônico perfurado que gira a alta velocidade, impulsionadas por um motor elétrico onde um fio contínuo fornece uma vazão constante de material a ser turbinado.

O cone giratório é todo perfurado formando uma peneira por onde se faz a separação da parte sólida (magma) da líquida (mel final) ocasionado pela força centrípeta (PAYNE, 1989).

As centrífugas contínuas são empregadas principalmente para o processamento de massas de açúcar bruto e massas de subprodutos.

São utilizadas para massa B ou C. Não utilizadas para massa A por trabalharem a altas rotações e ocasionarem apreciável quebra do açúcar.

O tempo de residência da massa na centrífuga é pequeno requer altas velocidades.

A centrífuga gira a uma velocidade constante e é alimentada por um “fio” contínuo fornecendo uma vazão constante de açúcar.

A massa cozida escoar através do sistema central, continuamente para a centrifugação, sendo distribuída uniforme e continuamente sobre a tela de separação do cesto.

O mel separará sozinho da massa cozida durante o avanço da mesma sobre a tela. O mel desliza então sobre o cone liso, que se encontra sob a tela, devido à ação da força centrífuga.

O mel sai pelos orifícios do anel superior do cesto e dirige-se até a caixa dos méis.

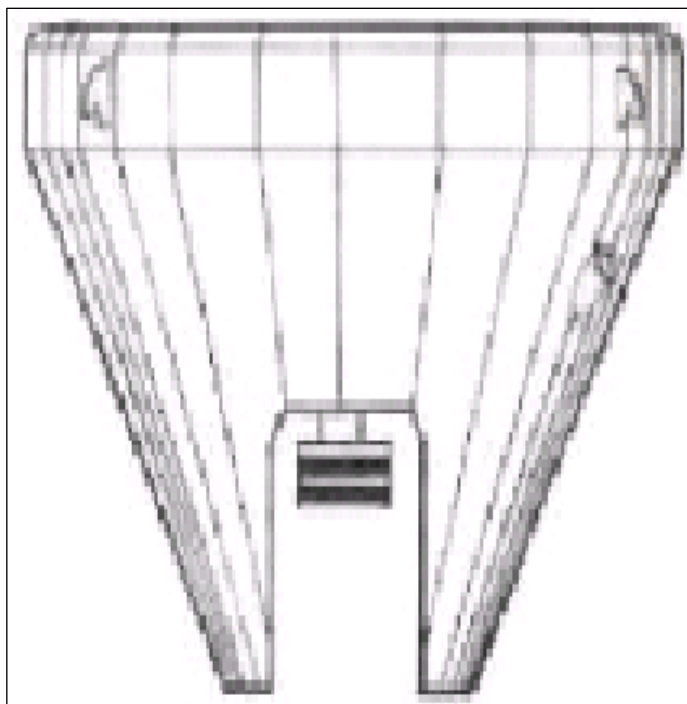


Figura 6 - Centrífuga de fluxo contínuo

Fonte: Fatec, alunos (2015)

2.5 CAPACIDADE E CARACTERÍSTICAS DAS CENTRÍFUGAS AUTOMÁTICAS DE AÇÚCAR MODELO FZ 1000

A capacidade das centrífugas depende de dois fatores principais: conteúdo de massa cozida no cesto e duração de ciclo operacional. O volume da massa cozida no cesto, por sua vez, depende da área da tela, da espessura da camada de massa e da forma do cesto: fundo cônico e fundo plano ZANINI (1982).

A capacidade de massa cozida no cesto da centrífuga FZ 1000 é de 1000 kg por carga com uma velocidade de centrifugação de 1170 rpm, podendo centrifugar até 500 kg de açúcar por ciclo.

A velocidade das centrífugas variam de 1000 a 1800 rpm. Entretanto, no hawaí, são construídas centrífugas de alta velocidade, que chegam a atingir 2.200 rpm, sendo utilizadas na centrifugação de massas cozidas de baixo grau de pureza as quais exigem uma força centrífuga maior.

As centrífugas podem ser acionadas por três processos: correias, turbina a água e motor elétrico.

No sistema de acionamento por correias, já superado, as centrífugas são agrupadas em baterias, onde uma única fonte motriz aciona o conjunto todo, tendo em cada máquina um sistema de embreagem, possibilitando o acionamento individual.

O acionamento de centrífugas por turbina á água, está hoje em desuso na indústria moderna, em virtude de grande quantidade de água requerida e da necessidade de alta potência como consequência de baixo rendimento da roda "Pelton". O sistema mais prático de baixo custo e maior rendimento no acionamento das centrífugas é o motor elétrico individual, atualmente usado.

Todas as operações das centrífugas são automáticas e controladas por sistema eletropneumático.

2.6 SISTEMAS PNEUMÁTICOS

O termo pneumático é derivado do grego Pneumos ou Pneuma (respiração, sopro) e é caracterizado como a parte da Física que se ocupa da dinâmica e dos fenômenos físicos relacionados com os gases ou vácuos. É também definido como o estudo da conservação da energia pneumática em energia mecânica, por meio dos respectivos elementos de trabalho (PARKER, 2000).

Ao referir-se à sistemas pneumáticos cita as vantagens e limitações, as quais podem ser verificadas abaixo.

Vantagens:

- Incremento da produção com investimento relativamente baixo.
- Redução dos custos operacionais. A velocidade nos movimentos pneumáticos e a libertação do operário (homem) de operações repetitivas possibilitam o aumento do ritmo de trabalho, elevada produtividade e, portanto, um menor custo operacional.
- Robustez dos componentes pneumáticos. A robustez referente aos controles pneumáticos torna-os relativamente insensíveis a vibrações e golpes, permitindo que ações mecânicas do próprio processo sirvam de sinal para as diferentes sequências de operação. São de fácil manutenção.
- Facilidade de implantação. Pequenas alterações nas máquinas convencionais, combinadas à disponibilidade de ar comprimido, são os requisitos necessários para implantação dos controles pneumáticos.
- Resistência a ambientes hostis. Poeira, atmosfera corrosiva, oscilações de temperatura, umidade, submersão em líquidos, dificilmente prejudicam os componentes pneumáticos, quando projetados para esse objetivo.
- Simplicidade de manipulação. Os controles pneumáticos não exigem operários especializados para sua manipulação.
- Segurança. Como os equipamentos pneumáticos envolvem sempre pressões moderadas, tornam-se seguros contra acidentes, tanto pessoais, quanto no próprio equipamento, além de evitarem problemas de explosão.

- Redução do número de acidentes. A fadiga é um dos principais aspectos que favorecem acidentes; a implantação de controles pneumáticos diminui sua incidência (liberação de operações repetitivas).

Limitações:

- O ar comprimido exige uma boa preparação para realizar o trabalho proposto: remoção de impurezas, eliminação de umidade para evitar corrosão nos equipamentos, engates ou travamento se maiores desgastes nas partes móveis do sistema.

- Os componentes pneumáticos são comumente projetados e utilizados a uma pressão máxima de 1723,6 kPa. Logo, as forças envolvidas são pequenas se comparadas a outros sistemas. Assim, não é conveniente o uso de controles pneumáticos em operação de extrusão de metais. Provavelmente, o seu uso é vantajoso para recolher ou transportar as barras estudadas.

- Velocidades muito baixas são difíceis de serem obtidas com o ar comprimido devido às suas propriedades físicas. Neste caso, utilizam-se sistemas mistos (hidráulicos e pneumáticos).

- O ar é um fluido altamente compressível, portanto, é impossível se obterem paradas intermediárias de velocidades uniformes. O ar comprimido é um poluidor sonoro quando são realizadas exaustões para a atmosfera. Esta poluição pode ser evitada através da utilização de silenciadores nos orifícios de escape.

A existência física do ar, bem como a sua utilização como forma de energia é reconhecida há milhares de anos. Comprimindo ar atmosférico em um recipiente, transformando-o em ar comprimido a uma dada pressão de trabalho, obtemos energia pneumática. O equipamento utilizado para a obtenção deste processo é chamado de compressor. O ar comprimido é uma forma de energia conhecida pelo homem há muitos anos atrás, mas somente a partir de 1950 ele foi utilizado industrialmente na automação e na racionalização da força humana para trabalhos cíclicos e metódicos. Nos dias atuais, o ar comprimido tornou-se indispensável nos mais diferentes ramos industriais (BONACORSO & NOLL, 1997).

2.7 PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DO AR COMPRIMIDO

O ar comprimido é uma fonte significativa de força industrial que apresenta muitas vantagens como, por exemplo, segurança, economia, adaptação e fácil condução, além de poupar mão de obra. Embora o custo total para realizar um determinado trabalho com o ar comprimido inclua amortização, reparo e manutenção do equipamento, custo do ar comprimido bem como da mão de obra e de seus encargos, foi demonstrado muitas vezes que à mão de obra mais os encargos representam mais de 95% do custo total de operação, ou seja, os custos relacionados com ar comprimido se referem a menos de 5%. Por isso, o custo do ar comprimido e das ferramentas pneumáticas é, geralmente, insignificante quando comparado à economia por seu uso (ROLLINS, 2004).

A pneumática emprega o ar como fonte de energia para o acionamento de seus componentes. Esse ar, entretanto, precisa ser colocado em condições adequadas para sua utilização, das quais podemos citar pressão adequada e qualidade (redução máxima possível de impurezas e umidade). A condição de pressão adequada é produzida por compressores; por outro lado a de qualidade precisa de recursos como purgadores, secadores e filtros (FIALHO, 2012).

Vale apontar a contribuição de (CROSER & EBEL, 2002), ao que diz respeito à geração de ar comprimido que se inicia com a compressão. O ar comprimido flui através de toda uma série de componentes antes de atingir o dispositivo de consumo. O tipo de compressor e sua localização em grau menor ou maior alteram a quantidade de partículas de sujeira, óleo e água que adentram em um sistema pneumático. O equipamento a ser considerado na geração e preparação de ar inclui:

- Filtro de entrada;
- Compressor de ar;
- Reservatório de ar;
- Secador de ar;
- Filtro de ar, com separador de água;

- Regulador de pressão;
- Lubrificador de ar, conforme solicitado;
- Pontos de drenagem.
- Os autores referidos anteriormente citam ainda que o ar comprimido mal preparado irá inevitavelmente criar mau funcionamento e pode se manifestar no sistema como se segue:
 - Rápido desgaste das vedações e partículas em movimento nos cilindros e válvulas;
 - Válvulas lubrificadas;
 - Silenciadores contaminados;
 - Corrosão nos canos, válvulas, cilindros e outros componentes;
 - Jato de lubrificação dos componentes que se movem.

Para evitar esses problemas é utilizada no sistema uma unidade de condicionamento, que consiste no seguinte: filtragem, regulação da pressão e introdução de certa quantidade de óleo para a lubrificação de todas as partes mecânicas dos componentes pneumáticos. A utilização desta unidade de serviço é indispensável em qualquer tipo de sistema pneumático, do mais simples ao mais complexo. Ao mesmo tempo em que permite aos componentes trabalharem em condições favoráveis, prolonga a sua vida útil (PARKER, 2000).

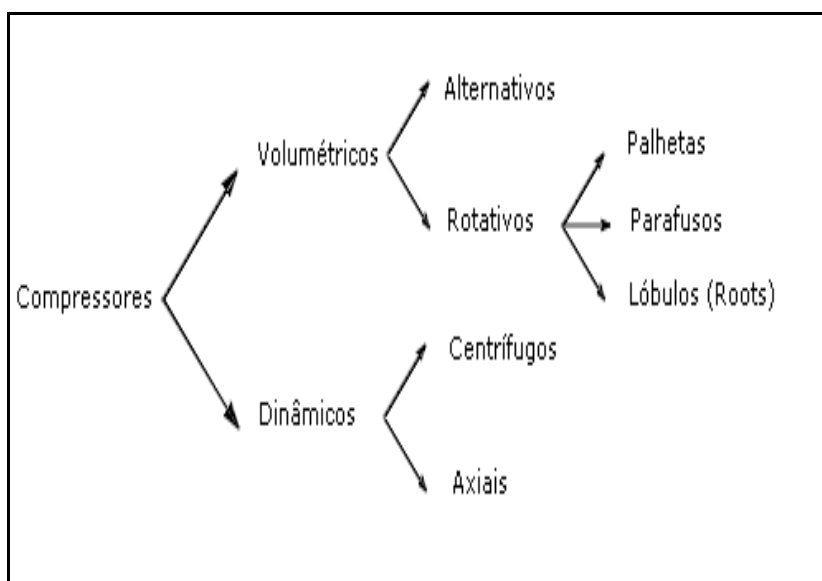
Nos tópicos abaixo estarão sendo apresentados alguns dos equipamentos agregados para produção e distribuição de ar comprimido.

2.8 COMPRESSOR DE AR

Compressores de ar são máquinas destinadas a aumentar a pressão de certo volume de ar, que se encontra nas condições atmosféricas até uma

determinada pressão, exigidas na execução dos trabalhos realizados pelo ar comprimido (PARKER, 2000).

Em relação a compressores industriais, conforme quadro 1 abaixo, cita dois princípios conceptivos, os volumétricos e dinâmicos. Nos compressores volumétricos ou de deslocamento positivo, a elevação de pressão é conseguida com a redução do volume ocupado pelo gás. Na operação dessas máquinas podem ser identificadas diferentes fases, que compõem o ciclo de funcionamento. Inicialmente, certa quantidade de gás é admitida no interior de uma câmara de compressão, que então é cerrada e sofre redução de volume. Finalmente, a câmara é aberta e o gás liberado para consumo, processo esse que é intermitente. Já nos compressores dinâmicos ou turbo-compressores, estes têm dois órgãos principais, o impelidor e o difusor. O impelidor é um órgão rotativo provido de pás que transfere ao gás a energia recebida de um acionador. Essa transferência de energia se faz em parte na forma cinética e em outra parte na forma de entalpia (FIALHO, 2012).



Quadro 1 - Quadro geral de compressores industriais

Fonte: FIALHO (2004)

Em aplicações industriais, normalmente são previstos compressores com grandes reservatórios, pois se necessita atender à grande demanda de

automatismos em diversos pontos, que são interligados por meio de uma rede tubular que possibilita sua distribuição de forma igualitária e sem perdas significativas (FIALHO, 2012).

A seleção a partir de diversos tipos de compressores disponíveis depende da quantidade de ar, qualidade e limpeza, e quão seco o ar deve ser. Existem níveis variáveis destes critérios dependendo do tipo de compressor (FESTO, 2002).



Figura 7 - Compressor de ar

Fonte: Raízen (2015)

Compressor de parafuso duplo: Dois eixos com rosca (rotores) giram em sentidos opostos. O perfil de malha dos dois eixos faz com que o ar flua e então seja comprimido.

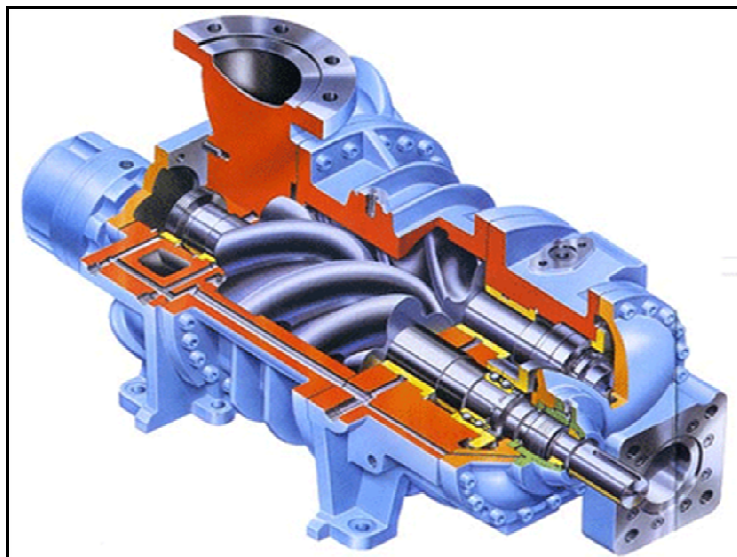


Figura 8 - Unidade geradora de ar compressor de parafuso duplo
Fonte: Filtros Grum (2015)



Figura 9 - Unidade geradora de ar do compressor de parafuso duplo
Fonte: Raízen (2015)

2.9 RESERVATÓRIOS

Um reservatório é configurado como acessório de um compressor, para estabilizar o ar comprimido, conforme figura 10 na página 33. Um reservatório compensa as flutuações de pressão quando o ar comprimido está sendo retirado do sistema. Se a pressão no reservatório cair abaixo de um determinado valor, o compressor irá compensar até que o valor mais alto definido seja atingido novamente. Isso é uma vantagem uma vez que o compressor não necessita operar continuamente. A grande área de superfície do reservatório resfria o ar. Dessa maneira, uma parte da umidade do ar é separada diretamente no reservatório na forma de água, a qual deve ser drenada regularmente por meio de um dreno (FESTO, 2002).

O tamanho do reservatório de ar comprimido depende de:

- Volume de produção do compressor;
- Consumo de ar nas operações realizadas;
- Tamanho da rede (quaisquer necessidades adicionais);
- Tipo de regulagem de ciclo do compressor;
- Queda de pressão permissível na rede de fornecimento.

Os reservatórios de ar comprimido, conforme figura 11 na página 34, devem ser instalados de modo que todos os drenos, conexões e aberturas de inspeção sejam facilmente acessíveis, não podendo, portanto, ser enterrado ou ser instalado em local de difícil acesso (SILVEIRA, 2009).

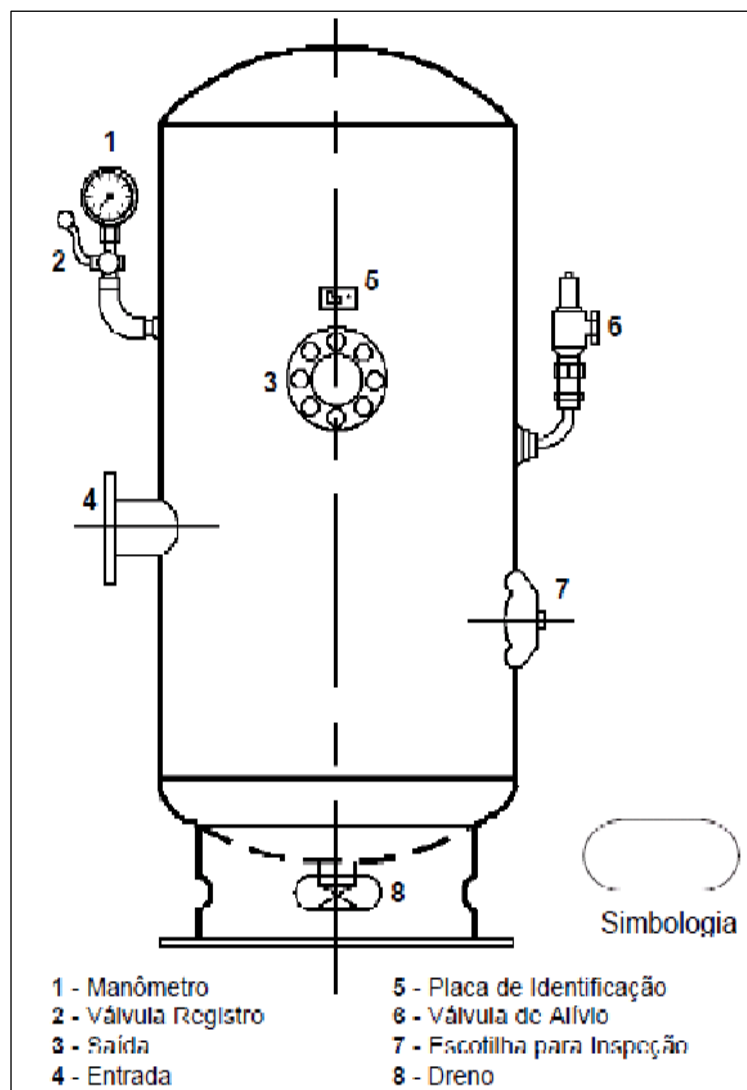


Figura 10 - Reservatório de ar comprimido

Fonte: Parker (2000)



Figura 11 - Reservatório de ar comprimido

Fonte: Raízen (2015)

2.10 SECAGEM

A presença de umidade no ar comprimido é sempre prejudicial para as automatizações pneumáticas, pois causa sérias consequências. É necessário eliminar ou reduzir ao máximo esta umidade. O ideal seria eliminá-la do ar comprimido de modo absoluto, o que é praticamente impossível. Ar seco industrial não é aquele totalmente isento de água; é o ar que, após um processo de desidratação, flui com um conteúdo de umidade residual de tal ordem que possa ser utilizado sem qualquer inconveniente. Com as devidas preparações, consegue-se a distribuição do ar com valor de umidade baixo e tolerável nas aplicações encontradas (PARKER, 2000).

Apresenta três tipos de secagem do ar: por Refrigeração, Adsorção e Absorção (FESTO, 2002).

a) Secagem por Refrigeração.

Consiste em submeter o ar a uma temperatura suficientemente baixa, afim de que a quantidade de água existente seja retirada conforme figura 12 abaixo.

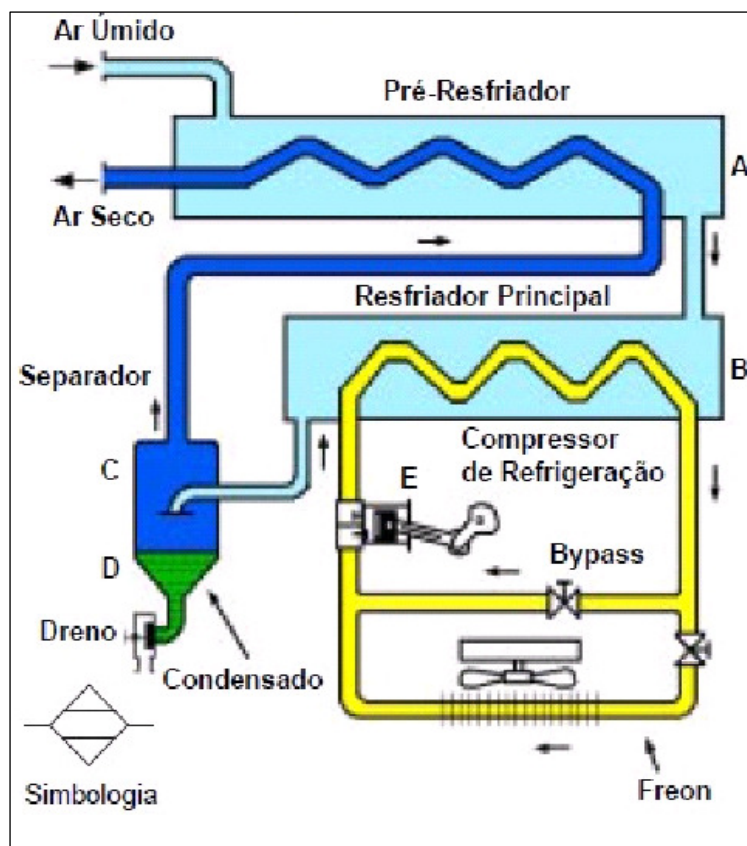


Figura 12 - Secagem por Refrigeração

Fonte: Parker (2000)

b) Secagem por Absorção.

Esse processo é também chamado de processo químico de secagem, pois é conduzido no interior de um reservatório (tanque de pressão) através de uma massa higroscópica, insolúvel ou deliquescente que absorve a umidade do ar, processando-se uma reação química, conforme figura 13 na página 36.

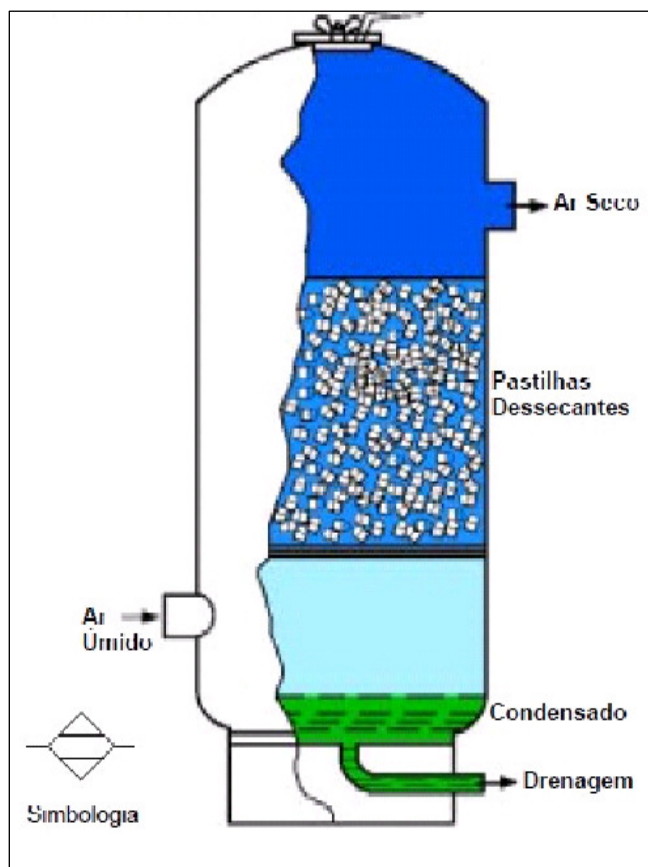


Figura 13 - Secagem por Absorção

Fonte: Parker (2000)

c) Secagem por Adsorção.

É a fixação das moléculas de um adsorvato na superfície de um adsorvente geralmente poroso e granulado, ou seja, é o processo de depositar moléculas na superfície de outra substância, conforme figura 14 na página 37.

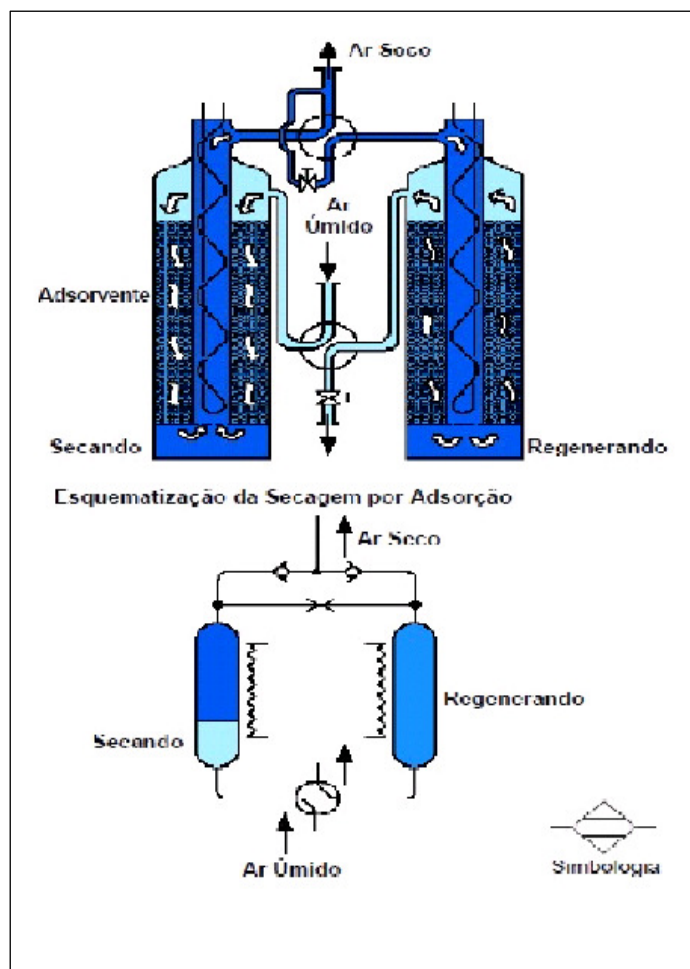


Figura 14 - Secagem por Adsorção

Fonte: Parker (2000)

2.11 UNIDADE DE CONDICIONAMENTO (LUBREFIL)

A unidade de conservação pneumática LUBREFIL, tem por função filtrar e lubrificar o ar, além de possibilitar a regulação da pressão de alimentação necessária ao acionamento do automatismo (FIALHO, 2004).

Após passar por todo o processo de produção, tratamento e distribuição, (PARKER, 2000), explica que o ar comprimido deve sofrer um último condicionamento, antes de ser colocado para trabalhar, a fim de produzir melhores desempenhos. Neste caso, o beneficiamento do ar comprimido consiste no seguinte:

filtragem, regulagem da pressão e introdução de uma certa quantidade de óleo para a lubrificação de todas as partes mecânicas dos componentes pneumáticos.

A utilização desta unidade de serviço é indispensável em qualquer tipo de sistema pneumático, do mais simples ao mais complexo.

Ao mesmo tempo em que permite aos componentes trabalharem em condições favoráveis, prolonga a sua vida útil.

Uma duração prolongada e funcionamento regular de qualquer componente em um circuito dependem, antes de mais nada, do grau de filtragem, da isenção de umidade, da estabilidade da pressão de alimentação do equipamento e da lubrificação das partes móveis.

Isso tudo é literalmente superado quando se aplicam nas instalações dos dispositivos, máquinas, etc., os componentes de tratamento preliminar do ar comprimido após a tomada de ar: Filtro, Válvula Reguladora de Pressão (Regulador) e Lubrificador, que reunidos formam a Unidade de Condicionamento ou Lubrefil.

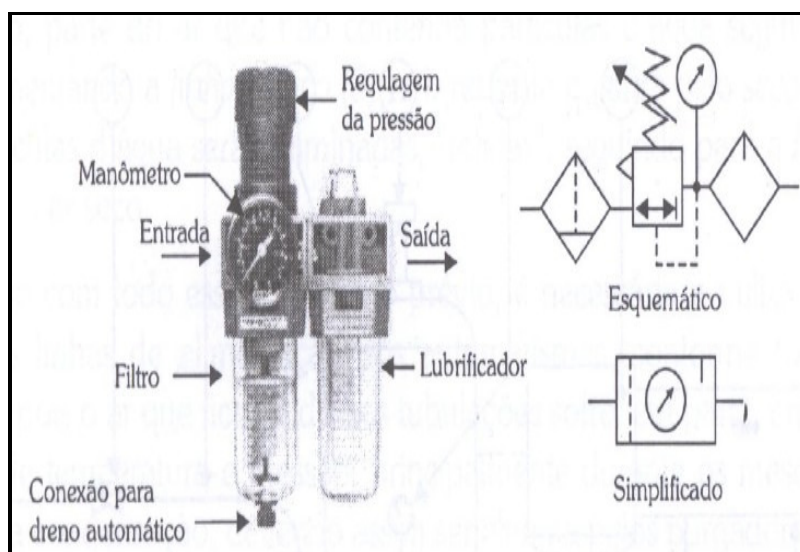


Figura 15 - Unidade de Condicionamento (LUBREFIL)

Fonte: Fialho (2004)



Figura 16 - Unidade LUBREFIL individual para cada centrífuga

Fonte: Raízen (2015)

2.12 VÁLVULAS DE COMANDO

São todas as válvulas que, ao receberem um impulso pneumático, mecânico ou elétrico, permitem que haja fluxo de ar pressurizado para alimentar determinados elementos do automatismo. Também são válvulas de comando, as que permitem controlar o fluxo do ar para os diversos elementos do sistema, mediante ajuste mecânico ou elétrico, as que permitem o fluxo em apenas um sentido, os elementos lógicos, as controladoras de pressão e as temporizadas (FIALHO, 2004).

O termo válvulas pneumáticas como a representação de todos os elementos que servem para orientar os fluxos de ar, impor bloqueios ou controlar sua intensidade de vazão e pressão (SILVEIRA, 2009).

Os cilindros pneumáticos, componentes para máquinas de produção, para desenvolverem suas ações produtivas, devem ser alimentados ou descarregados convenientemente, no instante em que desejarmos, ou de conformidade com o sistema programado (PARKER, 2000).

Portanto, basicamente, de acordo com seu tipo, as válvulas servem para orientar os fluxos de ar, impor bloqueios, controlar suas intensidades de vazão ou pressão.

Para facilidade de estudo, as válvulas pneumáticas foram classificadas nos seguintes grupos:

- Válvulas de Controle Direcional;
- Válvulas de Bloqueio (Anti-Retorno);
- Válvulas de Controle de Fluxo;
- Válvulas de Controle de Pressão.

Cada grupo se refere ao tipo de trabalho a que se destina mais adequadamente.

2.13 VÁLVULAS DE CONTROLE DIRECIONAL

As válvulas de controle direcional têm a função de orientar o caminho que o fluxo de ar comprimido deve seguir, com o intuito de realizar um trabalho proposto (PARKER, 2000).

Silveira (2009), define que as válvulas de controle direcional têm por função orientar a direção que o fluxo de ar deve seguir, a fim de realizar um trabalho proposto. Para caracterizar uma válvula direcional devemos conhecer primeiramente: número de posições, número de vias, tipo de acionamento (comando), tipo de retorno e tipo construtivo da válvula.

Número de posições: É a quantidade de manobras distintas que uma válvula direcional pode executar ou permanecer sob a ação do seu acionamento; são representadas por um retângulo dividido em quadrados.

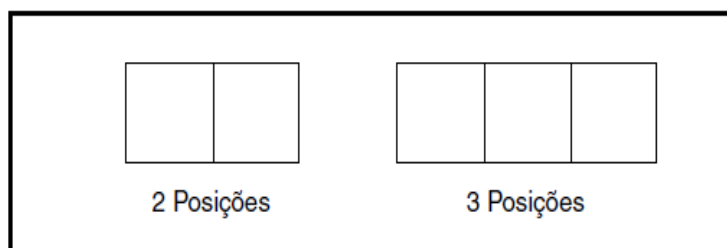


Figura 17 - Simbologia do número de posições de uma válvula de direcional

Fonte: Parker (2005)

Número de vias: É o número de conexões de trabalho que a válvula possui. São consideradas vias a conexão de entrada de pressão, as conexões de utilização e as conexões de escape.

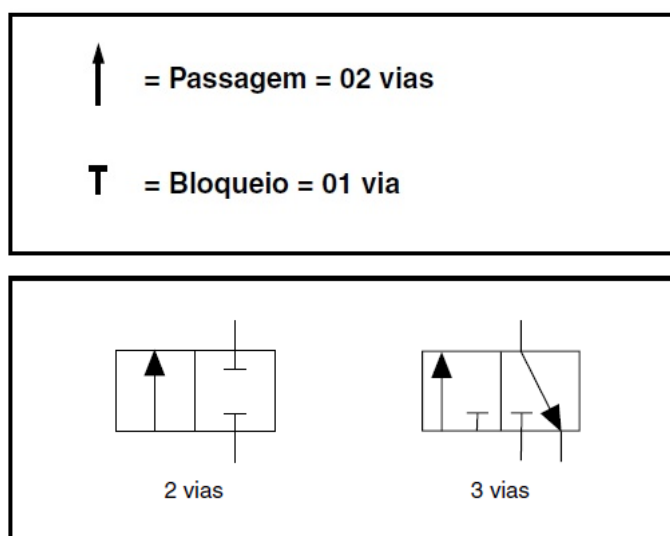


Figura 18 - Simbologia do número de vias de uma válvula direcional

Fonte: Parker (2005)

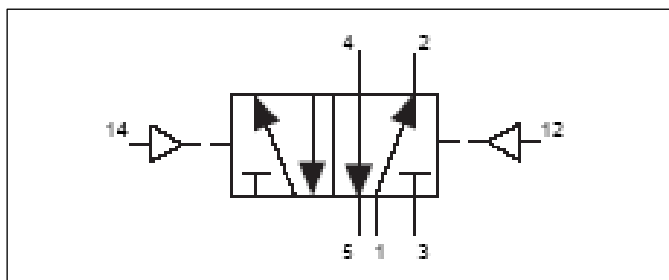


Figura 19 - Válvula Direcional com identificação de orifícios

Fonte: Parker (2000)

Tipos de acionamentos ou comandos:

As válvulas exigem um agente externo ou interno que desloque suas partes internas de uma posição para outra, ou seja, necessita de um agente que altere as direções de fluxo e efetue os bloqueios liberando o escape. Esses acionamentos podem ser musculares, mecânicos, pneumáticos, elétricos combinados ou normatizados, dependendo das necessidades.

Vazão das válvulas: É o volume de fluido que flui pela válvula em uma unidade de tempo (l/min.). A vazão varia entre válvulas que possuem até mesmo a mesma bitola e também dependem do tipo construtivo.

Tipo de comando de retorno das válvulas: As válvulas requerem uma ação para efetuar mudança de posição e outra ação para voltarem ao estado inicial, podendo ser essa ação executada por:

Retornos mecânicos:

Mola: A mola previamente comprimida libera a energia armazenada pela compressão, efetuando o retorno da válvula a posição inicial.

Trava: Mantém a válvula na posição de manobra, pois uma ação faz a válvula retornar à posição inicial.

Retornos elétricos:

A operação das válvulas é efetuada por meio de sinais elétricos, provenientes de chaves fim de curso, pressostatos, temporizadores e etc.

Retornos combinados:

Utiliza a própria energia do ar comprimido para acionar as válvulas, e, é classificado também como servo-piloto, comando prévio e indireto.

2.14 VÁLVULAS DE BLOQUEIO E RETENÇÃO

Válvulas de bloqueio são elementos que em geral bloqueiam a passagem de ar em um sentido, permitindo a passagem livre no sentido oposto. A pressão no lado do bloqueio atua sobre o elemento vedante, permitindo assim, a vedação perfeita da válvula (PARKER, 2000).

Válvulas de retenção impedem completamente a passagem do ar em uma direção, permitindo que o ar passe praticamente livre com a mínima queda de pressão na direção oposta, conforme figura 20 abaixo. O fechamento pode ser efetuado através de cone, esfera, membrana ou placa (PARKER, 2000).

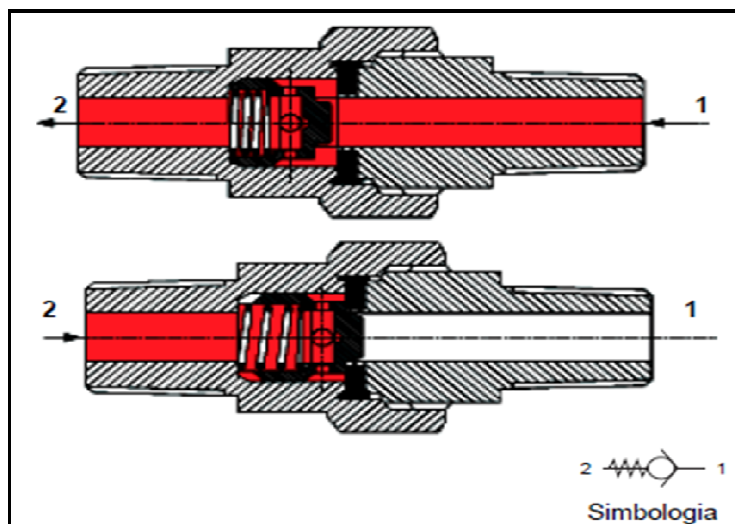


Figura 20 - Válvula de Retenção com mola

Fonte: (Parker (2000))

2.15 VÁLVULAS DE CONTROLE DE FLUXO

As válvulas controladoras de fluxo têm a função de controlar o fluxo de ar que alimenta um determinado componente do circuito, nesse caso, em geral, os atuadores pneumáticos. O fluxo é o volume de fluido que flui num intervalo de

tubulação em uma unidade de tempo, conforme figura 21 abaixo. Normalmente dado em litros por segundo, centímetros cúbicos por segundo ou metros cúbicos por segundo. Controlar, portanto, o volume de fluido na unidade de tempo significa controlar a velocidade, em um atuador pneumático a velocidade é diretamente proporcional ao fluxo, então quanto maior for a velocidade, maior será o fluxo de ar comprimido agindo sobre o atuador (FIALHO, 2012).

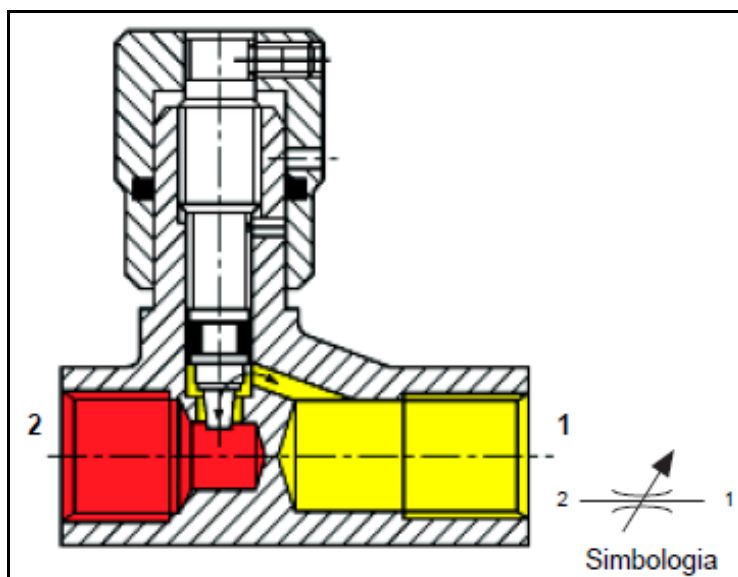


Figura 21 - Válvula de Controle de Fluxo Bidirecional

Fonte: Parker (2000)

2.16 VÁLVULAS DE CONTROLE DE PRESSÃO

São válvulas que influenciam ou sofrem influência em relação a uma determinada intensidade de pressão. Seu funcionamento é definido pelo autor (PAVANI, 2011), como sendo uma válvula que limita a pressão de um reservatório, compressor ou linha de pressão, evitando a sua elevação além do ponto pré-determinado, é ajustado através de mola calibrada que é comprimida, por parafuso, transmitindo sua força sobre um êmbolo e mantendo-o contra a sede.

Quando ocorre um aumento de pressão no sistema, o êmbolo é deslocado de sua sede, sendo a mola comprimida e permitindo contato da parte pressurizada com a atmosfera, através de uma série de orifícios por onde é expulso um volume de ar, mantendo a pressão estável.

As válvulas de controle de pressão, conforme figura 22 abaixo, têm por função influenciar ou serem influenciadas pela intensidade de pressão de um sistema. Consistem em válvulas de alívio, válvulas reguladoras de pressão com escape, Válvulas reguladora de pressão sem escape e Válvulas de sequência (PARKER, (2000)).

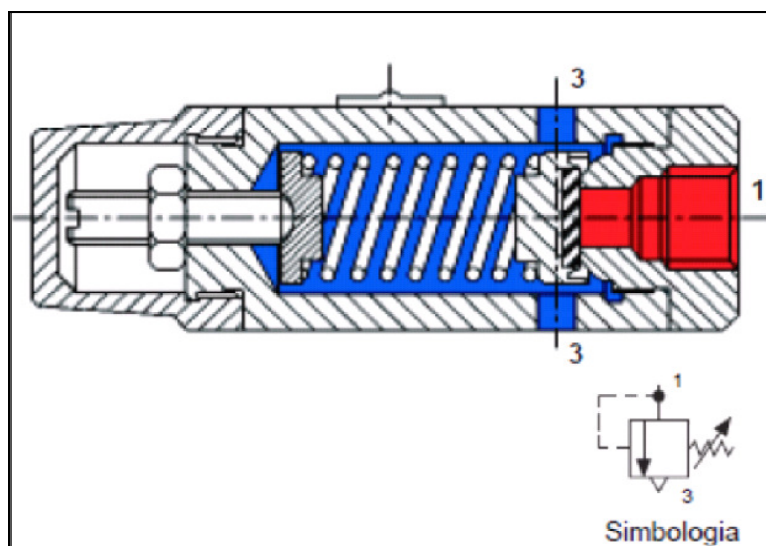


Figura 22 - Válvula de Controle de Pressão

Fonte: Parker (2000)

2.17 MONTAGEM DE VÁLVULAS PENUMÁTICAS EM BLOCO

A montagem de bloco manifold, são disponíveis em duas versões: sobre trilho normatizado DIN ou com fixação direta. A sobre trilho foi projetada para facilitar a instalação e manutenção, reduzindo custo. As válvulas possuem um sistema de encaixe nos tirantes, concedendo a montagem e desmontagem dos blocos de válvulas com maior rapidez, conforme figura 23 abaixo. O corpo da válvula é

intercambiável com os dois tipos de acionamentos (pneumático ou elétrico), oportunizando grande versatilidade ao projeto (Parker, 2005).



Figura 23 - Montagem de um Bloco Manifold com Válvulas direcionais
Fonte: Parker (2005)



Figura 24 - Comando de Válvulas Direcionais em Bloco
Fonte: Raízen (2015)

2.18 ATUADORES PNEUMÁTICOS

Os atuadores pneumáticos são elementos mecânicos que, por meio de movimentos lineares ou rotativos transformam a energia cinética gerada pelo ar pressurizado e em expansão em energia mecânica, fenômeno esse que produz trabalho. Os atuadores são conhecidos normalmente como cilindros pneumáticos, constituídos por um tubo cilíndrico que em ambas as extremidades contém uma tampa para fechamento (MANFRINATO, 2009).

Os atuadores são componentes que convertem energia elétrica, hidráulica ou pneumática, em potência mecânica. Portanto, é através de sistemas de transmissão que a potência mecânica gerada pelos atuadores é enviada aos elos para que os mesmos se movimentem. Em vista disso, nesse projeto dar-se-ia ênfase aos atuadores pneumáticos, pois o foco deste estudo concentra-se em uma prensa pneumática (ROMANO, 2009).

São elementos mecânicos que por meio de movimentos lineares ou rotativos, transformam em energia pneumática a energia cinética gerada pelo ar pressurizado e em expansão, produzindo trabalho, ou seja, são elementos responsáveis pela execução do trabalho realizado pelo ar comprimido (FIALHO, 2012).

Os atuadores pneumáticos são utilizados em operações industriais que atuam com movimentação de cargas entre posições bem definidas limitadas por batentes mecânicos, o que caracteriza o movimento ponto-a-ponto.

Para um correto funcionamento dos atuadores, convém a instalação de unidades de preparação (filtro, dreno, regulador de pressão com manômetro e etc.) no circuito de ar comprimido antes da entrada deste nas válvulas direcionais.

Neste contexto os atuadores pneumáticos estão divididos em três grupos:

A) Atuadores Lineares:

São constituídos de componentes que convertem a energia pneumática em movimento linear ou angular. São representados pelos cilindros pneumáticos, e, dependem da natureza dos movimentos, velocidade, força, curso. Eles são de simples e dupla ação conforme figura 25 na página 48.

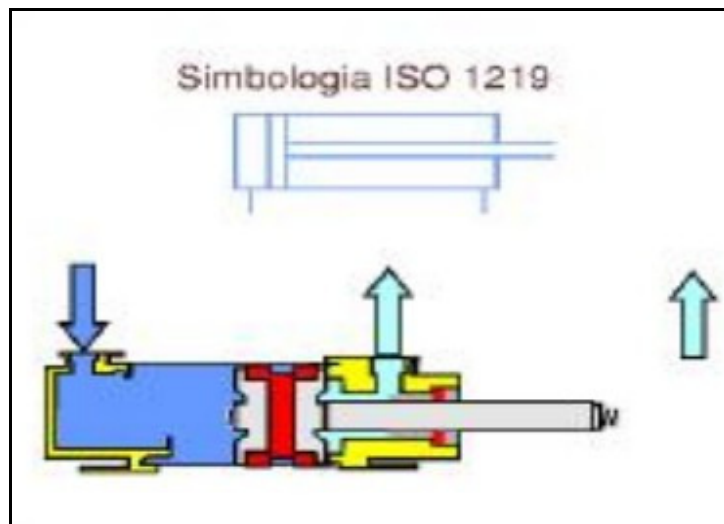


Figura 25 - Atuador Pneumático de Dupla Ação
Fonte: Catálogo Festo (1982)



Figura 26 - Atuador Linear de Dupla Ação
Fonte: Raízen (2015)

B) Atuadores Rotativos:

Convertem energia pneumática em energia mecânica, através de movimento torsor contínuo conforme figura 27 abaixo. O giro limitado e motores.



Figura 27 - Atuador Rotativo
Fonte: Catálogo Festo (1982)

C) Atuadores Oscilantes:

Convertem energia pneumática em energia mecânica, através de momento torsor limitado por um determinado número de graus.

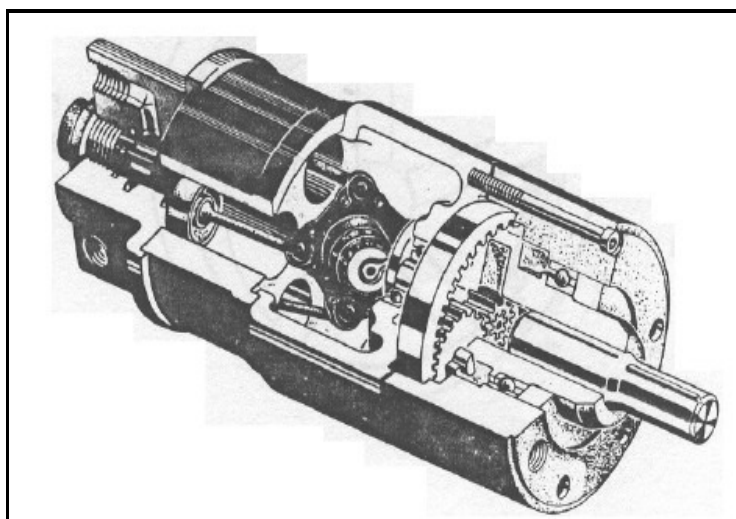


Figura 28 - Motor de pistões axiais por disco oscilante
Fonte: Festo (1977)

3 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

As partes compreendidas das centrifugas automáticas açúcar FZ 1000, objeto desse trabalho são: Motor, Cabeçote de acionamento, Cesto, Abertura e Fechamento de fundo, Descarregador de açúcar, Válvula de carga, Sistema de lavagem, Controlador de espessura de camada e Monitor.

3.1 MOTOR ELÉTRICO

Consiste de um motor elétrico de indução, trifásico, multipolar com comutação de polos e rotor especial tipo gaiola, consumo de 200 KVA – Alimentação 440 volts – 60 Hz, com freio regenerativo e ventilador com acionamento independente do motor conforme figura 29 na página 51:



Figura 29 - Motor da Centrífuga Automática
Fonte: Raízen (2015)

3.2 CABEÇOTE DE ACIONAMENTO

Construído em chapas eletricamente soldadas com dispositivo de frenagem automático e manual.

A caixa de mancais é construída em aço forjado SAE – 1045, com um par de rolamentos de contato angular e um rolamento de rolos cilíndricos, com vedação superior por labirintos e inferior por retentores conforme figura 30 abaixo e figura 31 na página 52.



Figura 30 - Cabeçote de Acionamento da Centrífuga Automática

Fonte: Raízen (2015)



Figura 31 - Acoplamento do Cabeçote de Acionamento

Fonte: Raízen (2015)

3.3 EIXO PRINCIPAL E CESTO

O eixo principal é em aço SAE – 1045, forjado e normalizado. Na parte superior é localizado um dispositivo que em caso de eventual oscilação, conforme figura 32 abaixo, faz com que a centrífuga seja frenada e no mesmo instante acionado o dispositivo de alarme. É construído em chapas de ferro fundido revestido com pintura epóxi ou em aço inox perfurado. Possui a extremidade inferior raiada onde é fixado o eixo de acionamento, nos cestos são fixadas as contratela, que são de latão ou inox, tendo a tela furações de 0,5 mm de diâmetro e a contratela 0,5 mm de lado. O cesto com fundo aberto, conforme figura 33 na página 54, possuindo 1270 mm de diâmetro e 1000 mm de altura, com capacidade de 1000 kg de massa cozida por ciclo. Sua construção é em aço liga especial de alta resistência.



Figura 32 - Eixo principal e cesto

Fonte: Raízen (2015)



Figura 33 - Eixo principal, cesto e tela

Fonte: Raízen (2015)

3.4 ABERTURA E FECHAMENTO DE FUNDO

Esse sistema tem a finalidade de abrir e fechar o fundo do cesto da Centrífuga automática. É composto de um cone de fechamento em aço inoxidável que se abre para baixo para descarregamento do açúcar, e fechando o fundo do cesto, evita respingos de massa sobre o açúcar conforme figura 35 na página 56. O conjunto é acionado através de dois cilindros pneumáticos ligados a uma bucha bipartida de desgaste feita de bronze presa no mancal ligado a um tubo distribuidor de massa fixado no cone conforme figura 34 abaixo.



Figura 34 - Sistema Pneumático de Abertura e Fechamento de Fundo
Fonte: Raízen (2015)



Figura 35 - Eixo para Abertura e Fechamento de Fundo

Fonte: Raízen (2015)

3.5 DESCARREGADOR DE AÇÚCAR

Consiste em um Descarregador Tipo pneumático, incorporado ao próprio eixo e quadrado conforme figura 36 abaixo. Dispõe de válvulas reguladoras de fluxo para todos os movimentos, garantindo perfeito ajuste de velocidades. Permite regulagem da folga dos casquilhos sem desmontagem completa. Raspadeira de descarga com ângulo de ataque positivo, apresenta sentido de rotação contrário ao do cesto, conferindo grande segurança à operação de descarga do açúcar no transportador.



Figura 36 - Descarregador pneumático de açúcar

Fonte: Raízen (2015)

3.6. VÁLVULA DE CARGA

Composta de uma válvula borboleta com disco em aço inoxidável, vedação em EPDM e atuador pneumático, permitindo um rápido carregamento do cesto em função de sua grande área de passagem e baixa perda de carga conforme figura 37 abaixo. O fluxo de massa é dirigido ao centro do cesto, sobre um disco defletor em aço inoxidável, que distribui a massa uniformemente sobre o costado do cesto.



Figura 37 - Válvula automática para carregar o cesto

Fonte: Raízen (2015)

3.7 SISTEMA DE LAVAGEM COM ÁGUA

Composto de um tubo de aço inoxidável montado internamente à máquina, válvula solenóide, filtro e bicos de lavagem conforme figura 38 na página 58. Este sistema tem por finalidade distribuir um pequeno volume de água sobre a camada de açúcar em centrifugação, retirando o excesso de mel que envolve os cristais e limpeza da tela fixada no cesto.



Figura 38 - Sistema de lavagem do açúcar e tela

Fonte: Raízen (2015)

3.8 CONTROLADOR DE ESPESSURA DE CAMADA

Esse dispositivo tem por finalidade controlar o volume de massa admitido ao cesto durante o procedimento de carregamento conforme figura 39 na página 59, tornando o ciclo automático e independente das variações de viscosidade da massa. Após o seu acionamento, um sensor indutivo envia um sinal eletrônico ao CLP, fechando a válvula de carga e acelerando a máquina.



Figura 39 - Controlador de espessura de camada

Fonte: Raízen (2015)

3.9 MONITOR

Construído em duas partes com chapas de aço carbono soldado, tendo na parte superior o duto de alimentação e serve de base para fixação do descarregador de açúcar, tubo de alimentação de massa, sistema de lavagem do cesto, etc.

Na parte inferior é acoplada a saída dupla de méis, onde se coleta todo o mel centrifugado e direcioná-lo à saída de mel. É comandada por cilindro pneumático, onde a separação de mel é realizada automaticamente conforme figura 40 na página 60.



Figura 40 - Monitor da Centrifuga Automática

Fonte: Raízen (2015)

4 METODOLOGIA

Proposta: Adaptar dois atuadores pneumáticos centralizados e ligados à uma bucha bipartida que tem a função de abrir e fechar o fundo do cesto. Na Figura 41 abaixo mostra como era o antigo sistema de acionamento, composto de um pistão ligado a um garfo que abria e fechava o fundo do cesto.



Figura 41 - Acionamento de Abertura e Fechamento de Fundo antigo

Fonte: Raízen (2015)

Depois de verificado o dispositivo antigo de acionamento de abertura e fechamento de fundo da máquina, a proposta de pneumática foi realizada:



Figura 42 - Acionamento de Abertura e Fechamento de Fundo atual
Fonte: Raízen (2015)



Figura 43 - Sistema de Acionamento aberto
Fonte: Raízen (2015)

4.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS

Para a realização do dimensionamento proposto utilizou-se como procedimentos metodológicos de pesquisa os seguintes passos:

- Analisar o embasamento teórico apropriado através dos conceitos necessários para dimensionar um sistema pneumático;
- Conhecer as equações necessárias para o desenvolvimento do dimensionamento dos atuadores;
- Ir a campo verificar o funcionamento da máquina;
- Realizar os cálculos para o dimensionamento através da definição dos locais para a adaptação dos atuadores;
- Definir os componentes pneumáticos necessários por meio de catálogos dos fabricantes disponíveis;
- Fazer uma análise dos resultados encontrados.

Os métodos utilizados para dimensionamento do projeto foram elaborados por Fialho (2012), que podem ser verificados a seguir.

4.2 DIMENSIONAMENTO DE ATUADORES PNEUMÁTICOS LINEARES COMERCIAIS

O dimensionamento dos atuadores para especificação final em catálogos comerciais de fabricantes e revendedores foi realizado por meio de uma análise dos esforços envolvidos, amplitude de deslocamento e tipo de montagem. Os atuadores pneumáticos lineares, em sua grande maioria de aplicações, ampliam seus esforços durante a fase de expansão da haste. Os movimentos de expansão ou retração da haste com aplicação de força estão presentes as forças de atrito. No caso do

dimensionamento do atuador, se faz necessário definir a força de projeto (F_p) requerida para efetuar a movimentação da carga. No princípio do movimento, além da força necessária à aplicação desejada, existe a força de atrito estático e ao longo do movimento há a força de atrito cinético que não apenas agem externamente, mas também internamente no atuador. Os coeficientes de atrito, geradores dessas forças, se alteram conforme a aplicação da carga, a natureza dos materiais e seu acabamento, bem como a velocidade de deslocamento e o tipo de lubrificação. Assim, ao calcular a força de projeto necessária à operação, deve-se corrigi-la multiplicando-a por um fator de correção ϕ , conforme apresentado no Quadro 2, a fim de obter a real força de avanço ou retorno, e com ela, juntamente com a pressão de trabalho, determinar o mínimo diâmetro necessário ao atuador.

| Velocidade de deslocamento da haste do atuador | Exemplo | Fator de correção ϕ |
|--|------------------------|--------------------------|
| Lenta e carga aplicada somente no fim do curso | Operação de rebitagem | 1,25 |
| Lenta e carga aplicada em todo o desenvolvimento do curso | Talha pneumática | 1,35 |
| Rápida com carga aplicada somente no fim de curso | Operação de estampagem | 1,35 |
| Rápida com carga aplicada em todo desenvolvimento do curso | Deslocamento de mesas | 1,5 |
| Situações gerais não descritas anteriormente | - | 1,25 |

Quadro 2 - Fatores de correção de força

Fonte: Fialho (2012)

O diâmetro do atuador é estabelecido em função da força de avanço F_a , que é a força de projeto (F_p) corrigida pelo fator ϕ , conforme quadro 2 acima. Essa força de projeto é representada pela unidade kp , que equivale a $9,81N$ ($1kp=9,81N$) e é igual a $1kgf$. Também é determinado através da pressão de trabalho, P_t (normalmente $6 Kp/cm^2$, em que $1kp/cm^2= 0,981bar$) que equivale a $1 kgf/cm^2$. Esse diâmetro interno do cilindro que é conseguido da equação da área do pistão, para o

caso de força aplicada durante a fase de avanço. Se, no entanto, a força for aplicada durante a fase de retorno do atuador, a variável A_p na equação deve ser mudada pela variável A_c (área da coroa).

(1)

$$D_p = 2 \sqrt{\frac{A_p}{\pi}}$$

Lembrando a equação da pressão em que:

(2)

$$P_t = \frac{F_a}{A_p}$$

Isolando a variável A_p e substituindo-a em (1.1), temos:

(3)

$$D_p = 2 \sqrt{\frac{F_a}{\pi \cdot P_t}}$$

Lembrando ainda que:

(4)

$$F_a = F_p \cdot \varphi$$

Substituindo em (3), teremos que a mínima dimensão de diâmetro à ser utilizado será dada por:

(5)

$$D_p = 2 \sqrt{\frac{F_p \cdot \varphi}{\pi \cdot P_t}}$$

Em que:

- D_p – Mínimo diâmetro aceitável do pistão (cm);
- F_p – Força de projeto, força necessária para execução da operação (Kp);
- φ - Fator de correção da força do projeto;
- P_t – Pressão de trabalho (Kp/cm²).

Calculando o diâmetro do pistão e conhecidas as demais necessidades referentes ao tipo fixação, curso etc., é possível procurar nos catálogos dos fabricantes um atuador pneumático que tenha diâmetro no mínimo igual ou um pouco superior ao calculado, caso não exista um comercial de diâmetro igual ao calculado. Desse modo: Diâmetro comercial \geq Diâmetro calculado.

4.3 REDE DE AR QUE ABASTECE AS CENTRÍFUGAS AUTOMÁTICAS DE AÇÚCAR

O sistema de fornecimento de ar da empresa, consiste de 8 compressores de parafusos duplos que direcionam o ar, depois de tratado para diversas áreas da usina. O fornecimento fica entre 6,0 bar à 7,0 bar. Os sistemas pneumáticos das centrífugas trabalham com pressão entre 6,5 e 7,0 bar.

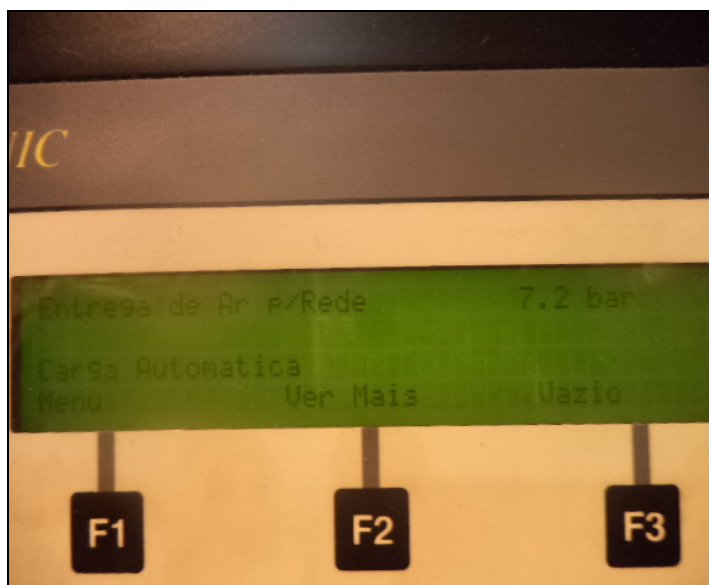


Figura 44 - Painel de controle do compressor
Fonte: Raízen (2015)



Figura 45 - Manômetro na linha que fornece ar para as centrífugas
Fonte: Raízen (2015)

4.4 DIMENSIONAMENTO DOS ATUADORES PNEUMÁTICOS

Depois de realizada a análise de todos os componentes, encontra-se um valor ao equivalente à 250 kgf, que se refere à força de trabalho que o dispositivo antigo de acionamento para abertura e fechamento de fundo utilizava. Os dois atuadores que foram adaptados foram calculados para suportar uma operação de 125 kgf.

Para a realização do cálculo de dimensionamento avaliou-se que a velocidade de deslocamento dos atuadores e o resultado encontrado, conforme quadro 2, que seria de 1,5 correspondentes a situações gerais de trabalho.

A pressão de trabalho indicada pela linha de ar, corresponde a 7 kgf/cm². Através dos dados obtidos, podemos afirmar que:

- $F_p = 125 \text{ kgf}$
- $\varphi = 1,5$
- $P_t = 7 \text{ kgf/cm}^2$

Solução:

$$D_p = 2 \cdot \sqrt{\frac{F_p \cdot \varphi}{\pi \cdot P_t}} \quad D_p = 2 \cdot \sqrt{\frac{125 \cdot 1,5}{\pi \cdot 7}}$$

$$D_p = 6 \text{ cm} = \mathbf{60 \text{ mm.}}$$

O diâmetro do atuador comercial mais próximo encontrado é de 63,5 mm, conforme mostra a Tabela 1 na página 70:

Tabela 1 - Curso do cilindro de acordo com o diâmetro

| Diâmetro do Cilindro | Curso |
|-----------------------------|--------------------|
| 50.8 mm (2") | 0 a 1500 mm |
| 63.5 mm (2.1/2") | 0 a 1500 mm |
| 82.6 mm (3.1/4") | 0 a 2000 mm |
| 101.6 mm (4") | 0 a 2000 mm |
| 111,76 (4.13/32") | 0 a 2000 mm |
| 127.00 mm (5") | 0 a 2000 mm |
| 152.4 mm (6") | 0 a 2000mm |

Fonte: Parker (2008)

4.5 FLANGE SUPERIOR PARA FIXAÇÃO DO PISTÃO

O flange superior de fixação do pistão é fixado na parte inferior do cabeçote e tem como finalidade fixar os pistões na vertical, aonde o flange a ser utilizado é bipartida com 6 furos de 1/2" para parafusos M12 mm conforme figura 46 abaixo.



Figura 46 - Flange superior fixado no cabeçote

Fonte: Raízen (2015)

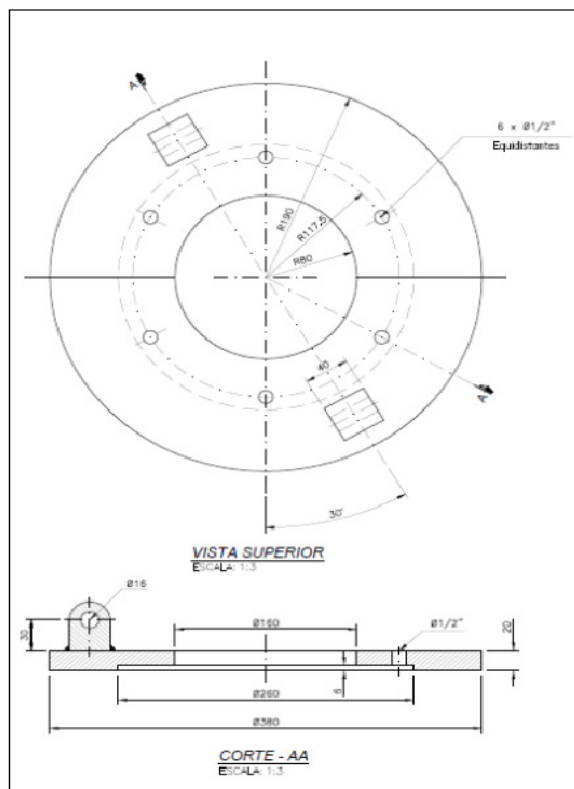


Figura 47 - Desenho flange superior

Fonte: (RAÍZEN, 2015)

4.6 SUPORTE SUPERIOR E PISTÕES

O suporte superior é fixado com um pino junto ao flange superior e tem como finalidade de acionar o mecanismo, aonde os dois pistões Parker DIN 63,5 mm x 150 mm juntos ao suporte superior conforme figura 48 na página 71.



Figura 48 - Suporte superior
Fonte: Raízen (2015)

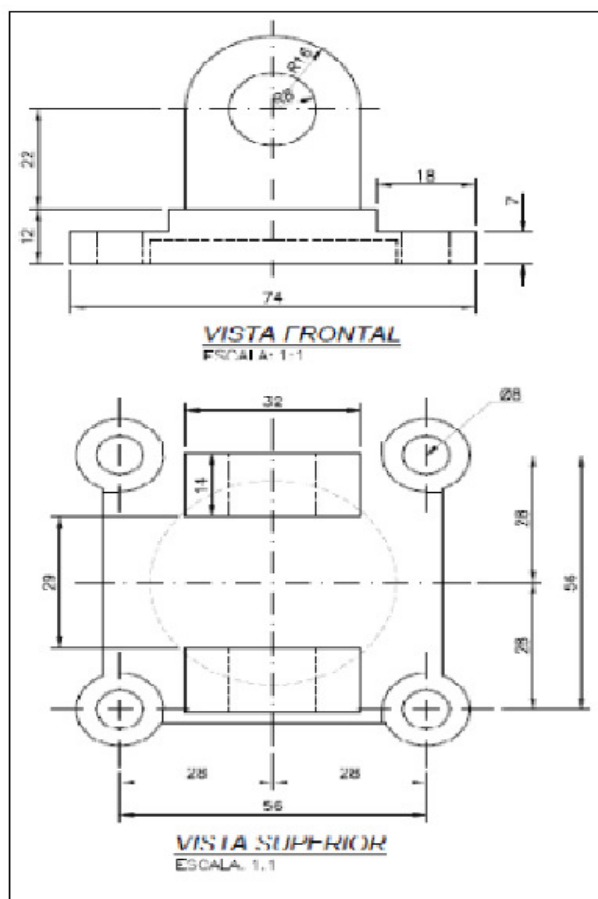


Figura 49 - Desenho do suporte superior
Fonte: Raízen (2015)

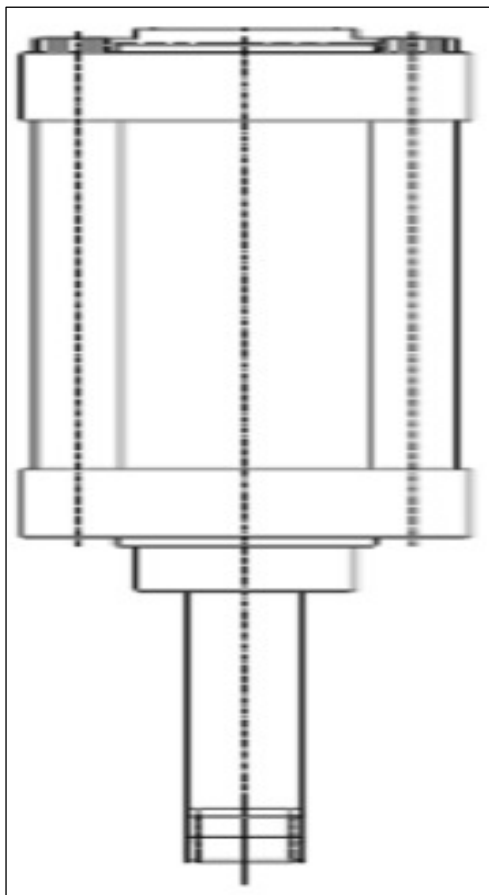


Figura 50 - Desenho do cilindro pneumático parker DIN 63,5 mm x 150mm

Fonte: Raízen (2015)

4.7 SUPORTE SUPERIOR

Esses suportes inferiores são fabricados de aço SAE 1020 conforme figura 51 na página 73, e têm como finalidade fixar os pistões na bucha bipartida de desgaste na parte inferior do sistema.



Figura 51 - Suporte Inferior de fixação dos pistões
Fonte: Raízen (2015)

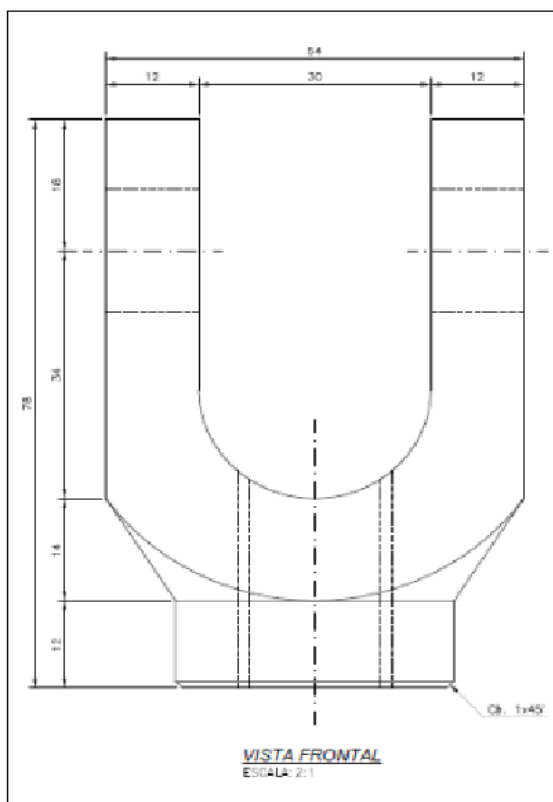


Figura 52 - Suporte inferior vista frontal
Fonte: Raízen (2015)

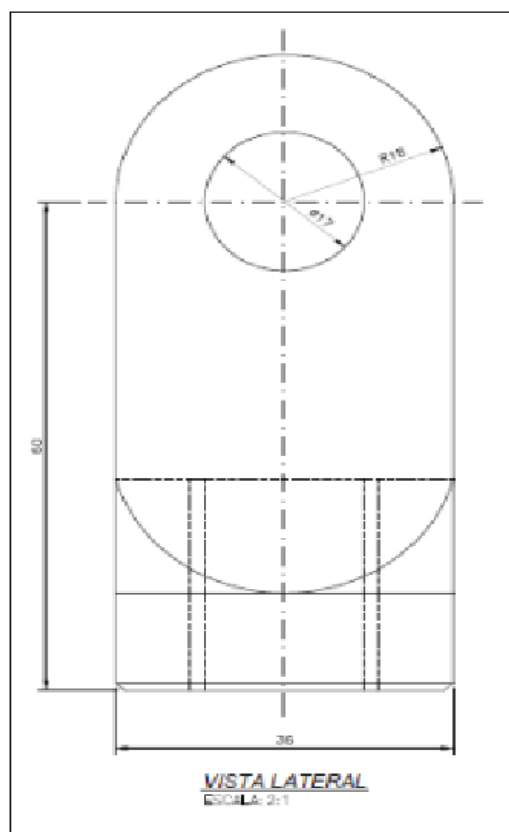


Figura 53 - Suporte inferior vista lateral
Fonte: Raízen (2015)

4.8 PINOS DE TRAVAMENTO

Os pinos são construídos em aço carbono SAE-1020 conforme figura 54 na página 75, tem a finalidade de prender o suporte inferior junto à bucha de desgaste bipartida.



Figura 54 - Pino de Travamento

Fonte: Raízen (2015)

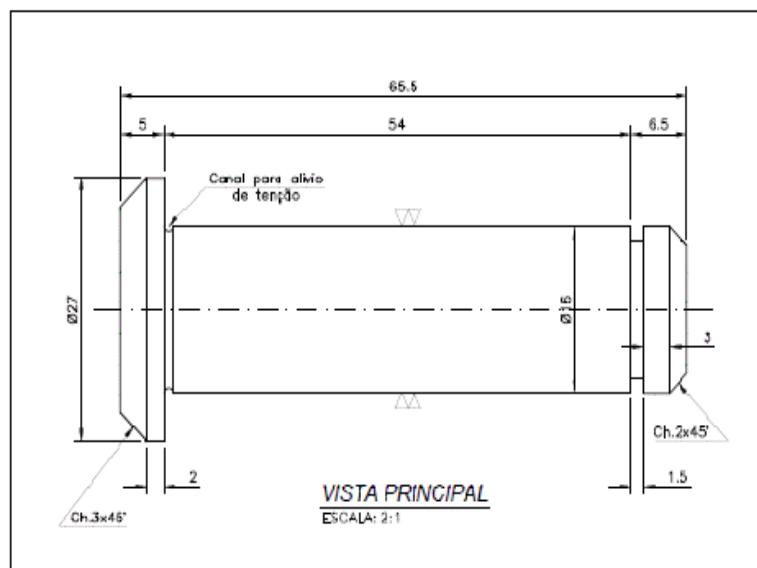


Figura 55 - Desenho do Pino de Travamento

Fonte: Raízen (2015)

4.9 BUCHA DE DESGASTE BIPARTIDA

Essa bucha de desgaste bipartida é composta de aço carbono SAE 1020 na parte externa e na parte interna uma bucha de bronze conforme figura 56 abaixo, fixados no mancal do eixo da máquina, e quando acionados os pistões esses componentes têm como finalidade de abrir e fechar o fundo do cesto.



Figura 56 - Bucha de desgaste bipartida

Fonte: Raízen (2015)

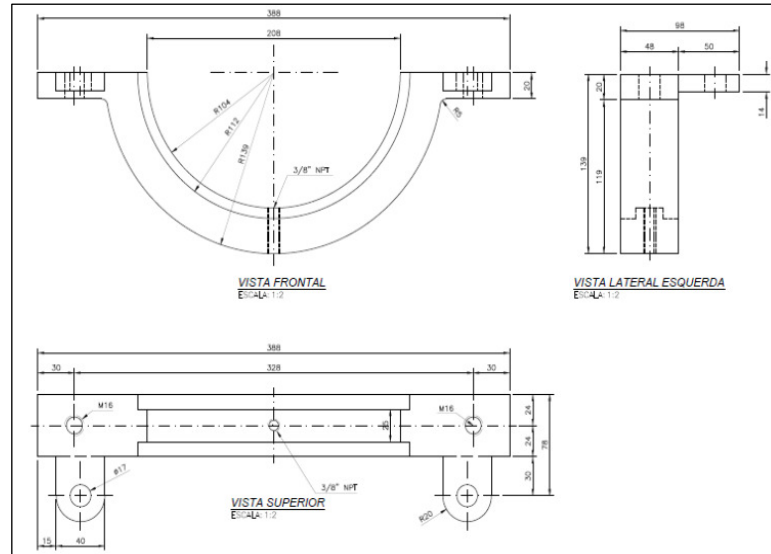


Figura 57 - Desenho da bucha bipartida de desgaste

Fonte: Raízen (2015)

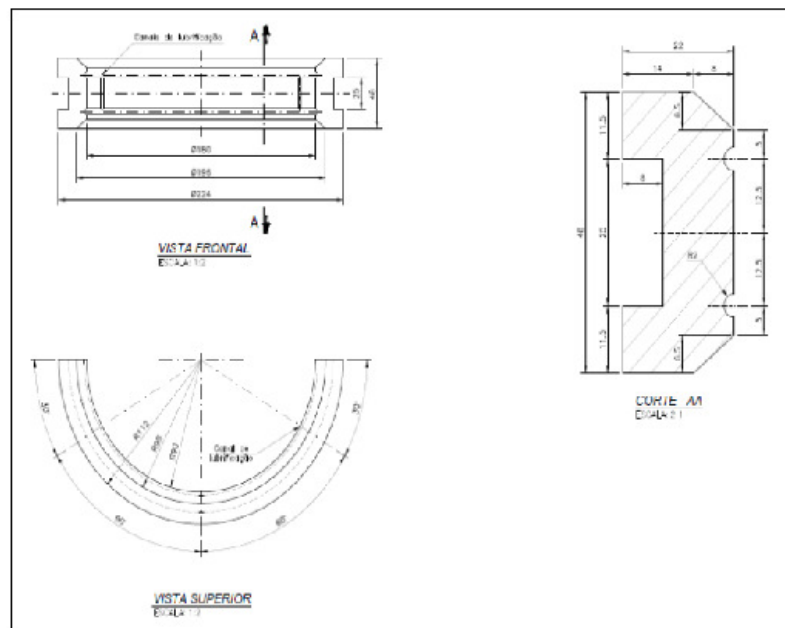


Figura 58 - Desenho da bucha bipartida de bronze

Fonte: Raízen (2015)

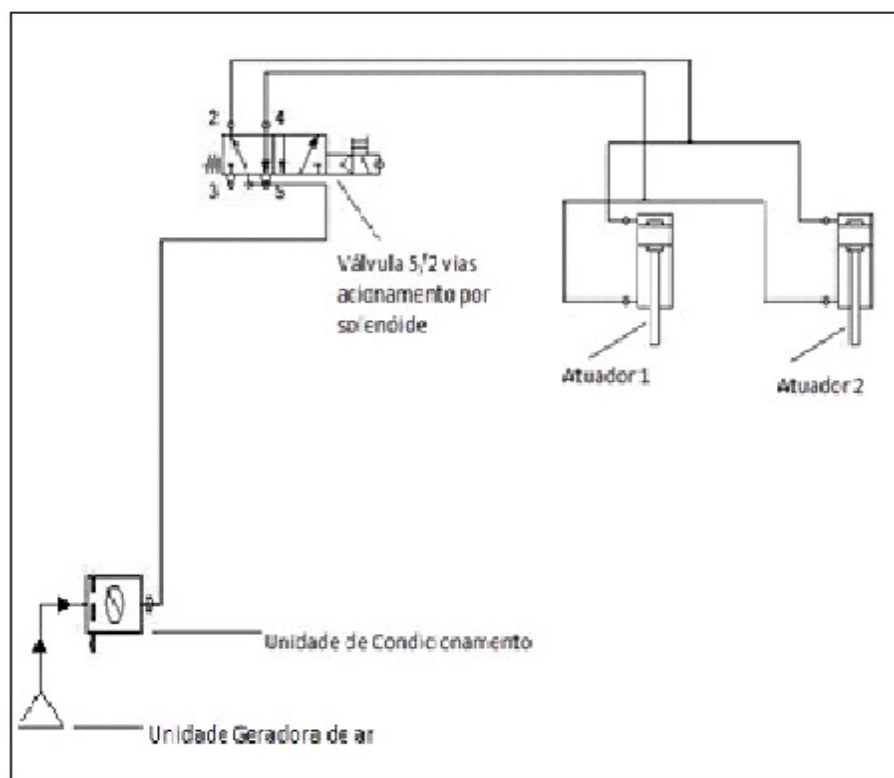


Figura 60 - Desenho do circuito pneumático
Fonte: Raízen (2015)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A metodologia adotada é composta da análise das necessidades do problema apresentado em termos de disponibilidade e desempenho das Centrifugas de açúcar, sendo da concepção do dispositivo baseados em cálculos e parâmetros requeridos para um bom funcionamento dos componentes e que a partir dessa especificação de componentes para atender a disponibilidade no mercado.

Realizou-se um comparativo para entender a importância de investir em modernização e melhoria de máquinas e ferramentas no setor de manutenção. Além de reduzir o tempo de manutenção, e o principal ganho é na ergonomia dos funcionários.

Com a utilização do Dispositivo de Acionamento para Abertura e Fechamento de fundo das Centrífugas Automáticas de Açúcar modelo FZ 1000 reduziu significativamente os problemas e os custos, como podemos observar nos gráficos 1 e 2 na página 80, os problemas que ocorriam anteriormente obtivemos melhoras para os desempenhos dos equipamentos, com isso, podemos observar no gráfico 3 na página 81 que deixou-se de gastar R\$ 125.305,13 com manutenção num período de Safra consideravelmente, o novo dispositivo tende a ter mais confiabilidade e segurança na operação e manutenção, uma vez que, o equipamento conta com uma grande praticidade de movimentos e segurança para a operação e os executores da manutenção.

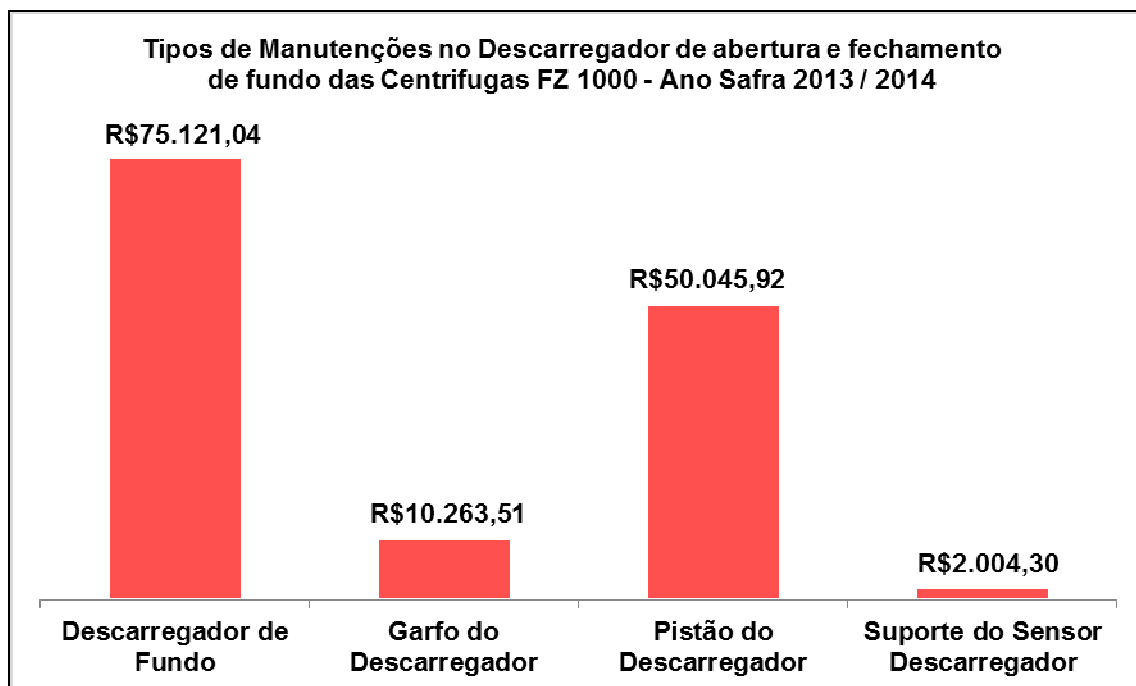


Gráfico 1 - Gráfico de valores antes da melhoria do Dispositivo

Fonte: PCM, Raízen (2014)

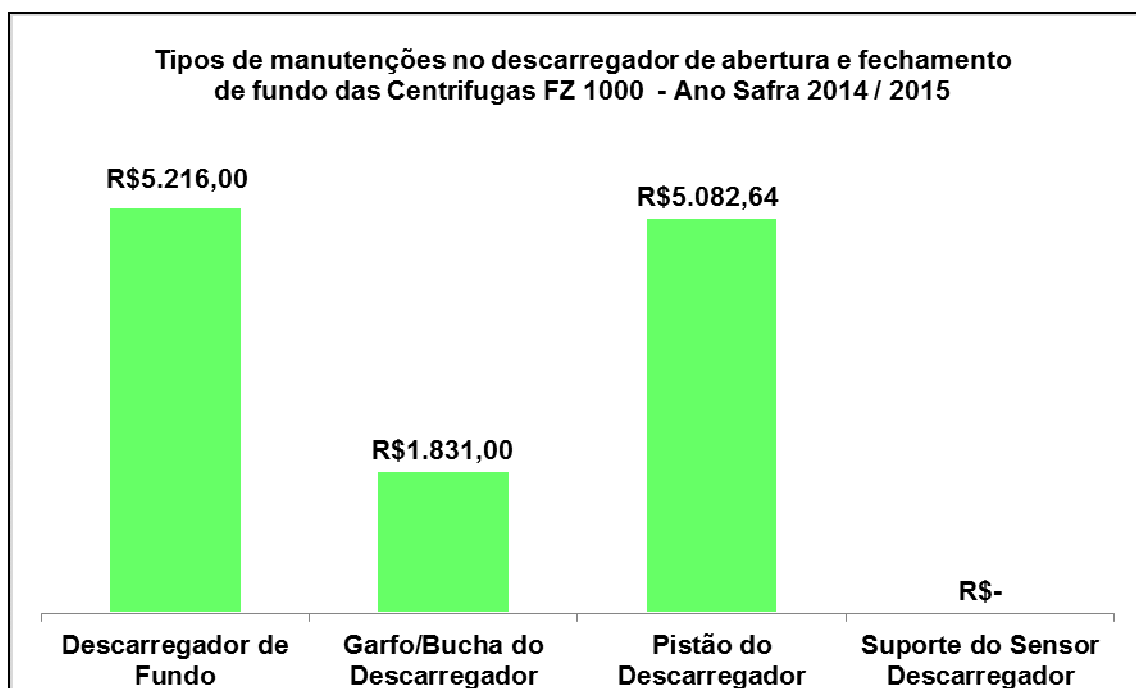


Gráfico 2: Gráfico de valores depois da melhoria do Dispositivo

Fonte: PCM, Raízen (2015)

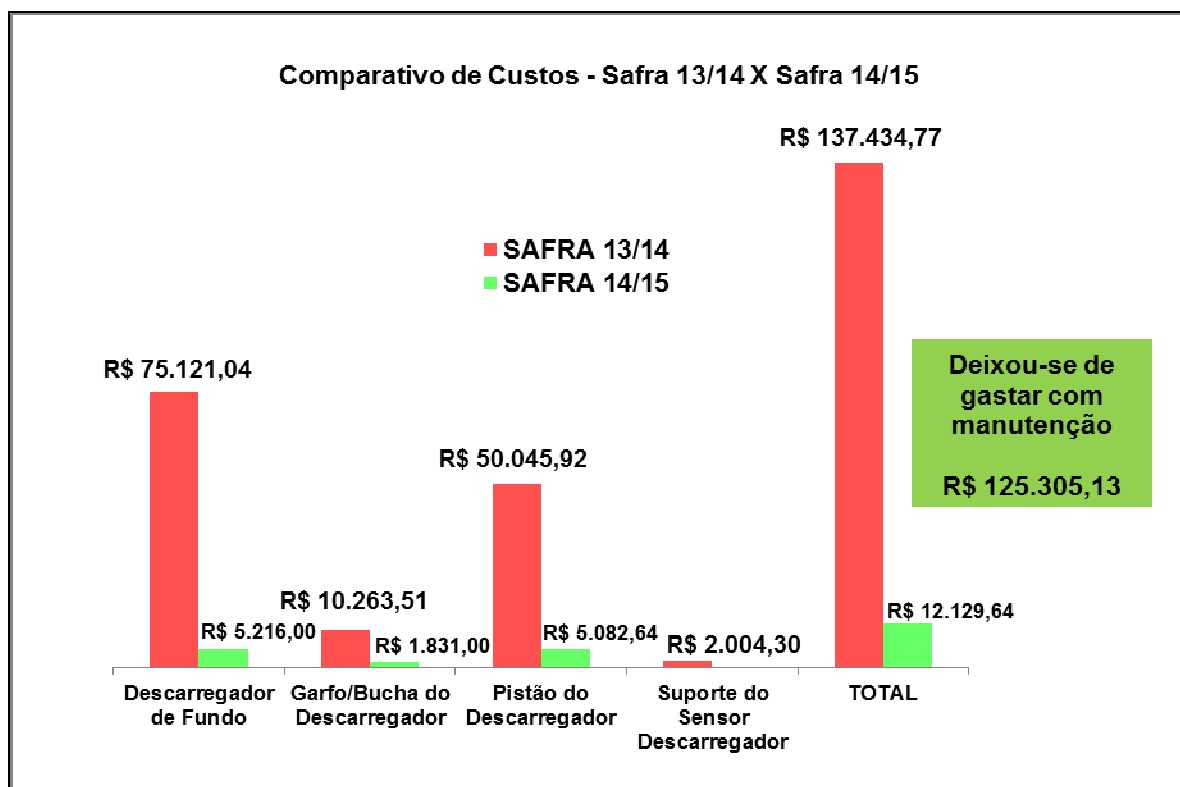


Gráfico 3: Gráfico comparativo de custos entre Safra 13/14 e Safra 14/15

Fonte: PCM, Raízen (2015)

6 CONCLUSÕES

Com a realização deste projeto foi possível compreender a importância de um novo dispositivo para abertura e fechamento de fundo da centrífuga automática, aonde a eficiência de manutenção se destaca, considerando diversos fatores que vão desde a produtividade até a segurança das pessoas envolvidas nas operações e manutenções.

Através de informações obtidas constatou-se que à maioria das causas dos problemas eram referentes ao grande esforço para o manuseio do dispositivo e peças sobressalentes difíceis de serem encontradas no mercado. Baseado nos resultados obtidos deste projeto foi possível dimensionar um novo dispositivo para abertura e fechamento de fundo de centrífugas automáticas que obtivesse uma melhoria significativa na disponibilidade do equipamento para operação:

- Melhoria na ergonomia para realização de serviços nas operações e manutenções;
- Redução consideravelmente no tempo de manutenção do dispositivo;
- Redução de custo de materiais e mão de obra para manutenção do dispositivo;
- Aumento de produção e disponibilidade do equipamento para o processo;
- Aumento de confiabilidade na manutenção do equipamento;

Portanto, o projeto do novo dispositivo para abertura e fechamento de fundo de centrífugas automáticas é conveniente e eficaz para o equipamento, pois são utilizadas peças de fáceis manuseio e reposição, proporcionando melhor segurança as pessoas envolvidas tanto na operação como na manutenção.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE F. M., **Processo de fabricação do açúcar**. 3ª Ed., Editora Universitária UFPE, 2011.

BONACORSO, Nelso G.; NOLL, Valdir. **Automação Eletropneumática**. São Paulo: Érica, 1997.

CROSER, P. e EBEL, F., **Pneumática nível básico, Livro Didático, Festo Didatic, treinamento e consultoria**, 2002.

EQUIPAMENTOS PESADOS – **Manual de Operações centrífugas automáticas de Açúcar, modelo FZ 1000**, 1982.

FESTO DIDATIC, **Introdução a Pneumática**, São Paulo, Editora Festo Didact, 2002.

FESTO: Pneumatic Festo. **Catálogo de fornecimento. 2. ed.**, São Paulo, 1982.

FIALHO, Arivelto B., **Automação Pneumática: Projetos, Dimensionamentos e Análise de Circuitos. 2 ed.**, São Paulo: Érica, 2004.

FIALHO, Arivelto B., **Automação Pneumática: Projetos, Dimensionamentos e Análise de Circuitos. 7 ed.**, São Paulo: Érica, 2012.

MACHADO, F.B.P., 2003, **revista STAB, vol.21** - Piracicaba SP.

MANFRINATO, Marcos D., **Pneumática**. Araraquara: 2009. Universidade Paulista, 2009. Disponível em <http://pneumticaaula1e2.pdf>.

FESTO DIDACTIC, **Manutenção de Instalações e Equipamentos Pneumáticos**, Livro Didático, São Paulo, SP, Brasil, 1977.

MEIXNER, H. e KOBLE, R., "**Introdução à Pneumática**", Livro Didático, FESTO Didactic, São Paulo, SP, Brasil, 1977.

PARKER. Linha Pneumática. **Tecnologia Pneumática Industrial**. Apostila M1001 BR. Parker Hannifi Ind. Com. Ltda. Jacareí, SP., 2000.

PARKER. Linha Pneumática. **Tecnologia Eletropneumática Industrial**. Apostila M1002-2 BR. Parker Hannifi Ind. Com. Ltda. Jacareí, SP., 2005.

PAVANI, Sérgio Adalberto: **Instrumentação Básica** / Sérgio Pavani. – 3. ed. – Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Curso Técnico em Automação Industrial, 2009.

PAYNE, J.H. **Operações unitárias na produção de açúcar de cana**; tradução Florenal Zarpelon. São Paulo: Nobel S.A., 1989.

ROLLINS, J. P. **Manual de ar comprimido e gases**. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

ROMANO, Victor F.; DUTRA, Max S. **Introdução a robótica industrial**. 2009.

SILVEIRA, P.R.; SANTOS, W.E. **Automação e controle discreto**. 3ªEd. São Paulo: Érica, 2009.

<http://filtrosgrum.blogspot.com.br/comofuncionamcompressores>, 2015.

<http://seguindopassoshistoria.blogspot.com.br/o-engenho-e-o-fabrico-do-acucar>, 2013.

<http://www.raizen.com>, 2015.

http://www.centrimax.com.br/produtos/centrifugas_automaticas.pdf, 2008.

<http://www.fatec.com.br/alunos/acucaralcool/equipamentoindustrialcana>, 2015.