

***PNEUMÁTICA E
TÉCNICAS DE COMANDO***

José Fernando Xavier Faraco

Presidente da FIESC

Sérgio Roberto Arruda

Diretor Regional do SENAI/SC

Antônio José Carradore

Diretor de Educação e Tecnologia do SENAI/SC

Marco Antônio Dociatti

Diretor de Desenvolvimento Organizacional do SENAI/SC



*Sistema Federação das Indústrias
do Estado de Santa Catarina*

PNEUMÁTICA E TÉCNICAS DE COMANDO

Florianópolis 2005

É autorizada reprodução total ou parcial deste material por qualquer meio ou sistema desde que a fonte seja citada

Equipe Técnica:

Organização:

Adagir Saggin
Adalberto Silveira
Guilherme de Oliveira Camargo
Irineu Parolin
Sandro Feltrin
Vilmar Loshstein

Revisão Técnica:

Guilherme de Oliveira Camargo

Revisão Ortográfica:

Ana Lúcia Pereira do Amaral

Projeto Gráfico:

Rafael Viana Silva

Capa:

Rafael Viana Silva
Samay Milet Freitas

S474p

SENAI. SC . Pneumática e Técnica de Comandos.
Florianópolis: SENAI/SC, 2005 92 p.

1. Ar comprimido. 2. Energia Pneumática. 3. Consumo de ar.
4. Válvula Pneumática. I. Título.

CDU: 621.5

Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Departamento Regional de Santa Catarina
www.sc.senai.br

Rodovia Admar Gonzaga, 2765 – Itacorubi.
CEP 88034-001 - Florianópolis - SC
Fone: (048) 231-4221
Fax: (048) 231-4331

Este material faz parte do Programa SENAI/SC de Recursos Didáticos.
www.sc.senai.br/recursosdidaticos

ÍNDICE DE FIGURAS

1 INTRODUÇÃO A PNEUMÁTICA.....12

1.1 Princípio de Pascal.....13

2 PROPRIEDADES FÍSICAS DO AR.....15

2.1 Compressibilidade do ar.....15

2.2 Elasticidade do ar.....15

2.3 Difusibilidade do ar.....15

2.4 Expansibilidade do ar.....16

2.5 Peso do ar.....16

3 GRANDEZA PNEUMÁTICA.....17

3.1 Tabela de conversão entre unidades de pressão.....18

3.2 Variação da pressão atmosférica.....18

3.3 Tabela de variação da pressão atmosférica.....19

3.4 Tabela de conversão entre unidades de vazão.....19

5 PRODUÇÃO DE AR COMPRIMIDO.....25

5.1 Tipos de compressores.....25

5.2 Compressor de êmbolo de simples estágio.....26

5.3 Compressor de êmbolo de duplo estágio.....26

5.4 Compressor de membrana.....27

5.5 Compressor de palhetas.....28

5.6 Compressor de parafuso.....28

5.7 Compressor roots.....29

5.8 Turbocompressor radial.....30

5.9 Turbocompressor axial.....31

5.10 Diagrama para seleção de compressores.....32

5.11 Tabela de tipos de regulagem.....34

5.12 Regulagem por descarga.....34

5.13 Regulagem por fechamento.....34

5.14 Regulagem por estrangulamento.....35

5.15 Regulagem intermitente.....35

6 RESERVATÓRIO DE AR COMPRIMIDO.....37

6.1 Reservatório de ar.....37

7 DISTRIBUIÇÃO DO AR COMPRIMIDO.....38

7.1 Rede de distribuição ar.....38

7.2 Rede de distribuição em anel aberto.....39

7.3 Rede de distribuição em anel fechado.....39

7.4 Rede de distribuição combinada.....	40
7.5 Inclinação, tomadas de ar e drenagem da umidade (Fargon engenharia e indústria).....	40
7.6 Curvatura da tubulação.....	41
7.7 Tabela de vazamentos.....	41
7.8 Tabela de perda de carga.....	44
7.9 Resfriador de ar e separador de condensados (Parker).....	45
7.10 Secagem por absorção (Parker).....	46
7.11 Esquemática da secagem por absorção (Parker).....	47
7.12 Secagem por refrigeração (Parker).....	48

8 UNIDADE DE CONSERVAÇÃO DE AR.....49

8.1 Unidade de conservação de ar (Parker).....	49
8.2 Simbologia detalhada e simbologia simplificada.....	49
8.3 Filtro de ar comprimido (Parker).....	50
8.4 Regulador de ar comprimido com manômetro.....	51
8.5 Barômetro tipo tubo de Bourdon (Parker).....	52
8.6 Lubrificador.....	53
8.7 Demonstração do princípio de Venturi.....	53
8.8 Tabela de lubrificantes.....	54

9 VÁLVULAS PNEUMÁTICAS.....55

9.1 Número de posições.....	55
9.2 Número de vias.....	56
9.3 Tabela de meios de acionamento.....	56
9.4 Tabela de procedimento de identificação de vias.....	57
9.5 Simbologia de válvulas NA e NF.....	57
9.6 Simbologia de válvula de centro fechado.....	57
9.7 Simbologia de válvula de centro aberto positivo.....	57
9.8 Simbologia de válvulas de centro aberto negativo.....	58
9.9 Simbologia de válvulas de memórias.....	58
9.10 Simbologia de escape livre.....	58
9.11 Simbologia de escape dirigido.....	58
9.12 Simbologia de válvulas em posição de repouso e posição de trabalho.....	59
9.13 Válvula alternadora (Festo).....	59
9.14 Exemplo de aplicação da válvula alternadora.....	59
9.15 Válvulas de duas pressões (Festo).....	60
9.16 Exemplo de aplicação da válvula de duas pressões.....	60
9.17 Válvula de escape rápido.....	61
9.18 Exemplo de aplicação de válvula de escape rápido.....	61
9.19 Válvula de retenção.....	61
9.20 Válvula reguladora de fluxo bidirecional (Festo).....	61
9.21 Válvula reguladora de fluxo unidirecional (Festo).....	62
9.22 Exemplo de regulação fluxo primária.....	62
9.23 Exemplo de regulação fluxo secundária.....	63
9.24 Válvula limitadora de pressão (Festo).....	63
9.25 Válvula de sequência (Festo).....	64
9.26 Exemplo de aplicação da válvula de sequência.....	64
9.27 Válvulas de fechamento.....	65
9.28 Exemplo de aplicação de temporizador pneumático normalmente fechado.....	65
9.29 Temporizador pneumático NA (Festo).....	66
9.30 Divisor binário (Festo).....	66

10 ATUADORES PNEUMÁTICOS.....67

10.1 Esquema dos tipos de atuadores pneumáticos.....	67
10.2 Atuadores lineares de simples ação.....	67
10.3 Atuadores de membrana plana (Parker).....	68
10.4 Atuadores lineares de dupla ação (Parker).....	68
10.5 Cilindro de impacto (Parker).....	69
10.6 Cilindro Tandem (Parker).....	69
10.7 Cilindro de dupla ação com haste passante (Parker).....	70
10.8 Atuador linear de posições múltiplas (Parker).....	70
10.9 Cilindro com amortecimento nos fins de curso.....	71
10.10 Nomograma de pressão e força.....	72
10.11 Nomograma de flanbagem.....	73
10.12 Tabela de dimensionamento das válvulas.....	74
10.13 Motor de engrenagem (Parker).....	75
10.14 Motor de palhetas (Parker).....	75
10.15 Turbomotor (Parker).....	76
10.16 Motores de pistão (Parker).....	76
10.17 Cilindro rotativo (Festo).....	77
10.18 Oscilador de aleta giratória (Festo).....	77

11 DESIGNAÇÃO DE ELEMENTOS.....78

11.1 Designação de elementos por número.....	78
11.2 Designação de elementos por letras.....	80
11.3 Válvula de gatilho.....	80
11.4 Exemplo de sentido de acionamento do gatilho.....	80

12 ELABORAÇÃO DE ESQUEMAS DE COMANDO.....81

12.1 Representação em seqüência cronológica.....	81
12.2 Representação gráfica em diagrama de trajeto e passo.....	82
12.3 Representação gráfica em diagrama de trajeto e tempo.....	83
12.4 Esquema de comando de posição.....	83
12.5 Esquema de comando de sistema.....	84

13 TECNOLOGIA DO VÁCUO.....85

13.1 Princípio de geração do vácuo (Parker).....	85
13.2 Aplicações do vácuo (Parker).....	85
13.3 Ventosa padrão (Parker).....	87
13.4 Ventosa com fole (Parker).....	87
13.5 Caixa de sucção (Parker).....	88
13.6 Diagrama da porcentagem de vácuo para obter a menor área de sucção possível.....	88
13.7 Exemplo de cálculo de nível de vácuo.....	89
13.8 Tabela de forças de levantamento.....	89
13.9 Geradores de vácuo (Parker).....	90
13.10 Efeito Venturi (Parker).....	91
13.11 Comparação entre geradores, ventiladores e bombas de deslocamento positivo.....	91

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO À PNEUMÁTICA.....12

1.1 Desenvolvimento da técnica do ar comprimido.....	12
1.2 Princípio de Pascal.....	13
1.3 Características da pneumática.....	13
1.4 Aplicações da pneumática.....	13
1.5 Composição de um sistema pneumático.....	14
1.6 Características do ar comprimido.....	14
1.6.1 De 7 a 10 o custo da energia pneumática.....	14

2 PROPRIEDADES FÍSICAS DO AR.....15

3 GRANDEZAS PNEUMÁTICAS.....17

3.1 Pressão.....	17
3.1.1 Pressão manométrica.....	17
3.1.2 Pressão atmosférica.....	17
3.1.3 Pressão absoluta.....	17
3.1.4 Unidade de pressão.....	17
3.1.5 Variação da pressão atmosférica em relação à altitude.....	17
3.2 Vazão.....	19
3.2.1 Unidades de vazão.....	19

4 SIMBOLOGIA/RESUMO.....20

4.1 Linhas de fluxo.....	20
4.2 Fontes de energia.....	20
4.3 Acoplamentos.....	21
4.4 Compressores.....	21
4.5 Condicionadores de energia.....	21
4.6 Válvulas direcionais.....	22
4.7 Métodos de acionamento.....	22
4.8 Conversores rotativos de energia.....	23
4.9 Conversores lineares de energia.....	23
4.10 Válvula controladoras de vazão.....	23
4.11 Válvula de retenção.....	24
4.12 Válvula reguladora de pressão.....	24
4.13 Instrumentos de acessórios.....	24

5 PRODUÇÃO DE AR COMPRIMIDO.....25

5.1 Compressores.....	25
5.1.1 Tipos de compressores.....	25
5.1.2 Compressor de êmbolo.....	26

5.1.3 Compressor de membrana.....	27
5.1.4 Compressor de palhetas.....	27
5.1.5 Compressor de parafuso.....	28
5.1.6 Compressor roots.....	29
5.1.7 Turbocompressores.....	30
5.1.7.1 Turbocompressor radial.....	30
5.1.7.2 Turbocompressor axial.....	31
5.2 Diagrama para seleção de compressores.....	31
5.3 Itens para seleção de compressores.....	32
5.3.1 Volume de ar fornecido.....	32
5.3.2 Pressão.....	33
5.3.3 Acionamento.....	33
5.3.4 Refrigeração.....	33
5.3.5 Lugar de montagem.....	33
5.4 Regulagem.....	33
5.4.1 Regulagem de marcha em vazio.....	34
5.4.2 Regulagem de carga parcial.....	35
5.4.3 Regulagem intermitente.....	35
5.5 Instalação dos compressores.....	36
6 RESERVATÓRIO DE AR COMPRIMIDO.....	37
7 DISTRIBUIÇÃO DE AR COMPRIMIDO.....	38
7.1 Rede de distribuição.....	38
7.1.1 Rede de distribuição em anel aberto.....	39
7.1.2 Rede de distribuição em anel fechado.....	39
7.1.3 Rede de distribuição combinada.....	39
7.1.4 Posicionamento.....	40
7.1.5 Curvatura.....	41
7.1.6 Vazamentos.....	41
7.2 Diagrama para seleção de compressores.....	42
7.2.1 Tubulações principais.....	42
7.2.2 Tubulações secundárias.....	42
7.2.3 Dimensionamento da rede condutora.....	42
7.3 Preparação do ar comprimido.....	44
7.3.1 Resfriador de ar e separador de condensados.....	45
7.3.2 Secador de ar.....	45
7.3.2.1 Secagem por absorção.....	46
7.3.2.2 Secagem por adsorção.....	47
7.3.2.3 Secagem por refrigeração.....	47
8 UNIDADE DE CONSERVAÇÃO DE AR	49
8.1 Filtro de ar comprimido.....	50
8.1.1 Funcionamento do dreno automático.....	50
8.2 Regulador de pressão.....	51
8.2.1 Manômetros.....	51
7.3.2.1 Manômetro tipo tubo de Bourdon.....	52

8.3 Lubrificador de ar comprimido.....	52
8.3.1 Princípio de Venturi.....	53
8.4 Instalação das unidades de conservação.....	53
8.4.1 Manutenção das unidades de conservação.....	54

9 VÁLVULAS PNEUMÁTICAS.....55

9.1 Válvulas direcionais.....	55
9.1.1 Simbologia de válvulas.....	55
9.1.2 Características principais.....	55
9.1.3 Meios de acionamento.....	56
9.1.4 Identificação de vias.....	56
9.1.5 Válvulas NA e NF.....	57
9.1.6 Válvulas CF, CAP e CAN.....	57
9.1.7 Válvulas de memórias.....	58
9.1.8 Tipos de escapes.....	58
9.1.9 Válvulas em repouso ou trabalho.....	58
9.2 Válvulas de bloqueio.....	59
9.2.1 Válvulas alternadoras (função lógica "OU").....	59
9.2.2 Válvulas de duas pressões (função lógica "E").....	60
9.2.3 Válvulas de escape rápido.....	60
9.2.4 Válvulas de retenção.....	61
9.3 Válvulas de fluxo.....	61
9.3.1 Válvula reguladora de fluxo bidirecional.....	61
9.3.2 Válvula reguladora de fluxo unidirecional.....	62
9.3.3 Regulagem fluxo primária (entrada de ar).....	62
9.3.4 Regulagem fluxo secundária (exaustão de ar).....	63
9.4 Válvulas de pressão.....	63
9.4.1 Válvula limitadora de pressão.....	63
9.4.2 Válvula de seqüência.....	64
9.5 Válvulas de fechamento.....	64
9.6 Combinação de válvulas.....	65
9.6.1 Temporizador pneumático NF.....	65
9.6.2 Temporizador pneumático NA.....	66
9.6.3 Divisor binário (flip-flop).....	66

10 ATUADORES PNEUMÁTICOS.....67

10.1 Atuadores lineares.....	67
10.1.1 Atuadores lineares de simples ação.....	67
10.1.2 Atuadores de membrana plana.....	68
10.1.3 Atuadores lineares de dupla ação.....	68
10.1.4 Cilindro de impacto (percursor).....	69
10.1.5 Cilindro Tandem.....	69
10.1.6 Cilindro de dupla ação com haste passante.....	69
10.1.7 Atuador linear de posições múltiplas.....	70
10.1.8 Cilindro de amortecimento nos fins de curso.....	70
10.1.9 Dimensionamento de atuadores lineares.....	71

10.2 Atuadores rotativos.....	75
10.2.1 Motores de engrenagem.....	75
10.2.2 Motores de palhetas.....	75
10.2.3 Turbomotores.....	76
10.2.4 Motores de pistão.....	76
10.3 Osciladores.....	76
10.3.1 Cilindro rotativo.....	76
10.3.2 Oscilador de aleta giratória.....	77
10.4 Características dos motores pneumáticos.....	77
11 DESIGNAÇÃO DE ELEMENTOS.....	78
11.1 Designação por números.....	78
11.2 Designação por letras.....	80
11.3 Representação das válvulas de gatilho.....	80
12 ELABORAÇÃO DE ESQUEMAS DE COMANDO.....	81
12.1 Sequência de movimentos.....	81
12.1.1 Movimentação de um circuito como exemplo.....	81
12.1.2 Sequência de movimentos.....	82
12.1.3 Representação abreviada em sequência algébrica.....	82
12.1.4 Representação gráfica em diagrama de trajeto e passo.....	82
12.1.5 Representação gráfica em diagrama de trajeto e tempo.....	82
12.2 Tipos de esquemas.....	83
12.2.1 Esquemas de comando de posição.....	83
12.2.2 Esquema de comando de sistema.....	84
13 TECNOLOGIA DO VÁCUO.....	85
13.1 Aplicações do vácuo.....	85
13.2 Ventosas.....	86
13.2.1 Ventosas padrão.....	87
13.2.2 Ventosas com fole.....	87
13.2.3 Caixa de sucção.....	88
13.3 Geradores de vácuo.....	90
13.3.1 O efeito Venturi.....	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO À PNEUMÁTICA

1.1 DESENVOLVIMENTO DA TÉCNICA DO AR COMPRIMIDO

O ar comprimido é, provavelmente, uma das mais antigas formas de transmissão de energia que o homem conhece, empregada e aproveitada para ampliar sua capacidade física. O reconhecimento da existência física do ar bem como a sua utilização mais ou menos consciente para o trabalho são comprovados há milhares de anos.

O primeiro homem que, com certeza, sabemos ter-se interessado pela pneumática, isto é, o emprego do ar comprimido como meio auxiliar de trabalho, foi o grego Ktésibios, que há mais de 2000 anos construiu uma catapulta a ar comprimido. Um dos primeiros livros sobre o emprego do ar comprimido como transmissão de energia data do primeiro século d.C., o qual descreve equipamentos que foram acionados com ar aquecido.

Dos antigos gregos provem a expressão *pneuma*, que significa fôlego, vento e, filosoficamente, a alma. Derivado desta palavra, surgiu, entre outros, o conceito de *pneumática*, ciência que estuda os movimentos e fenômenos dos gases.

Embora a base da pneumática seja um dos mais velhos conhecimentos da humanidade, somente no século XIX o estudo de seu comportamento e de suas características se tornou sistemático. Porém, pode-se dizer que somente a partir de 1950 ela foi realmente introduzida na produção industrial.

Antes, porém, já existiam alguns campos de aplicação e aproveitamento da pneumática, como, por exemplo, a indústria mineira, a construção civil e a indústria ferroviária (freios a ar comprimido).

A introdução, de forma mais generalizada, da pneumática na indústria começou com a necessidade, cada vez maior, de automatização e racionalização dos processos de trabalho. Apesar da rejeição inicial, quase sempre proveniente da falta de conhecimento e instrução, ela foi aceita, e o número de campos de aplicação tornou-se cada vez maior.

Hoje, o ar comprimido tornou-se indispensável para a automação industrial, que tem como objetivo retirar do ofício do homem as funções de comando e regulação, conservando apenas as funções de controle. Um processo é considerado automatizado quando este é executado sem a intervenção do homem, sempre do mesmo modo, com o mesmo resultado.

1.2 PRINCÍPIO DE PASCAL

Em 1652, o cientista francês Blaise Pascal (1623-1662), grande colaborador nas ciências físicas e matemáticas, através do estudo do comportamento dos fluidos, enunciou um princípio muito importante na Física, o *Princípio de Pascal*: "A pressão exercida em um ponto qualquer de um fluido estático é a mesma em todas as direções e exerce forças iguais em áreas iguais".

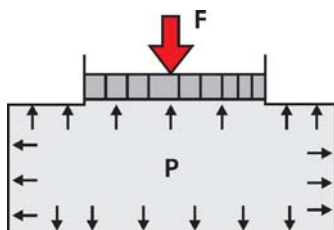


Figura 1.1: Princípio de Pascal

1.3 CARACTERÍSTICAS DA PNEUMÁTICA

- Trabalha com baixa pressão e alta velocidade (4m/s).
- Velocidade e força facilmente controladas.
- Circuito aberto, não possui retorno do ar.
- Energia facilmente armazenável e transportável.
- Fácil instalação e manutenção de equipamentos.
- Fluido e componentes insensíveis à variação de temperatura.
- Aplicação altamente flexível.
- Necessita de tratamento do ar a ser utilizado.
- Perdas por vazamento reduzem sua eficiência.
- Fluido compressível provoca movimentos irregulares nos atuadores.
- Limitação da força máxima de trabalho em função da pressão (3.000 kgf).
- Escape de ar ruidoso.

1.4 APLICAÇÕES DA PNEUMÁTICA

A pneumática pode ser usada em todas os seguimentos industriais e de transporte, para a realização de movimentos lineares, rotativos e outros.

- **Movimentos lineares:** fixar, levantar, alimentar, transportar, abrir, fechar.
- **Movimentos rotativos:** lixar, furar, cortar, aparafusar, rosquear.
- **Outros:** pulverizar, pintar, soprar, transportar.

1.5 COMPOSIÇÃO DE UM SISTEMA PNEUMÁTICO

Geração	Transmissão	Controle	Transmissão	Atuadores
---------	-------------	----------	-------------	-----------

1.6 CARACTERÍSTICAS DO AR COMPRIMIDO

- **Quantidade:** O ar a ser comprimido é encontrado em quantidade ilimitada na atmosfera.
- **Transporte:** O ar comprimido é facilmente transportável por tubulações, mesmo para distâncias consideravelmente grandes. Não há necessidade de se preocupar com o retorno do ar.
- **Armazenamento:** O ar pode ser sempre armazenado em um reservatório e, posteriormente, ser utilizado ou transportado.
- **Temperatura:** O trabalho realizado com o ar comprimido é insensível às oscilações de temperatura. Isto garante um funcionamento seguro em situações extremas.
- **Segurança:** Não existe o perigo de explosão ou de incêndio; portanto, não são necessárias custosas proteções contra explosões.
- **Velocidade:** O ar comprimido, devido a sua baixa viscosidade, é um meio de transmissão de energia muito veloz.
- **Preparação:** O ar comprimido requer boa preparação. Impurezas e umidade devem ser evitadas, pois provocam desgaste nos elementos pneumáticos.
- **Limpeza:** O ar comprimido é limpo, mas o ar de exaustão dos componentes libera óleo pulverizado na atmosfera.
- **Custo:** Estabelecendo o valor 1 para a energia elétrica, a relação com a pneumática e hidráulica:

1.6.1 DE 7 A 10 O CUSTO DA ENERGIA PNEUMÁTICA

De 3 a 5 o custo da energia hidráulica

Esta avaliação é apenas orientativa, considerando apenas o custo energético, sem considerar os custos de componentes. Considerando os valores de válvulas e atuadores, o custo fica relacionado como:

Elétrica < Pneumática < Hidráulica

CAPÍTULO 2

PROPRIEDADES FÍSICAS DO AR

- **Compressibilidade:** Propriedade do ar que permite a redução do seu volume sob a ação de uma força externa, resultando no aumento de sua pressão.

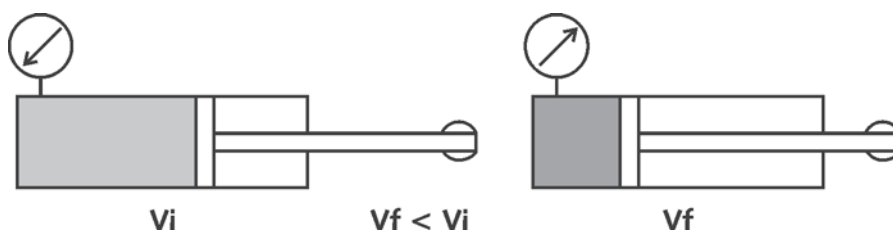


Figura 2.1: Compressibilidade do ar

- **Elasticidade:** Propriedade do ar que possibilita voltar ao seu volume inicial, uma vez extinta a força externa responsável pela redução de volume.

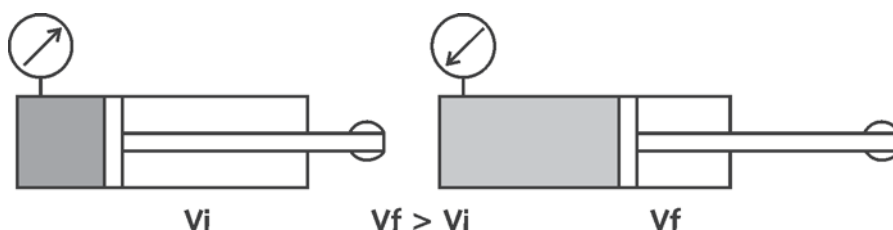


Figura 2.2: Elasticidade do ar

- **Difusibilidade:** Propriedade do ar que permite misturar-se homoganeamente com qualquer meio gasoso que não esteja saturado.

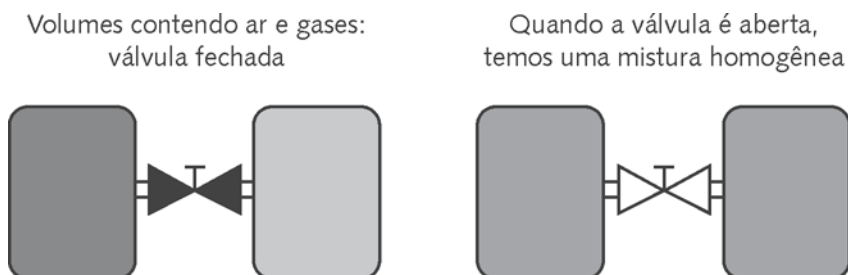


Figura 2.3: Difusibilidade do ar

- **Expansibilidade:** Propriedade do ar que possibilita ocupar totalmente o volume de qualquer recipiente, adquirindo o seu formato.

Possuímos um recipiente contendo ar, a válvula na situação 1 esta fechada.

Quando a válvula é aberta, o ar expande assumindo o formato dos recipientes.



Figura 2.4: Expansibilidade do ar

- **Peso:** Como toda matéria concreta, o ar tem peso, e este peso é de $1,293 \times 10^{-3}$ kgf, a 0° C e ao nível do mar.



Figura 2.5: Peso do ar

CAPÍTULO 3

GRANDEZAS PNEUMÁTICAS

3.1 PRESSÃO

Força exercida por unidade de área.

$$P = \frac{F}{A}$$

P = pressão

F = força

A = área

3.1.1 PRESSÃO MANOMÉTRICA

É a pressão registrada nos manômetros.

3.1.2 PRESSÃO ATMOSFÉRICA

É o peso da coluna de ar da atmosfera em 1 cm² de área. A pressão atmosférica varia com a altitude, pois, em grandes alturas, a massa de ar é menor do que ao nível do mar. No nível do mar a pressão atmosférica é considerada 1 Atm (1,033 Kgf/cm²).

3.1.3 PRESSÃO ABSOLUTA

É a soma da pressão manométrica com a pressão atmosférica. Quando representamos a pressão absoluta, acrescentamos o símbolo (a) após a unidade.

Exemplo: PSla, Kgf/cm²a.

3.1.4 UNIDADES DE PRESSÃO

- Sistema internacional = Pa = N/m².
- Unidade métrica = Kgf/cm², atm, bar.
- Unidade inglesa = psi (pounds per Square Inches), lb/pol².

PARA CONVERTER	EM	MULTIPLICAR POR
Psi	Atm	0,06804
Psi	Bar	0,0671
Psi	kgf/cm ²	0,07031
Psi	Mpa	0,00689
Atm	Psi	14,7
Atm	Bar	1,013
Atm	kgf/cm ²	1,033
Atm	Mpa	0,10132
Bar	Psi	14,50
Bar	Atm	0,9869
Bar	kgf/cm ²	1,02
Bar	Mpa	0,1
kgf/cm ²	Bar	0,9807
kgf/cm ²	Psi	14,22
kgf/cm ²	Atm	0,9678
kgf/cm ²	Mpa	0,098
Mpa	Bar	10
Mpa	Psi	145,04
Mpa	Atm	9,87
Mpa	kgf/cm ²	10,2

Figura 3.1 - Tabela de conversão entre as unidades de pressão

3.1.5 VARIAÇÃO DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA EM RELAÇÃO À ALTITUDE

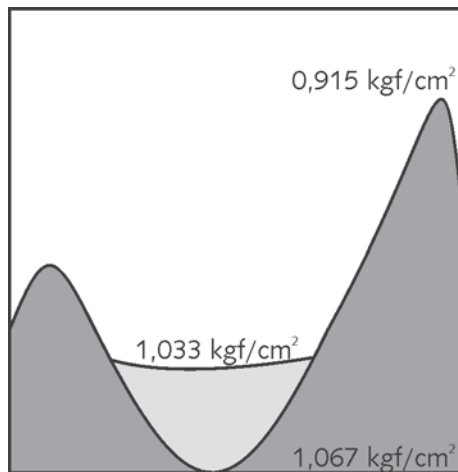


Figura 3.2: Variação da pressão atmosférica

ALTITUDE EM m	PRESSÃO EM kg/cm ²	ALTITUDE EM m	PRESSÃO EM kg/cm ²
0	1.033	500	0.973
100	1.021	600	0.960
200	1.008	700	0.948
300	0.996	800	0.936
400	0.985	900	0.925

1.000	0.915	6.000	0.481
2.000	0.810	7.000	0.419
3.000	0.715	8.000	0.363
4.000	0.629	9.000	0.313
5.000	0.552	10.000	0.270

Figura 3.3: Tabela de variação da pressão atmosférica

3.2 VAZÃO

É volume deslocado por unidade de tempo.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Q = vazão

V = volume

t = tempo

3.2.1 UNIDADES DE VAZÃO

- L/s = Litros por segundo.
- L/min = Litros por minuto.
- m³/min = Metros cúbicos por minuto.
- m³/h = Metros cúbicos por hora.
- cfm = (Cubic feet for minute), pcm.

PARA CONVERTER	EM	MULTIPLICAR POR
Pcm	Cfm	1
Pcm	L/s	0,4720
Pcm	M ³ /min	0,02832
Pcm	M ³ /h	1,69923
L/s	M ³ /min	0,06
L/s	pcm	2,1186
M ³ /min	pcm	35,31

Figura 3.2 - Tabela de conversão entre as unidades de vazão

Estas unidades se referem à quantidade de ar, ou gás, comprimido efetivamente nas condições de temperatura e pressão, no local onde está instalado o compressor. Como estas condições variam em função da altitude, umidade relativa e temperatura, são definidas condições padrões de medidas, sendo que as mais usadas são:





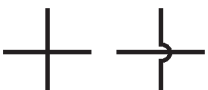

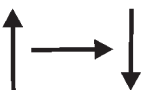


- **Nm³/h**: Normal metro cúbico por hora - definido à pressão de 1,033 kg/cm², temperatura de 0°C e umidade relativa de 0%.
- **SCFM**: Standard cubic feet per minute - definido à pressão de 14,7 lb/pol², temperatura de 60°F e umidade relativa de 0%.

CAPÍTULO 4



SIMBOLOGIA/RESUMO

Símbolos gráficos mais utilizados para componentes de sistemas pneumáticos, segundo a norma ISO1219-1.

4.1 LINHAS DE FLUXO

	Linha de trabalho e retorno
	Linha de pilotagem
	Indicação de conjunto de funções ou componentes
	Mangueira flexível
	União de linhas
	Possibilidade de regulagem (inclinação a 45°)
	Direção de fluxo
	Fluxo pneumático
	Sentido de rotação

4.2 FONTES DE ENERGIA

	motor elétrico
	motor térmico

4.3 ACOPLAMENTOS



Acoplamento



Acoplamento com proteção

4.4 COMPRESSORES



Compressor de deslocamento fixo unidirecional

4.5 CONDICIONADORES DE ENERGIA



Filtro



Separador com dreno manual



Separador com dreno automatico



Filtro com separador e dreno manual



Desumidificador de ar



Lubrificador



Reservatório de ar

4.6 VÁLVULAS DIRECIONAIS



3/2 vias

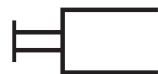


4/3 vias

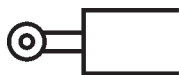
4.7 MÉTODOS DE ACIONAMENTO



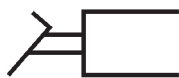
Detente ou trava



Manual



Mecânico (rolete)



Pedal



Alavanca



Botão



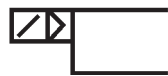
Mola



Solenóide

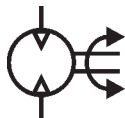


Piloto



Duplo acionamento

4.8 CONVERSORES ROTATIVOS DE ENERGIA



Motor de deslocamento fixo bidirecional



Osciladores

4.9 CONVERSORES LINEARES DE ENERGIA



Simples ação ou simples efeito



Dupla ação ou duplo efeito



De haste dupla



Com amortecimento regulável

4.10 VÁLVULAS CONTROLADORAS DE VAZÃO



Orifício fixo






Orifício variável


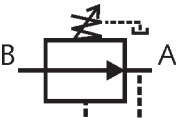


Orifício variável com retorno livre (by pass)







4.11 VÁLVULA DE RETENÇÃO

	Simple
	Válvula alternadora (elemento "ou")
	Válvula seletora (elemento "e")

4.12 VÁLVULA REGULADORA DE PRESSÃO

	Alívio ou segurança
	Redutora de pressão

4.13 INSTRUMENTOS E ACESSÓRIOS

	Manômetro
	Vacuômetro
	Termômetro
	Medidor de vazão (Rotâmetro)
	Filtro
	Registro fechado
	Registro aberto

CAPÍTULO 5

PRODUÇÃO DE AR COMPRIMIDO

5.1 COMPRESSORES

Compressores são equipamentos utilizados para a manipulação de fluidos no estado gasoso, elevando a pressão de uma atmosfera a uma pressão de trabalho desejada.

5.1.1 TIPOS DE COMPRESSORES

Dependendo das necessidades desejadas, relacionadas à pressão de trabalho e ao volume, são empregados compressores de diversos tipos construtivos, os quais são classificados em dois tipos:

- **Deslocamento volumétrico:** Baseia-se no princípio da redução de volume, ou seja, a compressão é obtida enviando o ar para dentro de um recipiente fechado e diminuindo posteriormente este recipiente pressurizando o ar. É também denominado compressor de deslocamento positivo, e é compreendido como compressor de êmbolo ou de pistão.
- **Deslocamento dinâmico:** Baseia-se no princípio de fluxo, succionando o ar de um lado e comprimindo de outro, por aceleração de massa, ou seja, a elevação de pressão é obtida por meio de conversão de energia cinética em pressão, durante a passagem do ar através do compressor (turbina).

Classificação dos compressores quanto ao tipo construtivo

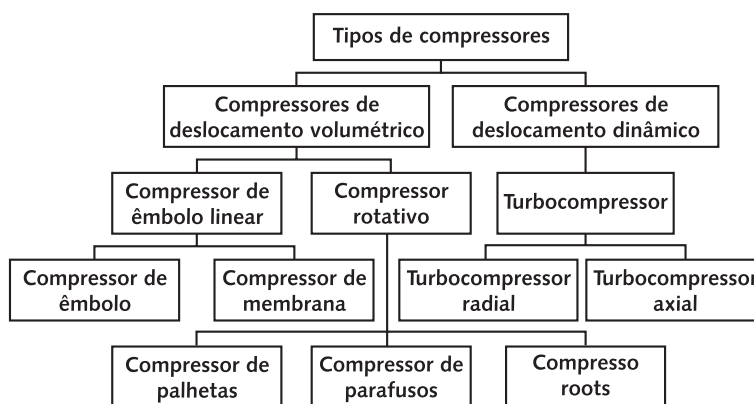


Figura 5.1: Tipos de compressores



Compressor de deslocamento fixo unidirecional:
Símbolo geral

5.1.2 COMPRESSOR DE ÊMBOLO

Este compressor é um dos mais usados e conhecidos, pois é apropriado não só para compressão a pressões baixas e médias, mas também para altas pressões. O campo de pressão é de um bar até milhares de bar. Também é conhecido como compressor de pistão.

O movimento alternativo é transmitido para o pistão através de um sistema de virabrequim e biela, fazendo, assim, ele subir e descer. Iniciando o movimento descendente, o ar é aspirado por meio de válvulas de admissão, preenchendo a câmara de compressão. A compressão do ar tem início com o movimento de subida. Após se obter uma pressão suficiente para abrir a válvula de descarga, o ar é expulso para o sistema.

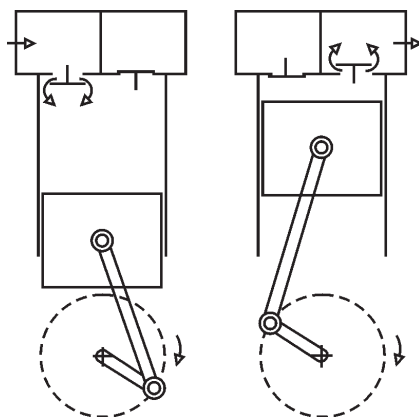


Figura 5.2: Compressor de êmbolo de simples estágio

Para a compressão a pressões mais elevadas, são necessários compressores de vários estágios, limitando assim a elevação de temperatura e melhorando a eficiência da compressão.

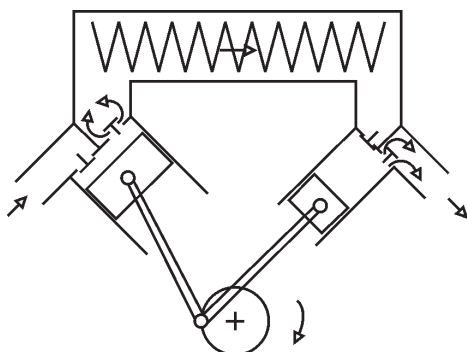


Figura 5.3: Compressor de êmbolo de duplo estágio

O ar aspirado será comprimido pelo primeiro êmbolo (pistão), refrigerado intermediariamente e outra vez comprimido pelo próximo êmbolo de menor diâmetro.

Na compressão a altas pressões, faz-se necessária uma refrigeração intermediária, pois gera alto aquecimento. Os compressores de êmbolo, e outros, são fabricados em execuções refrigeradas a água ou a ar.

5.1.3 COMPRESSOR DE MEMBRANA

Este tipo pertence ao grupo dos compressores de êmbolo. Mediante uma membrana, o êmbolo fica separado da câmara de sucção e compressão, quer dizer, o ar não terá contato com as partes deslizantes, ficando sempre livre de resíduos de óleo.

Estes compressores são os preferidos e mais empregados na indústria alimentícia, farmacêutica e química, além de pequenas instalações de ar, com pressões moderadas ou na obtenção de vácuo.

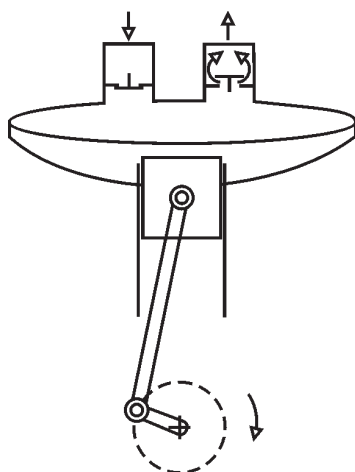


Figura 5.4: Compressor de membrana

5.1.4 COMPRESSOR DE PALHETAS

Em um compartimento cilíndrico, com aberturas de entrada e saída, gira um rotor alojado excentricamente. Ele possui rasgos onde encontramos as palhetas que, em conjunto com a parede, formam pequenos compartimentos (células). Quando em rotação, as palhetas serão, pela força centrífuga, apertadas contra a parede. Devido à excentricidade de localização do rotor, há uma diminuição e um aumento das células.

As vantagens deste compressor estão em sua construção compacta, bem como no uniforme fornecimento de ar, livre de qualquer pulsação. Podemos encontrá-lo em duas versões: lubrificado ou a seco (não lubrificado).

Nos compressores lubrificados, o ar é comprimido juntamente com o óleo, na saída são devidamente separados e resfriados. O ar comprimido passa pelo processo de separação de condensados, seguindo para utilização. O óleo é conduzido para um reservatório e posteriormente levado para a admissão, ficando, assim, em um regime fechado.

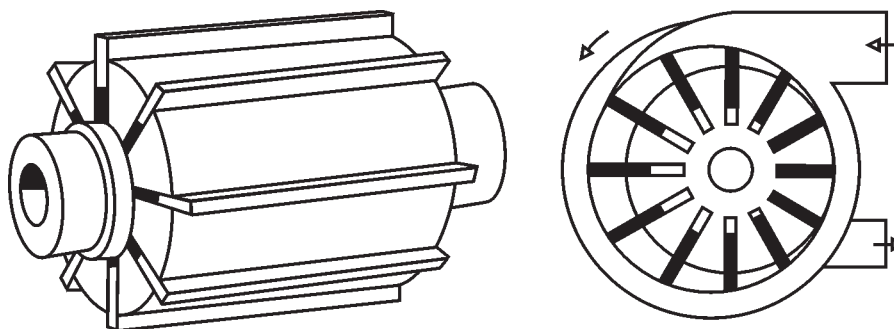


Figura 5.5: Compressor de palhetas

5.1.5 COMPRESSOR DE PARAFUSOS

Este compressor é dotado de uma carcaça onde giram dois rotores helicoidais em sentidos opostos. Um dos rotores possui lóbulos convexos, o outro uma depressão côncava, e são denominados, respectivamente, rotor macho e fêmea.

Os rotores são sincronizados por meio de engrenagens; entretanto, existem fabricantes que fazem com que um rotor acione o outro por contato direto.

O processo mais comum é acionar o rotor macho, obtendo-se uma velocidade elevada do rotor fêmea. O ar, à pressão atmosférica, ocupa espaço entre os rotores e, conforme eles giram, o volume compreendido entre eles é isolado da admissão, fazendo com que em seguida comece a decrescer, dando início à compressão, que prossegue até uma posição tal que a descarga é descoberta e o ar é descarregado continuamente, livre de pulsações.

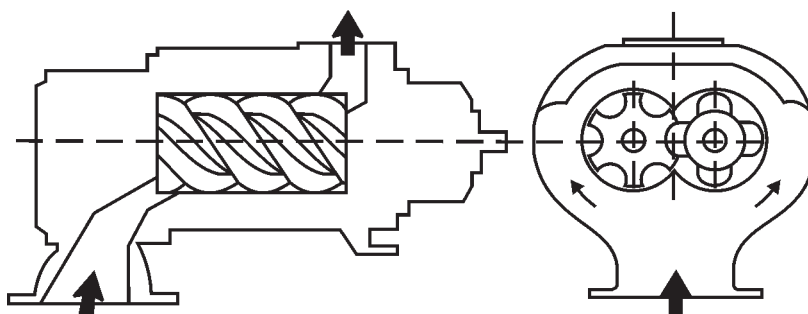


Figura 5.6: Compressor de parafusos

A ausência de válvulas de admissão e de descarga e forças mecânicas desbalanceadas permite que o compressor de parafuso opere com altas velocidades no eixo.

Verificou-se que, para obter compressão interna, é necessário que uma rosca convexa se ajuste perfeitamente a uma depressão côncava e que haja um mínimo de três fios de rosca.

Existindo uma folga entre os rotores e entre estes e a carcaça, evita-se o contato metal-metal. Conseqüentemente, não havendo necessidade de lubrificação interna do compressor, o ar comprimido é fornecido sem resíduos de óleo.

Porém, existe o compressor de parafuso lubrificado, baseado no processo de contato direto. Nele, durante o processo de compressão, mistura-se no ar uma considerável quantidade de óleo, que depois é retirada pelo separador de óleo.

Dependendo da fabricação, a capacidade produzida pode ser regulada através de válvulas colocadas na admissão do ar, as quais modulam automaticamente a produção do equipamento, em função do consumo.

5.1.6 COMPRESSOR ROOTS

Especificamente, é um compressor de deslocamento positivo, mas, devido ao seu regime de trabalho ser limitado a baixas pressões, é também denominado soprador.

São unidades basicamente constituídas por um par de rotores alojados numa carcaça e que se entrelaçam em rotação contrária. A sincronização do movimento se dá por meio de engrenagens externas. A carcaça forma duas câmaras cilíndricas interligadas, onde são alojados os rotores, fazendo a vedação contra as paredes. O ar admitido é descarregado radialmente, não existe compressão interna.

Durante a rotação, um determinado volume de ar é isolado da admissão pelos rotores (lóbulos) e câmara, sendo transferido para o lado da descarga. Quando o rotor passa pela abertura de descarga, o ar já comprimido do lado da descarga entra e ocupa o volume que fora isolado da admissão. Desta forma, a máquina recebe a contrapressão diretamente, ocorrendo então a compressão, mas sem ser contínua.

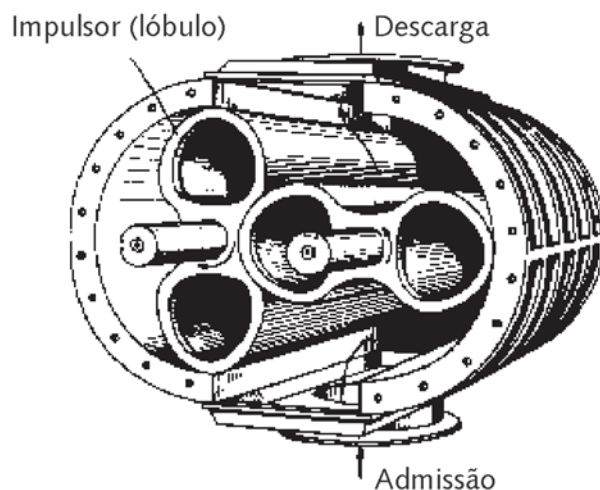


Figura 5.7: Compressor roots

O seu campo de aplicação está entre pressões baixas, além do que o seu nível de ruído é muito alto.

Pelo fato de o movimento de rotação ser feito por engrenagens de sincronização, não existe contato entre os rotores e a carcaça. Desta forma, o ar comprimido é fornecido isento de óleo, não necessitando lubrificação.

5.1.7 TURBOCOMPRESSORES

Estes compressores trabalham segundo o princípio de fluxo e são adequados para locais onde há consumo relativamente alto e constante.

O ar fornecido é isento de óleo. As fontes mais comuns de acionamento destes tipos de compressores são de alta rotação e se constituem, principalmente, em turbinas de vapor ou gás.

São aplicados tipicamente em: indústria petroquímica, indústria aeronáutica, indústria espacial, exploração petrolífera, motores de aviões a jato e em altos fornos de siderurgias.

Os turbocompressores são construídos em duas versões: radial e axial.

5.1.7.1 Turbocompressor radial

O ar é acelerado a partir do centro de rotação, em direção à periferia, ou seja, é admitido pela primeira hélice (rotor dotado de lâminas dispostas radialmente) axialmente, é acelerado e expulso radialmente.

Quando vários estágios estão reunidos em uma carcaça única, o ar é obrigado a passar por um difusor antes de ser conduzido ao centro de rotação do estágio seguinte, causando a conversão de energia cinética em energia de pressão.

A relação de compressão entre os estágios é determinada pelo desenho da hélice, sua velocidade tangencial e a densidade do gás.

O resfriamento entre os estágios, a princípio, era realizado através de camisas d'água nas paredes internas do compressor; atualmente, existem resfriadores intermediários separados, de grande porte, devido à sensibilidade à pressão, por onde o ar é dirigido após dois ou três estágios, antes de ser injetado no grupo seguinte.

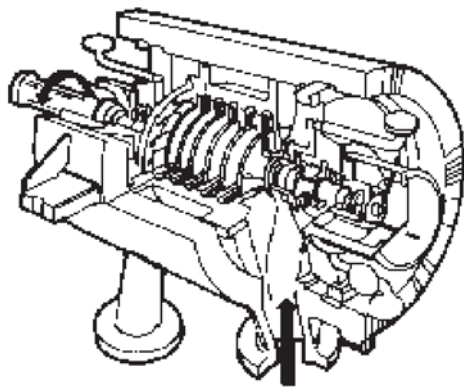


Figura 5.8: Turbocompressor radial

Os compressores de fluxo radial requerem altas velocidades de trabalho. Isto implica também um deslocamento mínimo de ar ($10 \text{ m}^3/\text{min}$).

As pressões influem na sua eficiência, razão pela qual geralmente são geradores de ar comprimido. Assim, comparando-se a sua eficiência com um compressor de deslocamento positivo, esta seria menor. Por isso, estes compressores são empregados quando se exige grandes volumes de ar comprimido.

5.1.7.2 Turbocompressor axial

O ar é acelerado ao longo do eixo (axialmente) por uma série de lâminas rotativas.

Entre cada conjunto de lâminas do rotor existe um conjunto de lâminas fixas, presas à carcaça, pelas quais o ar passa alternadamente, sendo impelido à alta velocidade, corrigindo o seu turbilhonamento. A seguir, o fluxo é dirigido para o estágio subsequente, onde uma transformação parcial de velocidade em pressão é executada simultaneamente.

Os compressores de fluxo axial tendem a produzir uma vazão constante a razões de pressões variáveis. Possuem maior capacidade de deslocamento mínimo, 900 m³/min.; rotações mais elevadas e pressões efetivas altas; fornecem o ar isento de óleo. A colocação de resfriamento intermediário é dificultosa.

Os compressores de fluxo axial possuem maior eficiência que os radiais para alta capacidade.

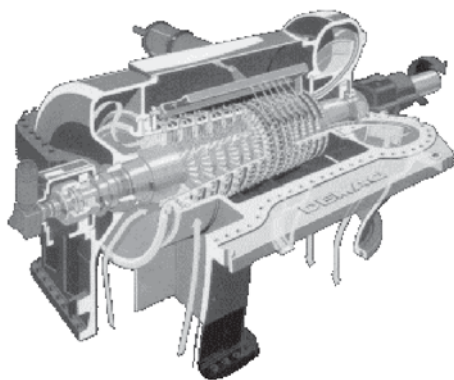


Figura 5.9: Turbo compressor axial

5.2 DIAGRAMA PARA SELEÇÃO DE COMPRESSORES

Neste diagrama estão indicadas as capacidades, em quantidade aspirada e pressão alcançada, para cada modelo de compressor.

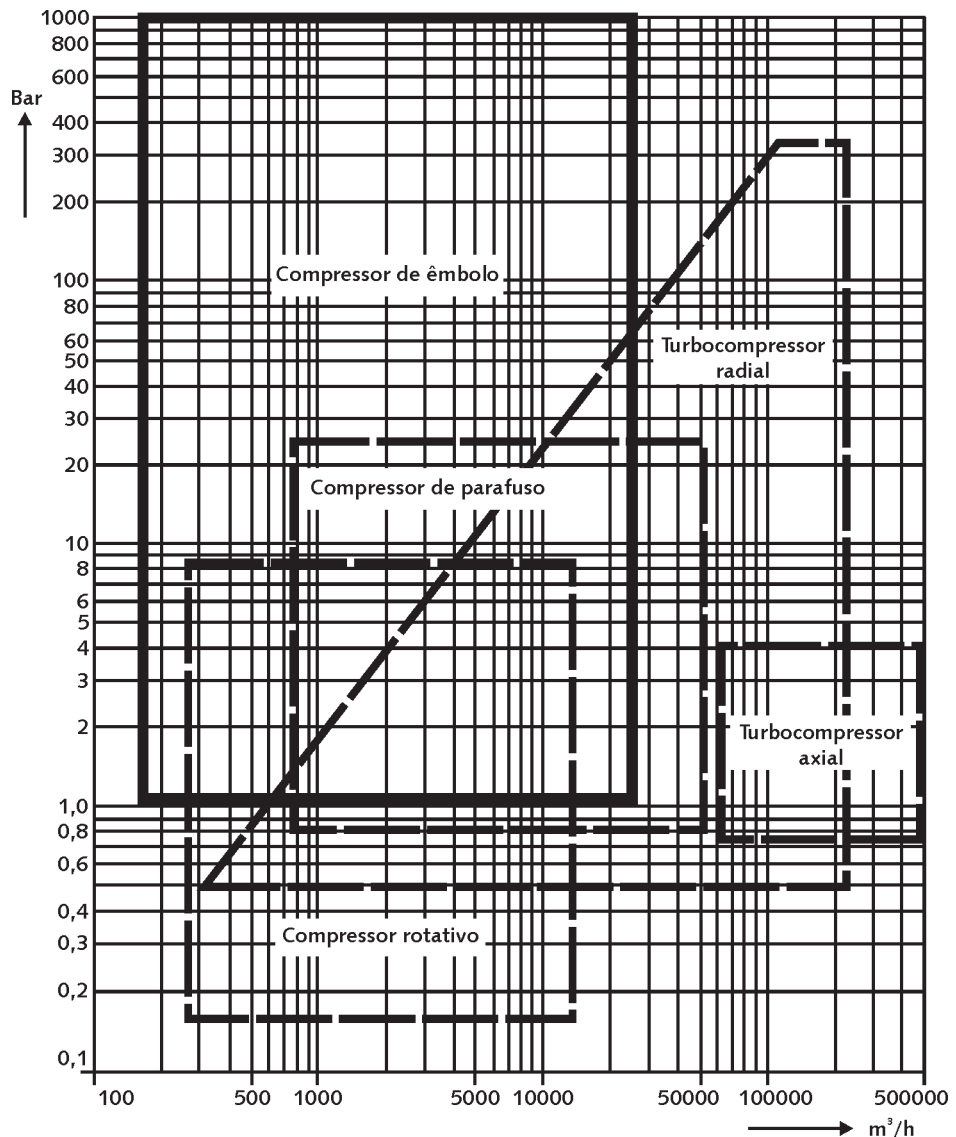


Figura 5.10: Diagrama para seleção de compressores

5.3 ITENS PARA SELEÇÃO DE COMPRESSORES

5.3.1 VOLUME DE AR FORNECIDO

É a quantidade de ar que está sendo fornecido pelo compressor.

Podemos ter o **volume de ar fornecido teórico**, aquele obtido por cálculos; porém, apenas o **volume de ar fornecido efetivo** pelo compressor é que interessa, pois com este é que são acionados e comandados os aparelhos pneumáticos.

5.3.2 PRESSÃO

- **Pressão de regime** é a pressão fornecida pelo compressor, bem como a pressão do reservatório e a pressão na rede distribuidora até o consumidor.
- **Pressão de trabalho** é a pressão necessária nos pontos de trabalho.

A pressão de trabalho é geralmente de 6 bar, e os elementos de trabalho estão construídos para esta faixa, que é tida como “pressão normalizada” ou “pressão econômica”.

Uma pressão constante é uma exigência para um funcionamento seguro e preciso dos componentes de sistemas industriais. Na dependência da pressão constante estão:

- A velocidade,
- As forças,
- Os movimentos temporizados dos elementos de trabalho e de comando.

5.3.3 ACIONAMENTO

O acionamento dos compressores, conforme as necessidades fabris, será por motor elétrico ou motor a explosão (gasolina, óleo diesel) tratando-se de uma estação móvel.

5.3.4 REFRIGERAÇÃO

Provocado pela compressão do ar e pelo atrito, forma-se calor no compressor, o qual deve ser dissipado. Conforme o grau de temperatura no compressor, é necessário escolher a refrigeração mais adequada.

Em compressores pequenos, são suficientes aletas (palhetas de aeração) para que o calor seja dissipado; em maiores, ventiladores. Tratando-se de uma estação de compressores com uma faixa de potência de acionamento mais elevada, uma refrigeração a ar seria insuficiente, por isso devem então ser equipados com uma refrigeração a água circulante, com torre de refrigeração ou água corrente.

5.3.5 LUGAR DE MONTAGEM

A estação de compressores deve ser montada dentro de um ambiente fechado, com proteção acústica para fora. O ambiente deve ter boa entrada de ar. O ar sugado deve ser fresco, seco e livre de poeira.

5.4 REGULAGEM

Para combinar o volume de fornecimento com o consumo de ar, é necessária uma regulagem dos compressores. Dois valores limites preestabelecidos (pressão máxima/mínima) influenciam o volume fornecido.

Existem diferentes tipos de regulagem, conforme mostra o quadro a seguir.

REGULAGEM DE MARCHA EM VAZIO	REGULAGEM DE CARGA PARCIAL	REGULAGEM INTERMITENTE
a) Regulagem por descarga	a) Regulagem por rotação	Com essa regulagem, o compressor funciona em dois campos (carga máxima e parada total).
b) Regulagem por fechamento	b) Regulagem por estrangulamento	

Figura 5.11: Tabela de tipos de regulagem

5.4.1 REGULAGEM DE MARCHA EM VAZIO

- **Regulagem por descarga:** Quando é alcançada a pressão pré-regulada, o ar escapará livre da saída do compressor através de uma válvula. Uma válvula de retenção evita que o reservatório se esvazie ou retorne para o compressor.

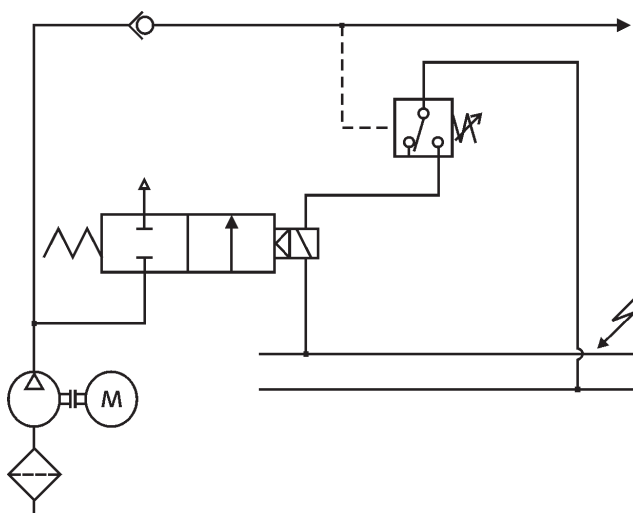


Figura 5.12: Regulagem por descarga

- **Regulagem por fechamento:** A admissão do ar é fechada quando a pressão máxima é atingida.

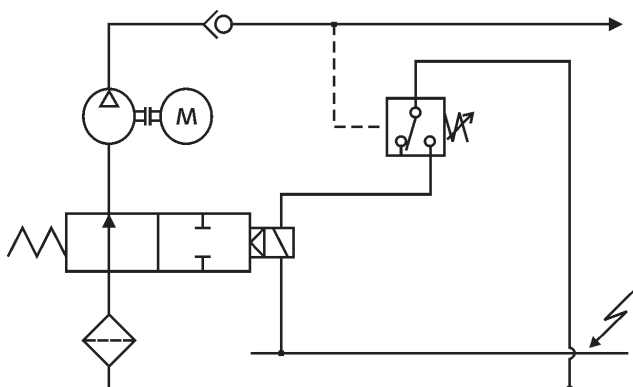


Figura 5.13: Regulagem por fechamento

5.4.2 REGULAGEM DE CARGA PARCIAL

- **Regulagem na rotação:** Sobre um dispositivo, ajusta-se o regulador de rotação do motor a explosão. A regulagem da rotação pode ser feita manualmente ou também automaticamente, dependendo da pressão de trabalho. Este tipo de regulagem também pode ser usado em motores elétricos; porém, isto não ocorre com muita frequência.
- **Regulagem por estrangulamento:** A regulagem se faz mediante simples estrangulamento no funil de sucção, e os compressores podem assim ser regulados para determinadas cargas parciais. Encontra-se esta regulagem em compressores de êmbolo rotativo e em turbocompressores.

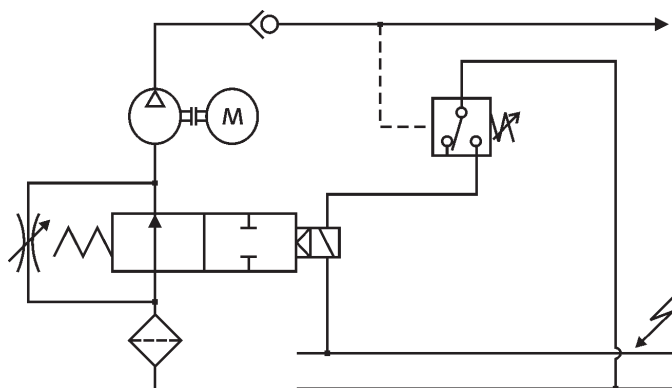


Figura 5.14: Regulagem por estrangulamento

5.4.3 REGULAGEM INTERMITENTE

Com esta regulagem, o compressor funciona em dois campos (carga máxima e parada total).

Ao alcançar a pressão máxima, o motor acionador do compressor é desligado, e, quando a pressão chega ao mínimo, o motor se liga novamente, e o compressor trabalha outra vez. A frequência de comutações pode ser regulada num pressóstato e, para que os períodos de comando possam ser limitados a uma medida aceitável, é necessário um grande reservatório de ar comprimido.

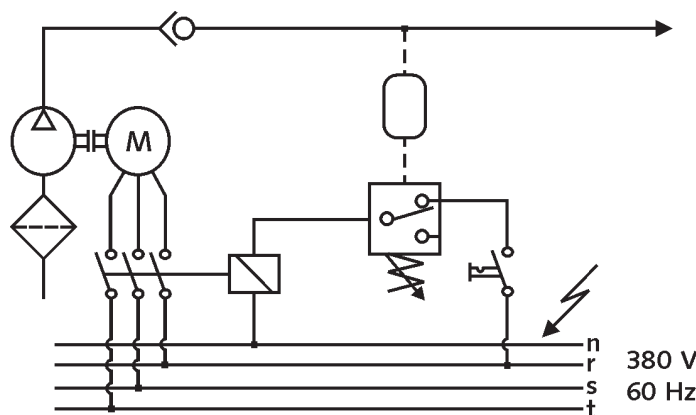


Figura 5.15: Regulagem intermitente

5.5 INSTALAÇÃO DOS COMPRESSORES

Na instalação de um compressor, devem ser considerados os seguintes princípios:

- a) Será instalado em local limpo, para que o ar ambiente, isento de poeira, possa deixar o filtro trabalhando com eficiência.
- b) O ar ambiente será seco, afim de que a quantidade de água condensada seja mínima.
- c) O local será suficientemente ventilado para resfriar convenientemente o compressor e o ar comprimido.
- d) Poderemos captar o ar a certa distância ou mesmo fora do local, observando para não ultrapassar a distância máxima de 30 metros. A tomada de ar deverá ser protegida contra as intempéries.
- e) O compressor será isolado do piso e colocado sobre uma base em nível, num lugar de fácil acesso para manutenção.
- f) O compressor será colocado próximo ao ponto de utilização, evitando assim perdas de pressão na linha.
- g) Será previsto na linha um comprimento mínimo para resfriamento, onde for necessário condensar a umidade do ar.
- h) Nas tubulações, evitar curvas e conexões, porque causam perda de pressão.
- i) A polia de ventilação será montada para a parede, com distância de 50 cm desta, permitindo, assim, o resfriamento do compressor.
- j) Certificar-se de que a tensão da linha de entrada seja idêntica à especificada pelo motor.
Verificar também a tensão dos aparelhos de controle automático.
- k) O motor e os aparelhos elétricos deverão ser ligados por pessoas habilitadas e competentes.
- l) Antes de ligar o motor, ter o cuidado de colocar óleo lubrificante de boa qualidade em todas as partes móveis do compressor e nos lugares apropriados.
- m) Após a ligação do motor, controlar o sentido de sua rotação, afim de que este gire no sentido certo, para o qual ele foi projetado.
- n) No caso de utilizar o compressor em lugar residencial ou comercial, torna-se necessário empregar um silenciador para reduzir o barulho ao nível mais baixo possível.

CAPÍTULO 6

RESERVATÓRIO DE AR COMPRIMIDO

Este reservatório serve para a estabilização da distribuição do ar comprimido. Ele elimina as oscilações de pressão na rede distribuidora e, quando há momentaneamente alto consumo de ar, é uma garantia de reserva.

A grande superfície do reservatório refrigera o ar suplementar, por isso se separa, diretamente no reservatório, uma parte da umidade do ar.

Os reservatórios devem ser instalados de modo que todos os drenos, conexões e a abertura de inspeção sejam de fácil acesso. Não devem ser enterrados ou instalados em local de difícil acesso; devem ser instalados de preferência fora da casa dos compressores, na sombra, para facilitar a condensação da umidade no ponto mais baixo para a retirada do condensado.

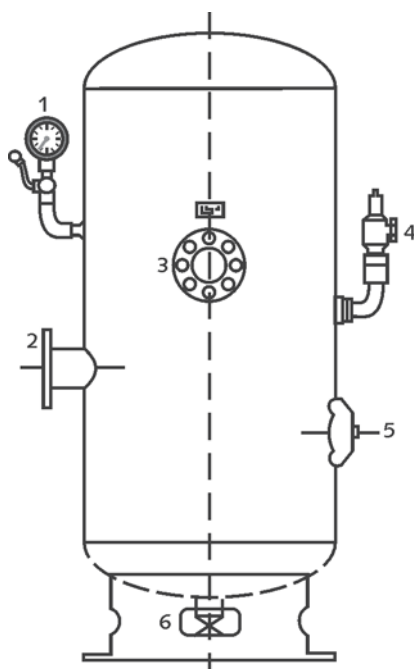


Figura 6.1: Reservatório de ar

- Legenda:
- 1 - manômetro
 - 2 - saída
 - 3 - entrada
 - 4 - válvula de alívio
 - 5 - abertura de inspeção
 - 6 - Dreno

CAPÍTULO 7

DISTRIBUIÇÃO DE AR COMPRIMIDO

7.1 REDE DE DISTRIBUIÇÃO

A rede de distribuição de ar comprimido compreende todas as tubulações que saem do reservatório, passam pelo secador e que, unidas, orientam o ar comprimido até os pontos individuais de utilização.

A rede possui duas funções básicas:

- Funcionar como um reservatório para atender às exigências locais.
- Comunicar a fonte com os equipamentos consumidores.

Numa rede distribuidora, para que haja eficiência, segurança e economia, são importantes três pontos:

- Baixa queda de pressão entre a instalação do compressor e os pontos de utilizações.
- Apresentar o mínimo de vazamento.
- Boa capacidade de separação do condensado em todo o sistema.

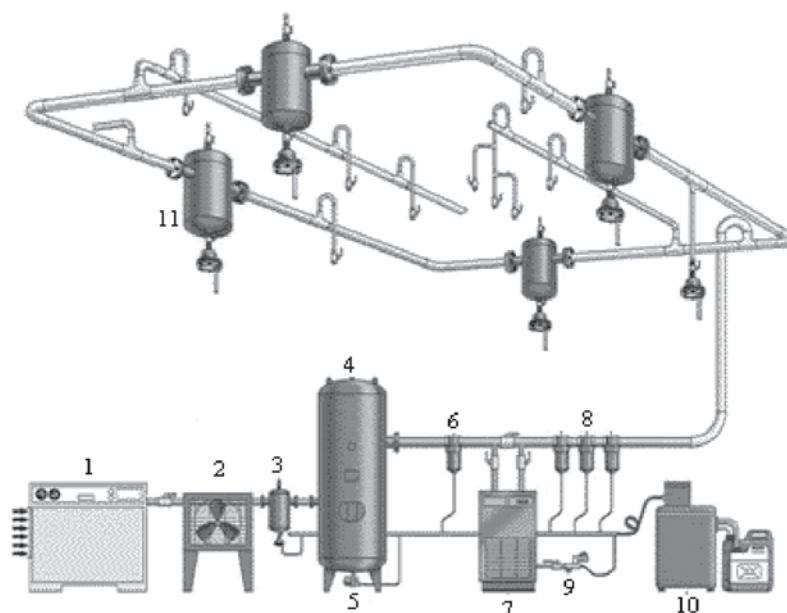


Figura 7.1: Rede de distribuição (Fargon engenharia e indústria)

- | | |
|------------------------------|---------------------------------------|
| 1 Compressor de parafuso | 7 Secador |
| 2 Resfriador posterior ar/ar | 8 Filtros coalescentes (grau x, y, z) |
| 3 Separador de condensado | 9 Purgador automático eletrônico |
| 4 Reservatório | 10 Separador de água e óleo |
| 5 Purgador automático | 11 Separador de condensado |
| 6 Pré Filtro coalescente | |

7.1.1 REDE DE DISTRIBUIÇÃO EM ANEL ABERTO

Assim chamada por não haver uma interligação na rede. Este tipo facilita a separação do condensado, pois ela é montada com uma certa inclinação, na direção do fluxo, permitindo o escoamento para um ponto de drenagem

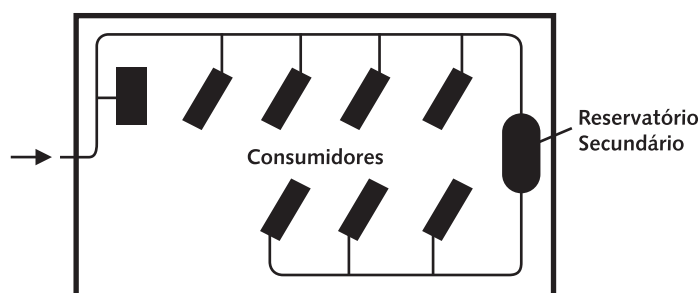


Figura 7.2: Rede de distribuição em anel aberto

7.1.2 REDE DE DISTRIBUIÇÃO EM ANEL FECHADO

Geralmente as tubulações principais são montadas em circuito fechado. Este tipo auxilia na manutenção de uma pressão constante, proporciona uma distribuição mais uniforme do ar, pois o fluxo circula em duas direções.

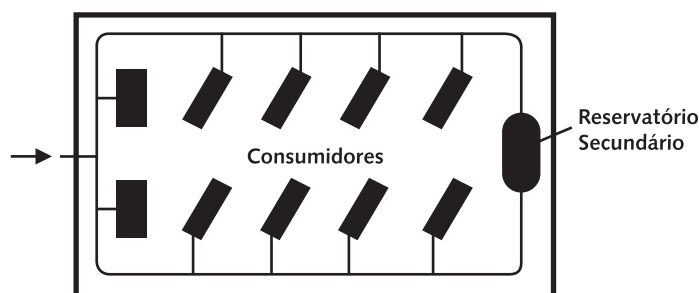


Figura 7.3: Rede de distribuição em anel fechado

7.1.3 REDE DE DISTRIBUIÇÃO COMBINADA

A rede combinada também é uma instalação em circuito fechado, a qual, por suas ligações longitudinais e transversais, oferece a possibilidade de trabalhar com ar em qualquer lugar.

Mediante válvulas de fechamento, existe a possibilidade de fechar determinadas linhas de ar comprimido quando não forem usadas ou quando for necessário deixá-las fora de serviço por razões de reparação e manutenção.

Também pode ser feito um controle de estanqueidade .

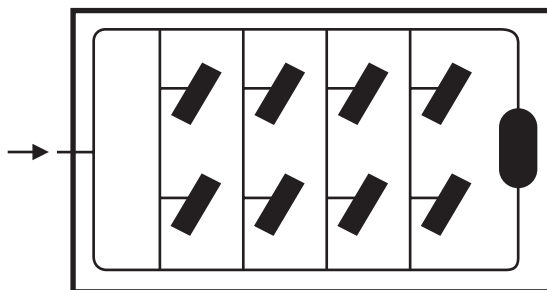


Figura 7.4: Rede de distribuição combinada

7.1.4 POSICIONAMENTO

É de importância não somente o correto dimensionamento, mas também a montagem das tubulações. As tubulações de ar comprimido requerem uma manutenção regular, razão pela qual não devem, se possível, ser montadas dentro de paredes ou de cavidades estreitas. O controle da estanqueidade das tubulações seria dificultado por essa causa. Em alguns casos especiais, é aconselhável colocar as redes em valetas apropriadas sob o pavimento, levando em consideração os espaços para montagem e manutenção. O posicionamento também deve permitir a drenagem do condensado.

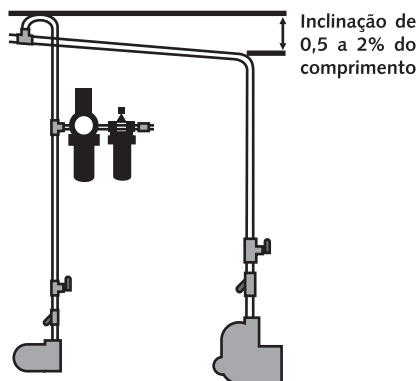


Figura 7.5: Inclinação, tomadas de ar e drenagem da umidade (Fargon engenharia e indústria)

As tubulações, em especial nas redes de circuito aberto, devem ser montadas com um declive de 0,5% a 2%, na direção do fluxo. Por causa da formação de água condensada, é fundamental, em tubulações horizontais, instalar os ramais de tomadas de ar na parte superior do tubo principal. Desta forma, evita-se que a água condensada eventualmente existente na tubulação principal possa chegar às tomadas de ar através dos ramais. Para interceptar e drenar a água condensada, devem ser instaladas derivações com drenos na parte inferior da tubulação principal. Os drenos, colocados nos pontos mais baixos, de preferência devem ser automáticos. Em redes mais extensas, aconselha-se instalar drenos distanciados aproximadamente 20 a 30 metros um do outro.

7.1.5 CURVATURA

As curvas devem ser feitas no maior raio possível para evitar perdas excessivas por turbulência. Evitar sempre a colocação de cotovelos de 90 graus. A curva mínima deve possuir um raio mínimo de duas vezes o diâmetro do tubo.

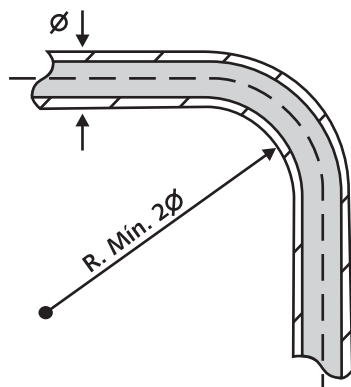


Figura 7.6: Curvatura da tubulação (Parker)

7.1.6 VAZAMENTOS

As quantidades de ar perdidas através de pequenos furos, acoplamentos com folgas, vedações defeituosas, quando somadas, alcançam elevados valores.

A importância econômica desta contínua perda de ar torna-se mais evidente quando comparada com o consumo do equipamento e a potência necessária para realizar a compressão. Desta forma, um vazamento na rede representa um consumo consideravelmente maior de energia. Podemos constatar isto através da tabela a seguir.

DIÂMETRO DO FURO		ESCAPE DO AR EM:	POTÊNCIA NECESSÁRIA PARA COMPRESSÃO			
		588,36 kPa	85 psi			
Tamanho	mm	pol	m ³ /s	c.f.m	Cv	Kw
Real						
•	1	3/64	0,001	2	0,4	0,3
●	3	1/8	0,01	21	4,2	3,1
●	5	3/16	0,027	27	11,2	8,3
●	10	3/8	0,105	220	44	33

Figura 7.7: Tabela de vazamentos

7.2 DIMENSIONAMENTO DE TUBULAÇÕES

7.2.1 TUBULAÇÕES PRINCIPAIS

Na escolha do material da tubulação, temos várias possibilidades: cobre, latão, aço-liga, material sintético, tubo de aço preto, tubo de aço zincado (galvanizado).

Toda tubulação deve ser fácil de instalar, resistente à corrosão e de preço vantajoso. Tubulações instaladas para um tempo indeterminado devem ter uniões soldadas que, neste caso, serão de grande vantagem, pois são bem vedadas e não muito custosas.

As desvantagens destas uniões são as escamas que se formam ao soldar, as quais devem ser retiradas da tubulação. A costura da solda também é sujeita à corrosão, e isto requer a montagem de uma unidade de conservação.

Em tubulações de tubos de aço zincado (galvanizado), o ponto de conexão nem sempre é totalmente vedado. A resistência à corrosão, nestes tubos, não é muito melhor do que a do tubo de aço preto. Lugares decapados (roscas) também podem enferrujar, razão pela qual também aqui é importante o emprego da unidade de conservação.

Em casos especiais prevêm-se tubos de cobre ou de material sintético (plástico).

7.2.2 TUBULAÇÕES SECUNDÁRIAS

Tubulações à base de borracha (mangueiras) somente devem ser usadas onde for requerida uma certa flexibilidade e onde, devido a um esforço mecânico mais elevado, não possam ser usadas tubulações de material sintético.

Tubulações à base de polietileno e poliamido, hoje são mais freqüentemente usadas em máquinas e, aproveitando novos tipos de conexões rápidas, as tubulações de material sintético podem ser instaladas de maneira rápida e simples, sendo ainda de baixo custo.

7.2.3 DIMENSIONAMENTO DA REDE CONDUTORA

Redes mal dimensionadas podem provocar consideráveis perdas de carga.

O diâmetro da tubulação deve ser escolhido de maneira que, mesmo com um consumo de ar crescente, a queda da pressão, do reservatório até o consumidor, não ultrapasse valores aceitáveis. Uma queda maior da pressão prejudica a rentabilidade do sistema e diminui consideravelmente sua capacidade.

Já no projeto da instalação de compressores deve ser prevista uma possível ampliação posterior e, conseqüentemente, maior demanda de ar, determinando dimensões maiores dos tubos na rede distribuidora. A montagem posterior de uma rede distribuidora de dimensões maiores (ampliação) acarreta despesas elevadas.

A escolha do diâmetro da tubulação não é realizada por quaisquer fórmulas empíricas ou para aproveitar tubos por acaso existentes em depósito, mas sim se considerando:

- Volume corrente (vazão).
- Comprimento de rede.
- Queda de pressão admissível.
- Pressão de trabalho.
- Número de pontos de estrangulamento na rede.

Para esta escolha, existem dois critérios de cálculo que estão intimamente ligados:

- Dimensionamento pela perda de carga.
- Dimensionamento pela velocidade.

Dimensionamento pela perda de carga

A perda de carga é decorrente do atrito do ar contra as paredes das tubulações. Quanto mais longa a linha, maior será a perda. Além de considerar o comprimento físico da tubulação, também deve ser dada especial atenção às perdas localizadas nas válvulas e conexões instaladas, na linha.

Através da equação abaixo, poderemos calcular a perda da carga na rede de distribuição.

$$\Delta p = 1,663785 \times 10^3 \times \frac{Q^{1,85} \times L_r}{d^5 \times p}$$

Onde:

Δp - Perda de carga (não superior a 0,3; em grandes redes pode chegar a 0,5 bar);

Q - Vazão de ar (N m³/s);

L_r - Comprimento real da tubulação (M);

d - Diâmetro interno da tubulação (mm);

p - Pressão de trabalho absoluta (Bar).

Da equação acima, deduzimos a fórmula para calcular o diâmetro interno da tubulação:

$$d = 10 \times \sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^3 \times Q^{1,85} \times L_r}{\Delta p \times p}}$$

A tabela a seguir determina o comprimento equivalente em função da perda de carga:

CONEXÕES		DIÂMETRO NOMINAL										
		1/2"	3/4"	1"	1.1/4"	1.1/2"	2"	2.1/2"	3"	4"	5"	6"
90° Cotovelo comum	ROSQ	1,1	1,34	1,58	2,0	2,25	2,6	2,8	3,4	4,0	-	-
	FLAN	0,30	0,37	0,50	0,62	0,73	0,95	1,1	1,3	1,8	2,2	2,7
90° Curva raio longo	ROSQ	0,67	0,70	0,83	0,98	1,0	1,1	1,1	1,2	1,4	-	-
	FLAN	0,33	0,40	0,49	0,61	0,70	0,83	0,88	1,0	1,3	1,5	1,7

Curva 45°	ROSQ	0,21	0,28	0,39	0,52	0,64	0,83	0,97	1,2	1,7	-	-
	FLAN	0,14	0,18	0,25	0,34	0,40	0,52	0,61	0,80	1,1	1,4	1,7
TEE - Fluxo em linha	ROSQ	0,52	0,73	0,99	1,4	1,7	2,3	2,8	3,7	5,2	-	-
	FLAN	0,21	0,25	0,30	0,40	0,45	0,55	0,58	0,67	0,85	1,10	1,2
TEE - Fluxo pelo ramal	ROSQ	1,3	1,6	2,0	2,7	3,0	3,7	3,9	5,2	6,4	-	-
	FLAN	0,61	0,80	1,0	1,3	1,6	2,0	2,3	2,9	3,7	4,6	5,5
Curva 180° raio longo	ROSQ	1,1	1,3	1,6	2,0	2,3	2,6	2,8	3,4	4,0	-	-
	FLAN	0,34	0,40	0,49	0,61	0,70	0,83	0,88	1,00	1,3	1,5	1,7
Válvula globo aberta	ROSQ	6,7	7,3	8,8	11,3	12,8	16,5	18,9	24,0	33,5	-	-
	FLAN	11,6	12,2	13,7	16,5	18,0	21,4	23,5	28,7	36,6	45,7	47,9
Válvula gaveta	ROSQ	0,17	0,20	0,25	0,34	0,37	0,46	0,52	0,58	0,76	-	-
	FLAN	-	-	-	-	-	0,80	0,83	0,85	0,88	0,95	0,98
Válvula angular	ROSQ	4,6	4,6	5,2	5,5	5,5	5,5	5,55	5,55	5,55	-	-
	FLAN	4,6	4,6	5,2	5,5	5,5	6,4	6,7	8,5	11,6	15,2	19,2
Válvula retenção porinhola	ROSQ	2,4	2,7	3,4	4,0	4,6	5,8	6,7	8,2	11,6	-	-
	FLAN	1,2	1,6	2,2	3,0	3,7	5,2	6,4	8,3	11,6	15,2	19,2
União filtro Y	ROSQ	0,07	0,07	0,08	0,11	0,12	0,14	0,14	0,16	0,19	-	-
	FLAN	1,5	2,0	2,3	5,5	8,1	8,3	8,8	10,4	12,8	16,2	18,6

Figura 7.8: Tabela de perda de carga

7.3 PREPARAÇÃO DO AR COMPRIMIDO

Na prática, encontramos exemplos que mostram que se deve dar muito valor à qualidade do ar comprimido. Impurezas em forma de partículas de sujeira ou ferrugem, restos de óleo e umidade levam, em muitos casos, a falhas em instalações e avarias nos elementos pneumáticos. Enquanto a separação primária do condensado é feita no separador após o resfriador, a separação final, filtragem e outros tratamentos secundários do ar comprimido são executadas no local de consumo. Nisso é necessário atentar especialmente para a ocorrência de umidade. A água (umidade) já penetra na rede pelo próprio ar aspirado pelo compressor.

A incidência da umidade depende, em primeira instância, da umidade relativa do ar que, por sua vez, depende da temperatura e condições atmosféricas.

Os efeitos da umidade podem ser limitados por meio de:

- Filtragem do ar aspirado antes do compressor.
- Uso de compressores livres de óleo.
- Instalação de resfriadores.
- Uso de secadores.
- Utilização de unidades de conservação.

7.3.1 RESFRIADOR DE AR E SEPARADOR DE CONDENSADOS

Como vimos no tópico anterior, a umidade presente no ar comprimido é prejudicial.

Para ajudar a resolver de maneira eficaz o problema inicial da água nas instalações de ar comprimido, temos o resfriador posterior, localizado entre a saída do compressor e o reservatório, pelo fato de o ar comprimido na saída atingir sua maior temperatura.

O resfriador posterior é simplesmente um trocador de calor utilizado para resfriar o ar comprimido. Como consequência deste resfriamento, permite-se retirar cerca de 75% a 90% do vapor de água contido no ar, bem como vapores de óleo; além de evitar que a linha de distribuição sofra uma dilatação causada pela alta temperatura de descarga do ar.

Um resfriador posterior é constituído basicamente de duas partes: um corpo geralmente cilíndrico, onde se alojam feixes de tubos confeccionados com materiais de boa condução de calor, formando no interior do corpo uma espécie de colméia; e um separador de condensado dotado de dreno.

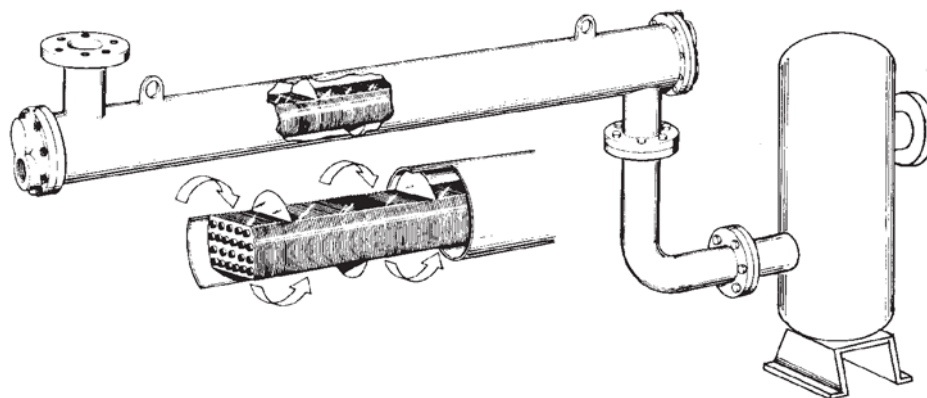


Figura 7.9: Resfriador de ar e separador de condensados (Parker)

O ar proveniente do compressor é obrigado a passar através dos tubos, sempre em sentido oposto ao fluxo da água de refrigeração. Na saída, está o separador.

Devido à sinuosidade do caminho que o ar deve percorrer, provoca-se a eliminação da água condensada, que fica retida numa câmara. A parte inferior do separador é dotada de um dreno manual ou automático na maioria dos casos, através do qual a água condensada é expulsa para a atmosfera. A temperatura na saída do resfriador dependerá da temperatura do ar que é descarregado, da temperatura da água de refrigeração e do volume de água necessário para a refrigeração. Certamente, a capacidade do compressor influi diretamente no porte do resfriador.

7.3.2 SECADOR DE AR

O 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. Para tal, o uso de um secador de ar comprimido é aconselhável.

Os meios de secagem, mais utilizados, são três:

- Secagem por absorção.
- Secagem por adsorção.
- Secagem por refrigeração.

7.3.2.1 Secagem por absorção

A secagem por absorção é um processo puramente químico.

Neste processo, o ar comprimido passa sobre uma camada solta de um elemento secador. A água ou vapor de água que entra em contato com esse elemento, combina-se quimicamente com ele e se dilui na forma de uma combinação elemento secador/água. Esta mistura deve ser removida periodicamente do absorvedor. Essa operação pode ser manual ou automática. Com o tempo, o elemento secador é consumido e o secador deve ser reabastecido periodicamente (duas a quatro vezes por ano). O secador por absorção separa ao mesmo tempo vapor e partículas de óleo, porém, quantidades maiores de óleo influenciam no funcionamento do secador. Devido a isso é conveniente antepor um filtro fino ao secador.

O processo de absorção caracteriza-se por:

- Montagem simples da instalação.
- Desgaste mecânico mínimo já que o secador não possui peças móveis.
- Não necessita de energia externa.

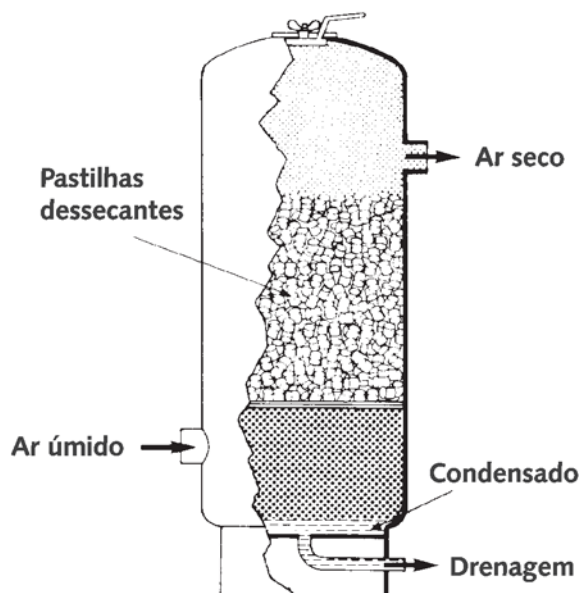


Figura 7.10: Secagem por absorção (Parker)

7.3.2.2 Secagem por adsorção

A secagem por adsorção está baseada num processo físico. (adsorver: admitir uma substância à superfície de outra). O elemento secador é um material granulado com arestas ou em forma de pérolas. Este elemento secador está formado de quase 100% de dióxido de silício. Em geral é conhecido pelo nome "GEL" (Sílica Gel). A tarefa do "GEL" consiste em adsorver a água e o vapor de água. O ar comprimido úmido é conduzido através da camada de "GEL". O elemento secador segura a umidade do ar comprimido.

É evidente que a capacidade de acumulação de uma camada de "GEL" é limitada. Uma vez saturado o elemento secador, poderá ser regenerado soprando-se ar quente na camada saturada.

Mediante a montagem em paralelo de duas instalações de adsorção, uma delas pode estar ligada para secar enquanto a outra está sendo soprada com ar quente (regeneração).

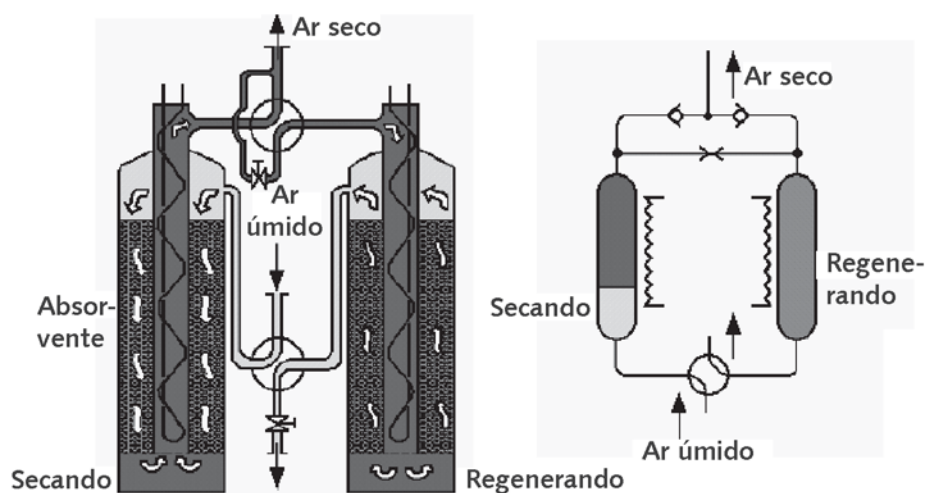


Figura 7.11: Esquemática da secagem por adsorção ((Parker)

7.3.2.3 Secagem por refrigeração

O secador de ar comprimido por resfriamento funciona pelo princípio da diminuição de temperatura do ponto de orvalho. A temperatura do ponto de orvalho é a temperatura à qual deve ser esfriado um gás para obter a condensação do vapor de água contida nele. O ar comprimido a ser secado entra no secador, passando primeiro pelo denominado trocador de calor a ar. Mediante o ar frio e seco proveniente do trocador de calor (vaporizador), é esfriado o ar quente que está entrando. A formação de condensado de óleo e água é eliminado pelo trocador de calor. Este ar comprimido pré-esfriado circula através do trocador de calor (vaporizador) e, devido a isso, sua temperatura desce até 1,7°C aproximadamente. Desta maneira, o ar é submetido a uma segunda separação de condensado de água e óleo. Posteriormente, o ar comprimido pode ainda passar por um filtro fino a fim de eliminar os corpos estranhos.

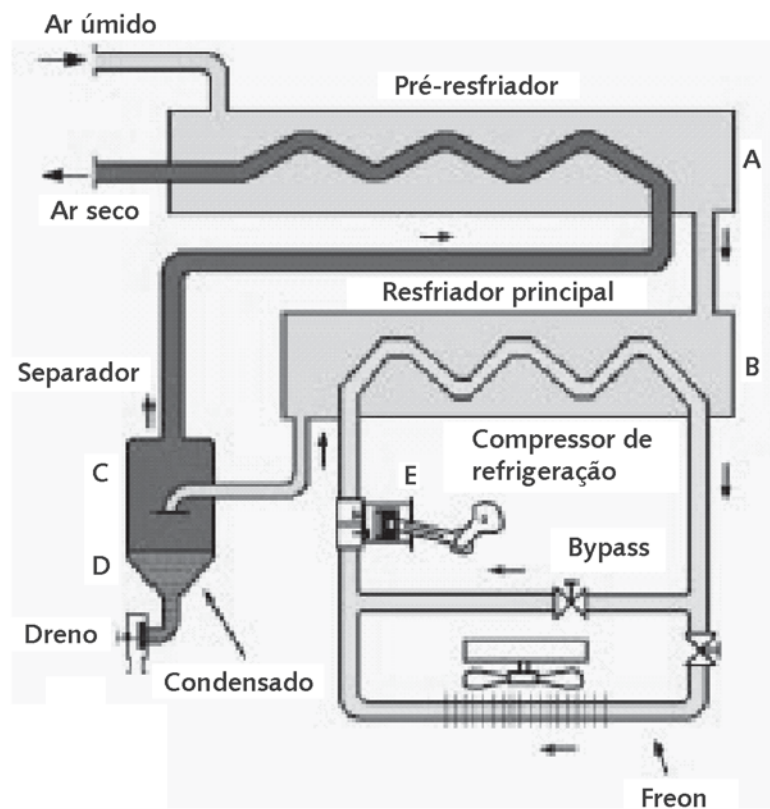


Figura 7.12: Secagem por refrigeração (Parker)

CAPÍTULO 8

UNIDADE DE CONSERVAÇÃO DE AR

Após passar por todo o processo de produção, tratamento e distribuição, o ar comprimido deve sofrer um último condicionamento, antes de ser utilizado nos equipamentos.

Neste caso, o beneficiamento do ar comprimido consiste no seguinte: filtragem, regulação da pressão e lubrificação. Uma duração prolongada e funcionamento regular de qualquer componente em um circuito depende antes de mais nada do grau de filtragem, da isenção de umidade, da estabilidade da pressão e da lubrificação das partes móveis.

Uma das maneiras de fazer isto acontecer é a instalação da unidade de conservação de ar. Esta unidade é composta basicamente da combinação dos seguintes elementos:

- Filtro de ar comprimido.
- Regulador de ar comprimido com manômetro.
- Lubrificador de ar comprimido.

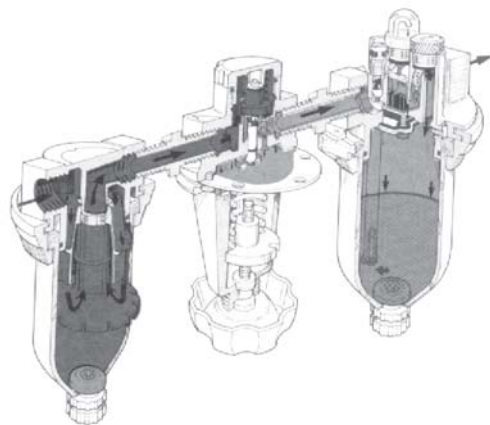


Figura 8.1: Unidade de conservação do ar (Parker)

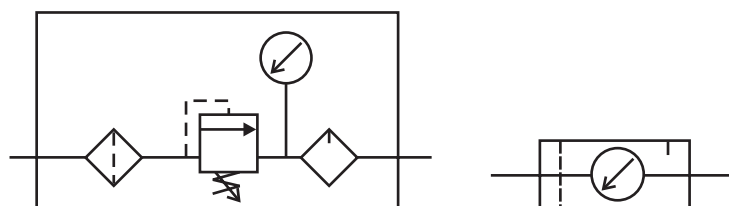


Figura 8.2: Simbologia detalhada e simbologia simplificada

8.1 FILTRO DE AR COMPRIMIDO

A função de um filtro de ar comprimido é reter as partículas de impureza e a água condensada presentes no ar que passa por ele. O ar comprimido, ao entrar no copo, é forçado a um movimento de rotação por meio de "rasgos direcionais". Com isso, separam-se as impurezas maiores, bem como as gotículas de água, por meio de força centrífuga, e depositam-se então no fundo do copo. O condensado acumulado no fundo do copo deve ser eliminado, o mais tardar, ao atingir a marca do nível máximo, já que, se isto ocorrer, ele será arrastado novamente pelo ar que passa.

As partículas sólidas maiores que a porosidade do filtro são retidas por este. Com o tempo, o acúmulo destas partículas impede a passagem do ar. Portanto, o elemento filtrante deve ser limpo ou substituído a intervalos regulares. Em filtros normais, a porosidade se encontra entre 30 a 70 microns.

Filtros mais finos têm elementos com porosidade até 3 microns. Se houver uma acentuada deposição de condensado, convém substituir a válvula de descarga manual por uma automática.

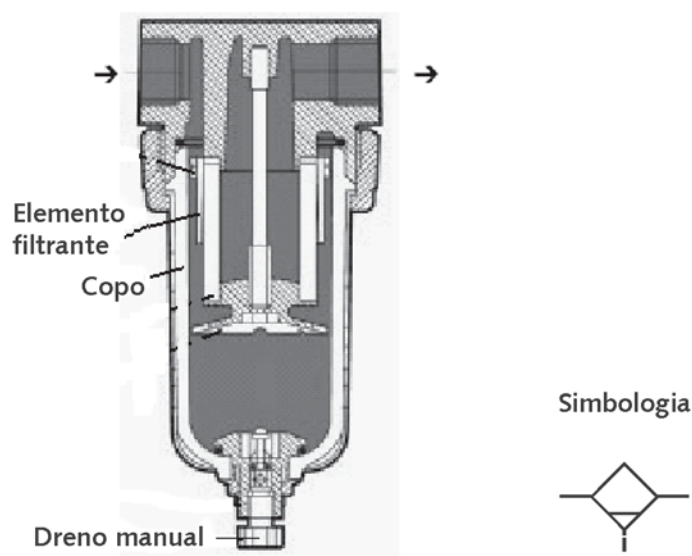


Figura 8.3: Filtro de ar comprimido (Parker)

8.1.1 FUNCIONAMENTO DO DRENO AUTOMÁTICO

Por um furo de passagem, o condensado atinge o fundo do copo. Com o aumento do nível do condensado, um flutuador se ergue. A um determinado nível, abre-se uma passagem. O ar comprimido existente no copo passa por ela e desloca o êmbolo para a direita. Com isso se abre o escape para o condensado.

Pelo escape, o ar só passa lentamente, mantendo-se, com isso, aberta por um tempo ligeiramente maior a saída do condensado.

8.2 REGULADOR DE AR COMPRIMIDO COM MANÔMETRO

O regulador tem por função manter constante a pressão de trabalho (secundária) independente da pressão da rede (primária) e consumo do ar. A pressão primária tem que ser sempre maior que a secundária. A pressão é regulada por meio de uma membrana. Uma das faces da membrana é submetida à pressão de trabalho. Do outro lado, atua uma mola cuja pressão é ajustável por meio de um parafuso de regulação. Com aumento da pressão de trabalho, a membrana se movimenta contra a força da mola; conseqüentemente, a secção nominal de passagem na sede da válvula diminui progressivamente, ou se fecha totalmente. Isto significa que a pressão é regulada pelo fluxo. Na ocasião do consumo, a pressão diminui e a força da mola reabre a válvula. Com isso, o manter da pressão regulada se torna um constante abrir a fechar da válvula. Para evitar a ocorrência de uma vibração indesejável sobre o prato da válvula, é constituído um amortecimento por mola ou ar. A pressão de trabalho, indicada por um manômetro, pode crescer demasiada do lado secundário, fazendo com que a membrana seja pressionada contra a mola e abra a sua parte central, saindo ar em excesso pelo furo de escape, para a atmosfera.

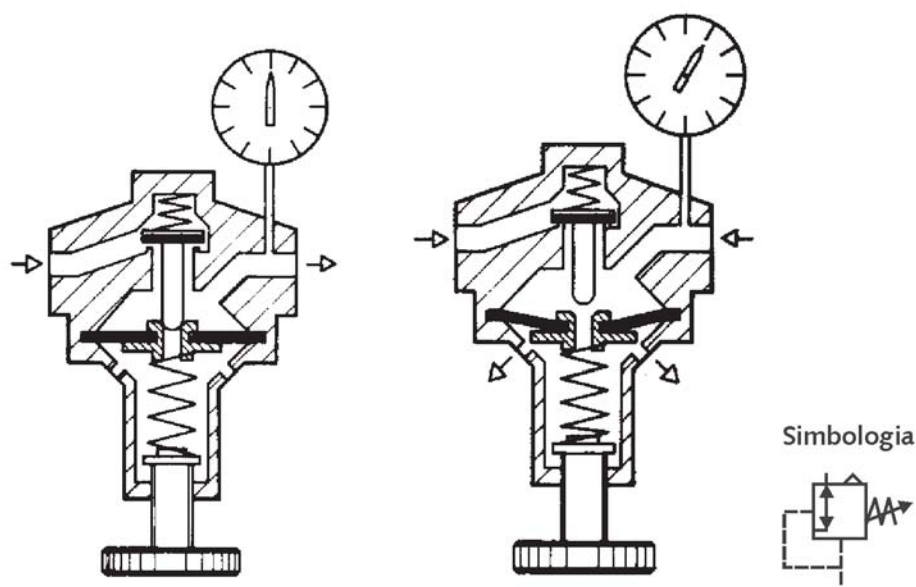


Figura 8.4: Regulador de ar comprimido com manômetro

8.2.1 MANÔMETROS

São instrumentos utilizados para medir e indicar a intensidade de pressão do ar comprimido, óleo etc. Nos circuitos pneumáticos e hidráulicos, os manômetros são utilizados para indicar o ajuste da intensidade de pressão nas válvulas, que pode influenciar a força ou o torque de um conversor de energia. Um dos manômetros mais utilizados é o do tipo tubo de Bourdon.

8.2.1.1 Manômetro tipo tubo de Bourdon

Consiste em uma escala circular sobre a qual gira um ponteiro indicador ligado a um jogo de engrenagens e alavancas, este conjunto é ligado a um tubo recurvado, fechado em uma extremidade e aberto em outra que está ligada com a entrada de pressão.

Aplicando-se pressão na entrada, o tubo tende a endireitar-se, articulando as alavancas com a engrenagem, transmitindo movimento para o indicador e registrando a pressão sobre a escala.

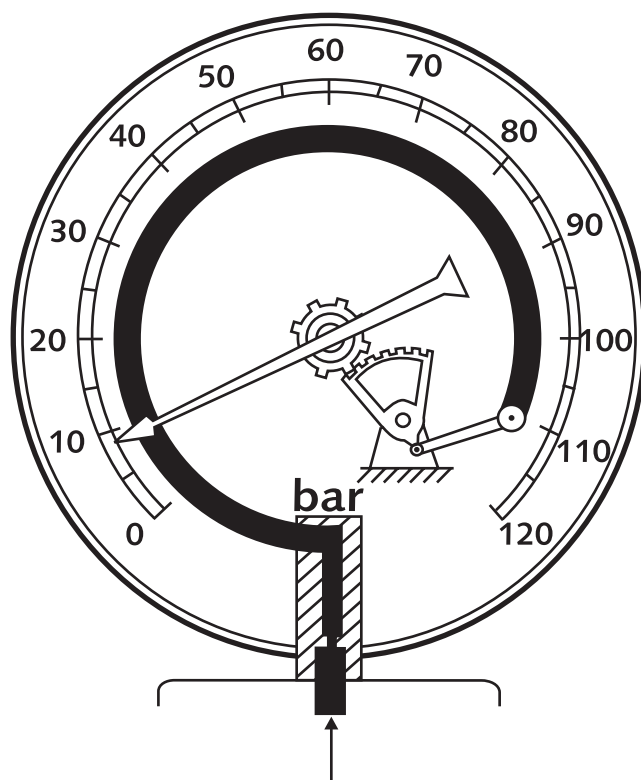


Figura 8.5: Manômetro tipo tubo de Bourdon (Parker)

8.3 LUBRIFICADOR DE AR COMPRIMIDO

O lubrificador tem a tarefa de abastecer suficientemente, com materiais lubrificantes, os elementos pneumáticos. Os materiais lubrificantes são necessários para garantir um desgaste mínimo dos elementos móveis, manter o mínimo possível as forças de atrito e proteger os aparelhos contra a corrosão.

Lubrificadores de óleo trabalham, geralmente, segundo o princípio Venturi. A diferença de pressão Δp (queda da pressão) entre a pressão antes do bocal nebulizador e a pressão no ponto estrangulador do bocal será aproveitada para sugar óleo de um reservatório e de misturá-lo com o ar em forma de neblina. Com um parafuso de regulagem, é dada a possibilidade de regular as gotas de óleo por unidade de tempo.

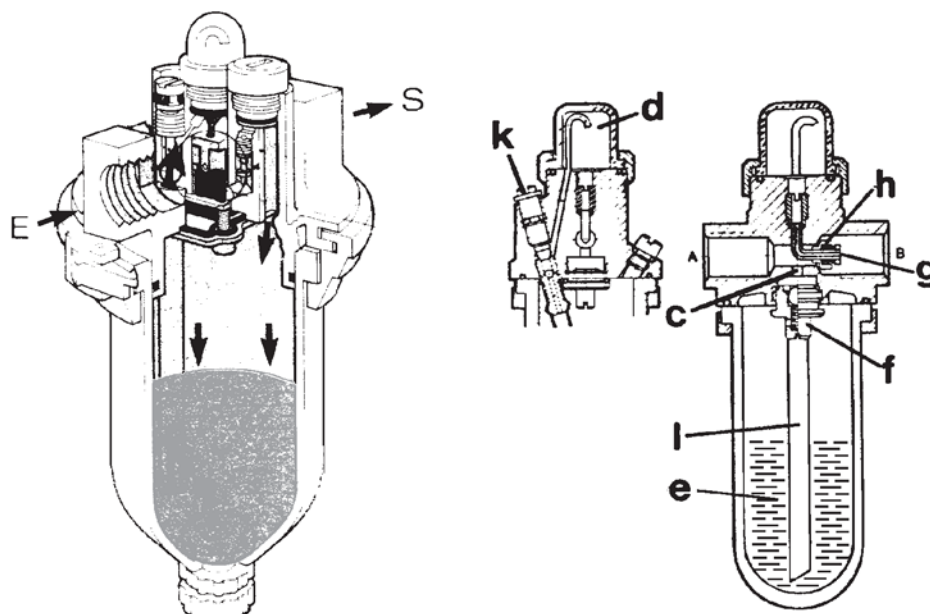


Figura 8.6: Lubrificador (Parker)

8.3.1 PRINCÍPIO DE VENTURI

É a diferença de pressão Δp (queda de pressão) entre a pressão antes do local nebulizador e a pressão no ponto de estrangulamento do local. Será aproveitada para sugar óleo de um reservatório e misturá-lo com o ar em forma de neblina.

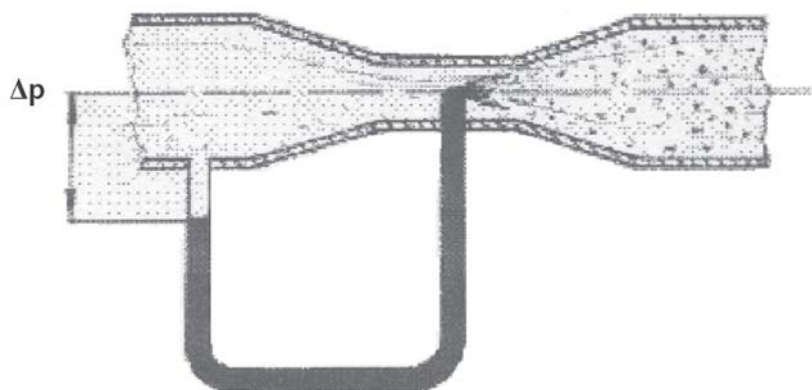


Figura 8.7: Demonstração do princípio de Venturi

8.4 INSTALAÇÃO DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

A vazão total de ar em m^3/hora é determinante para o tamanho da unidade. Uma demanda (consumo) de ar grande demais provoca uma queda de pressão nos aparelhos. Deve-se observar rigorosamente os dados indicados pelo fabricante. A pressão de trabalho nunca deve ser superior à indicada no

aparelho. A temperatura ambiente não deve ser maior que 50°C (máximo para copos de material sintético). É muito importante observar o posicionamento da Unidade de Conservação no circuito. A sua instalação deve ser no nível superior ao das válvulas e dos atuadores. Quando isto não for possível, pelo menos o lubrificador deve estar nesta condição. A razão deste cuidado deve-se ao fato de o óleo contido no lubrificador ser arrastado pelo ar até as válvulas, atuadores e ferramentas em forma de névoa. Se o lubrificador se situa em um nível inferior aos componentes a serem lubrificadas, o óleo pode se condensar nas paredes dos condutos, prejudicando a lubrificação. Outro ponto a ser observado é a distância máxima do lubrificador aos equipamentos a serem lubrificadas, a qual não deve ultrapassar 5 metros, quando se tem um número muito grande de cotovelos no circuito; ou a 10 metros, quando a instalação é mais retilínea. Caso típico se observa nas grandes indústrias, onde se tem uma linha de ar alimentando vários equipamentos pneumáticos, situados a distâncias consideráveis, e um único lubrificador no início do sistema. Quando se tem uma rede muito extensa, deve-se colocar tantos lubrificantes quantos se fizerem necessários, respeitando a distância máxima permitida.

8.4.1 MANUTENÇÃO DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

a) Filtro de ar comprimido: O nível de água condensada deve ser controlado regularmente, pois a altura marcada no copo indicador não deve ser ultrapassada. A água condensada acumulada pode ser arrastada para a tubulação de ar comprimido e para os equipamentos. Para drenar a água condensada, deve-se abrir o parafuso de dreno no fundo do copo indicador. O cartucho filtrante, quando sujo, também deve ser limpo ou substituído.

b) Regulador de pressão de ar comprimido: Na existência de um filtro de ar comprimido antes do regulador, este não necessita de manutenção.

c) Lubrificador de ar comprimido: Controlar o nível de óleo no copo indicador; se necessário, completar óleo até a marcação. Filtros de material plástico e o copo do lubrificador devem ser limpos somente com querosene. Para o lubrificador, devem ser usados somente óleos minerais de baixa viscosidade (3,5°E a 20°C).

TIPOS DE ÓLEOS ADEQUADOS	VISCOSIDADE A 20 C°
Aral Oel TU 500	23.6 c St
Avia Avilub RSL3	34 c St
BP Energol HLP 40	27 c St
Esso Spinesso 10	23 c St
Mobil Vac HLP 9	25.2 c St
Shell Tellus C-10	22 c St
Texaco Rando Oil AAA	25 c St
Valvoline Ritzol R-60	26 c St
Vedol Andarin 38	20.5 c St
HR - 32 BR	31.2 c St

Figura 8.8: Tabela de lubrificantes

CAPÍTULO 9

VÁLVULAS PNEUMÁTICAS

Os comandos pneumáticos consistem em elementos de sinal, elementos de comando e elementos de trabalho. Os elementos emissores de sinal e de comando influenciam o processo de trabalho, razão pela qual são denominados “válvulas”.

As válvulas, segundo as suas funções, são subdivididas em cinco grupos:

- Válvulas direcionais.
- Válvulas de bloqueio.
- Válvulas de fluxo.
- Válvulas de pressão.
- Válvulas de fechamento.
- Combinação de válvulas.

9.1 VÁLVULAS DIRECIONAIS

São elementos que influenciam o percurso do fluxo de ar, principalmente nas partidas, paradas e na direção do fluxo.

9.1.1 SIMBOLOGIA DE VÁLVULAS

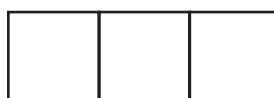
Em esquemas pneumáticos, para representarmos as válvulas direcionais, são utilizados símbolos. Estes símbolos não caracterizam o tipo de construção, mas somente a função das válvulas.

9.1.2 CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

Número de posições: contadas a partir do número de quadrados da simbologia.



2 posições



3 posições

Figura 9.1: Número de posições

Número de vias: contadas a partir do número de tomadas que a válvula possui em apenas uma posição. As válvulas direcionais podem ser descritas abreviadamente da seguinte forma: Coloca-se V.D., para representar

abreviadamente o termo válvula direcional. Depois, escreve-se o número de vias, ao lado a barra (/). Logo após, o número de posições e mais a palavra vias.



Figura 9.2: Número de vias

9.1.3 MEIOS DE ACIONAMENTO

Os acionamentos servem para inverter de posição as válvulas direcionais.

MANUAIS		Geral		Alavanca
		Botão		Pedal
MECÂNICOS		Pino		Rolete
		Mola		Gatilho
ELÉTRICOS		Solenóide com uma bobina		Solenóide com duas bobinas
PNEUMÁTICOS DIRETOS		Piloto positivo (acréscimo de pressão)		Diferencial de áreas
		Piloto negativo (decréscimo de pressão)		
PNEUMÁTICOS INDIRETOS		Servo-piloto positivo		Controle interno
		Servo-piloto negativo		
CENTRALIZAÇÕES		Por piloto positivo		Por trava
		Por molas		

Figura 9.3: Tabela de meios de acionamento

9.1.4 IDENTIFICAÇÃO DE VIAS

Para garantir a identificação e a ligação correta das válvulas, marcam-se as vias com letras maiúsculas ou números, conforme o quadro a seguir.

ORIFÍCIO	NORMA DIN 24300			NORMA ISO 1219		
Pressão	P			1		
Utilização	A	B	C	2	4	6
Escape	R	S	T	3	5	7
	EA	EB	EC			
Pilotagem	X	Y	Z	10	12	14

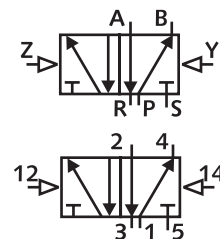
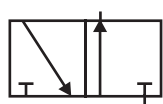


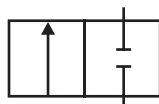
Figura 9.4: Tabela de procedimento de identificação de vias

9.1.5 VÁLVULAS NA E NF

Válvulas direcionais com duas posições e até três vias que tenham, na posição de repouso, a via de pressão bloqueada são chamadas de Normalmente Fechadas (NF). Aquelas que, ao contrário, possuem esta via aberta são denominadas Normalmente Abertas (NA).



V.D. 3/2 vias NA



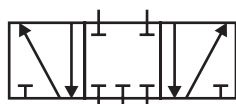
V.D. 2/2 vias NF

Figura 9.5: Simbologia de válvulas NA e NF

9.1.6 VÁLVULAS CF, CAP E CAN

As válvulas direcionais de três posições caracterizam-se pela sua posição central. Aquelas que possuem, na sua posição central, as vias de utilização bloqueadas, denominaremos:

Centro Fechado (CF)

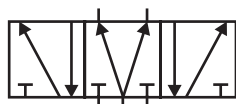


V.D. 5/3 vias CF

Figura 9.6: Simbologia de válvulas de centro fechado

Já as válvulas que tiverem as vias de utilização sendo pressurizadas, chamaremos de:

Centro Aberto Positivo (CAP)

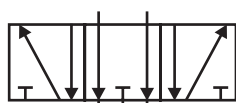


V.D. 5/3 vias CAP

Figura 9.7: Simbologia de válvulas de centro aberto positivo

Quando encontrarmos estas vias em exaustão, elas receberão o nome de:

Centro Aberto Negativo (CAN)



V.D. 5/3 CAN

Figura 9.8: Simbologia de válvulas de campo aberto negativo

9.1.7 VÁLVULAS DE MEMÓRIAS

São válvulas de duas posições acionadas por duplo piloto.

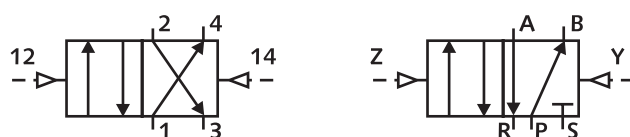


Figura 9.9: Simbologia de válvulas de memórias

9.1.8 TIPOS DE ESCAPES

Os escapes das válvulas são representados por triângulos. Quando encontrarmos o triângulo junto à simbologia da válvula, ele estará representando um escape livre, ou seja, sem conexão.

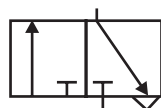


Figura 9.10: Simbologia de escape livre

Se ele estiver afastado, o escape representado será o escape dirigido; com conexão.

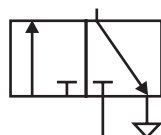


Figura 9.11: Simbologia de escape dirigido

9.1.9 VÁLVULAS EM REPOUSO OU TRABALHO

Válvulas direcionais acionadas mecânica, elétrica ou pneumaticamente podem ser encontradas e representadas em circuitos de duas formas diferentes: em posição de repouso (não acionada) ou de trabalho (acionada).

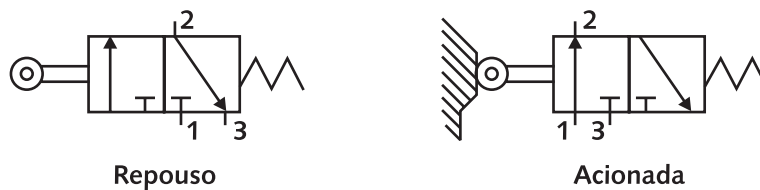


Figura 9.12: Simbologia de válvulas em posição de repouso e posição de trabalho

9.2 VÁLVULAS DE BLOQUEIO

Como o próprio nome diz, são válvulas que interferem no fluxo, causando um bloqueio. Dependendo da válvula, este bloqueio pode ser proporcionado de maneiras diferentes.

9.2.1 VÁLVULA ALTERNADORA (FUNÇÃO LÓGICA “OU”)

Também chamada “válvula de comando duplo ou válvula de dupla retenção”. Esta válvula tem duas entradas, X e Y, e uma saída, A. Entrando ar comprimido em X, a esfera fecha a entrada Y e o ar flui de X para A. Em sentido contrário, quando o ar flui de Y para A, a entrada X será fechada.

No retorno do ar, quer dizer, quando um lado de um cilindro ou de uma válvula entra em exaustão, a esfera permanece na posição em que se encontrava antes do retorno do ar.

Esta válvula também seleciona os sinais das válvulas-piloto provenientes de diversos pontos e evita o escape do ar de uma segunda válvula. Devendo ser um cilindro ou uma válvula acionada de dois ou mais pontos alternados, é necessário empregar uma válvula alternadora.

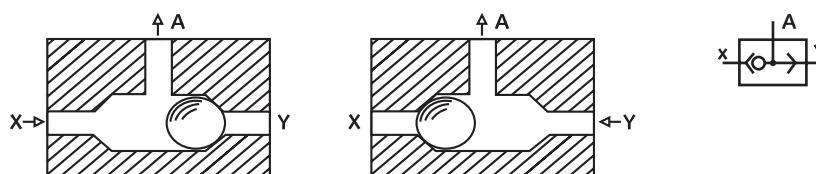


Figura 9.13: Válvula alternadora (Festo)

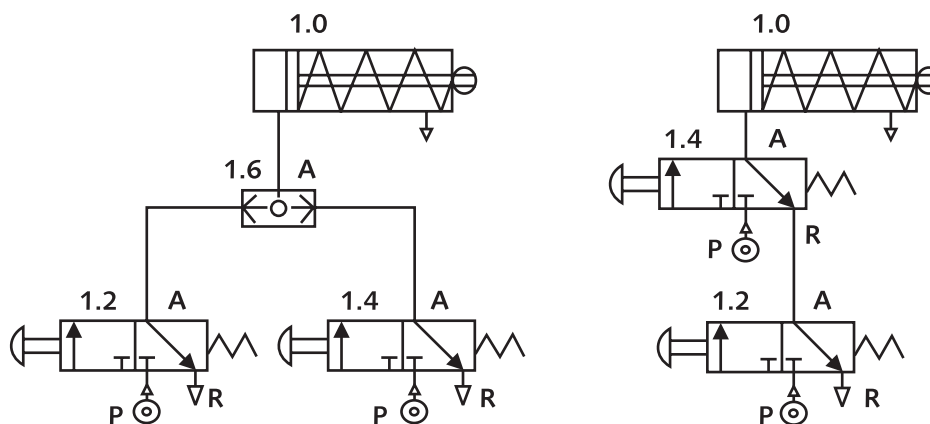


Figura 9.14: Exemplo de aplicação de válvula alternadora

9.2.2 VÁLVULAS DE DUAS PRESSÕES (FUNÇÃO LÓGICA "E")

Esta válvula tem duas entradas, X e Y e uma saída A. Só haverá uma saída em A, quando existirem os dois sinais de entrada X "E" Y.

Um sinal de entrada em X ou Y impede o fluxo para A, em virtude das forças diferenciais no pistão corredeiro. Existindo diferença de tempo nos sinais de entrada, o sinal atrasado vai para a saída. Quando há diferença de pressão dos sinais de entrada, a pressão maior fecha um lado da válvula, e a pressão menor vai para a saída A.

Emprega-se esta válvula principalmente em comando de bloqueio, comandos de segurança e funções de controle em combinações lógicas.

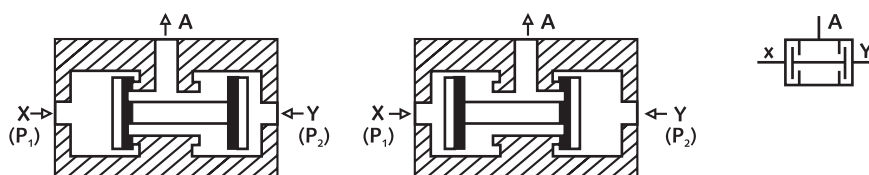


Figura 9.15: Válvulas de duas pressões (Festo)

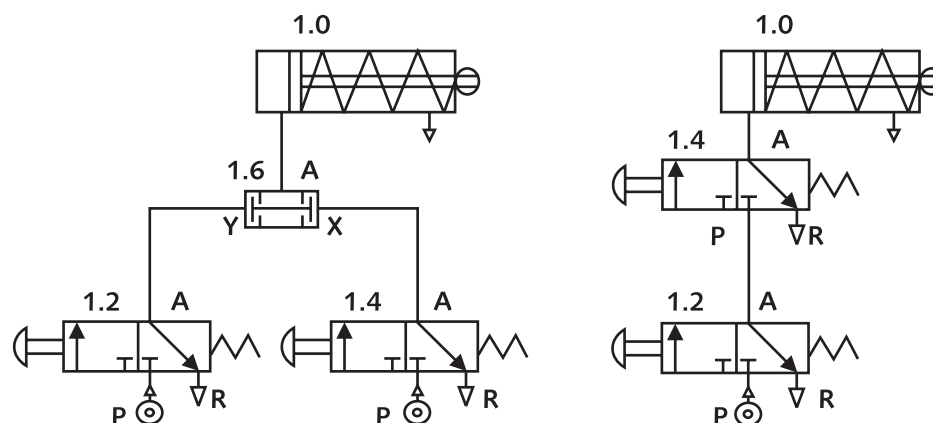


Figura 9.16: Exemplo de aplicação de válvula de duas pressões

9.2.3 VÁLVULA DE ESCAPE RÁPIDO

Válvulas de escape rápido se prestam para aumentar a velocidade dos êmbolos dos atuadores. Tempos de retorno elevados, especialmente em cilindros de ação simples, podem ser eliminados dessa forma.

A válvula está provida de conexão de pressão P e conexão de escape R bloqueáveis. Se tivermos pressão em P, o elemento de vedação desloca-se ao assento do escape.

Dessa forma, o ar atinge a saída pela conexão de utilização. Quando a pressão em P deixa de existir, o ar, que agora retorna pela conexão A, movimenta o elemento de vedação contra a conexão P, e provoca seu bloqueio. Dessa forma, o ar pode escapar por R, rapidamente, para a atmosfera.

Evita-se, com isso, que o ar de escape seja obrigado a passar por uma canalização longa e de diâmetro pequeno, até a válvula de comando. O mais

recomendável é colocar o escape rápido diretamente no cilindro ou, então, o mais próximo possível deste.

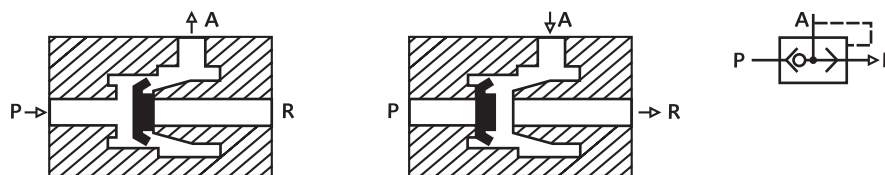


Figura 9.17: Válvula de escape rápido

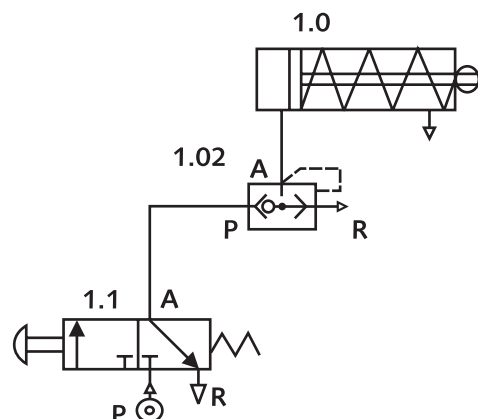


Figura 9.18: Exemplo de aplicação de válvula de escape rápido

9.2.4 VÁLVULA DE RETENÇÃO

Válvulas de bloqueio liberam o fluxo preferencialmente em um só sentido e bloqueiam o sentido inverso. O corpo de vedação da válvula de retenção, sujeito à pressão de mola, desloca-se de seu assento quando a pressão contra a ação da mola se torna maior do que a sua tensão.

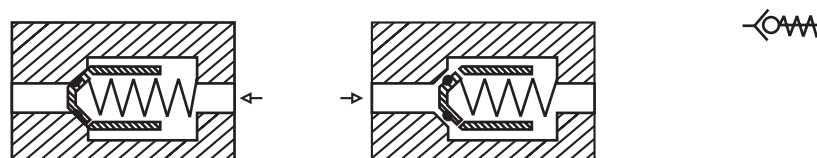


Figura 9.19: Válvula de retenção

9.3 VÁLVULAS DE FLUXO

São válvulas que controlam o fluxo (vazão) dos fluidos. Seu principal emprego é na regulagem das velocidades dos elementos de trabalho (atuadores).

9.3.1 VÁLVULA REGULADORA DE FLUXO BIDIRECIONAL

Estas válvulas têm influência sobre a quantidade de ar comprimido que flui por uma tubulação; a vazão será regulada em ambas as direções do fluxo.

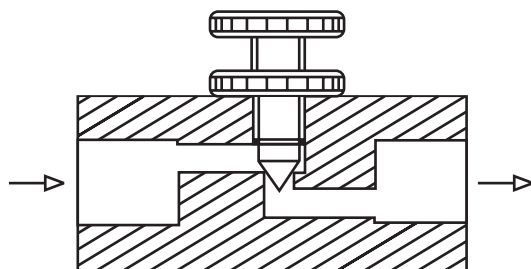


Figura 9.20: Válvula reguladora de fluxo bidirecional (Festo)

9.3.2 VÁLVULA REGULADORA DE FLUXO UNIDIRECIONAL

Nesta válvula, a regulação do fluxo é feita somente em uma direção. Uma válvula de retenção fecha a passagem numa direção e o ar pode fluir somente através da área regulada.

Em sentido contrário, o ar passa livre através da válvula de retenção aberta.

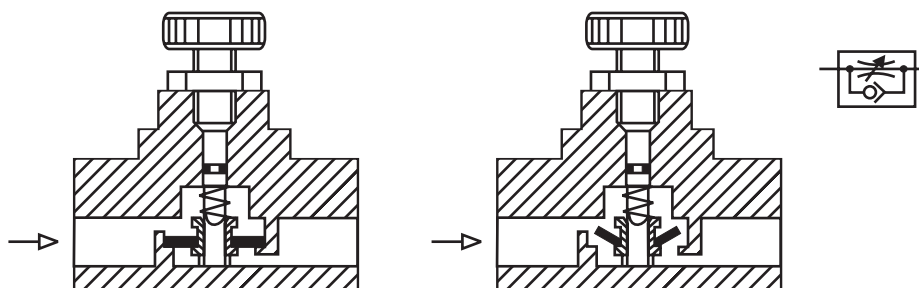


Figura 9.21: Válvula reguladora de fluxo unidirecional (Festo)

9.3.3 REGULAGEM FLUXO PRIMÁRIA (ENTRADA DO AR)

Estas válvulas podem ser montadas para a regulação da entrada do ar. O ar em exaustão sai, através de retenção, no lado do escape. Ligeiras oscilações de carga na haste do pistão, provocadas, por exemplo, ao passar pela chave fim de curso, resultam em grandes diferenças de velocidade do avanço. A regulação na entrada emprega-se em atuadores de simples ação e atuadores de dupla ação de pequeno volume.

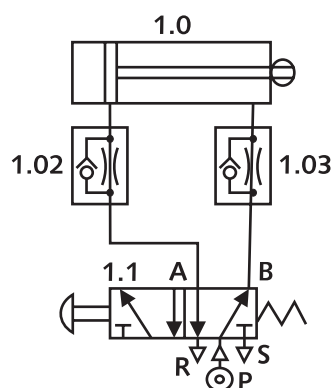


Figura 9.22: Exemplo de regulação fluxo primária

9.3.4 REGULAGEM FLUXO SECUNDÁRIA (EXAUSTÃO DO AR)

Estas válvulas podem ser montadas para a regulagem da saída do ar. O ar da exaustão, porém, será regulado. Neste caso, a haste do êmbolo está submetida entre duas pressões de ar. Esta montagem da válvula reguladora de fluxo melhora muito a conduta do avanço. Em atuadores de dupla ação, dever-se-ia, portanto, prever sempre uma regulagem na exaustão.

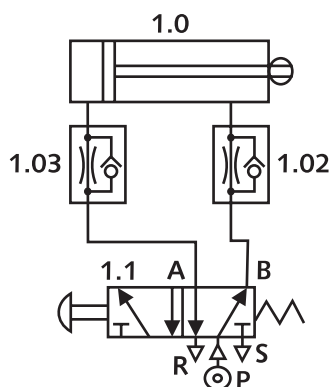


Figura 9.23: Exemplo de regulagem fluxo secundária

9.4 VÁLVULAS DE PRESSÃO

Estas válvulas relacionam-se diretamente com a pressão. Elas fazem o controle e funcionam de acordo com a intensidade desta, conforme a regulagem efetuada.

9.4.1 VÁLVULA LIMITADORA DE PRESSÃO

É formada por uma vedação de assento cônico, mola e um parafuso de ajuste.

Quando a pressão em P assume um valor que corresponde à tensão da mola, o cone de vedação se desloca de seu assento e libera o caminho ao escape. A fim de evitar defeitos oscilatórios devido às pequenas variações de pressão, existe um volume maior antes do cone de vedação, que possui um escape para A apenas por um ponto de estrangulamento.

São também conhecidas como válvulas de sobrepressão ou válvulas de segurança.

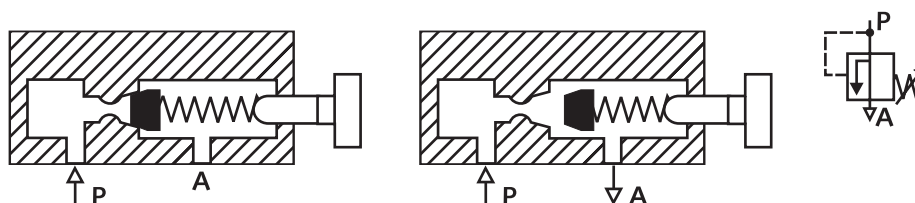


Figura 9.24: Válvula Limitadora de Pressão (Festo)

9.4.2 VÁLVULA DE SEQÜÊNCIA

O funcionamento é muito similar ao da válvula limitadora de pressão. Abre-se a passagem quando é alcançada uma pressão superior à ajustada pela mola. Quando no comando **Z** é atingida uma certa pressão pré-ajustada, o êmbolo faz atuar uma válvula 3/2 vias, de maneira a estabelecer um sinal de saída em **A**.

Estas válvulas são usadas em comandos pneumáticos que atuam quando há necessidade de uma pressão fixa para o processo de comutação (comandos em função da pressão). O sinal é transmitido somente quando for alcançada a pressão de comando.

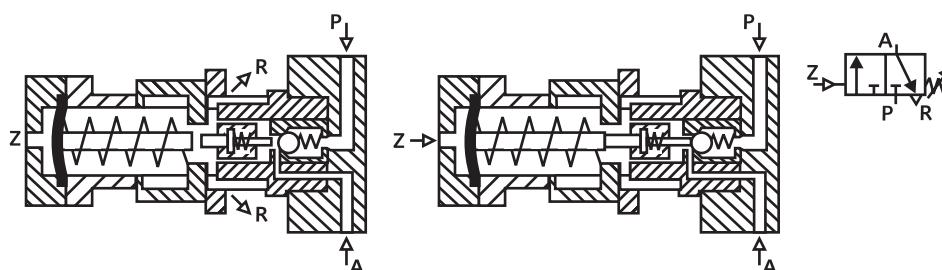


Figura 9.25: Válvula de seqüência (Festo)

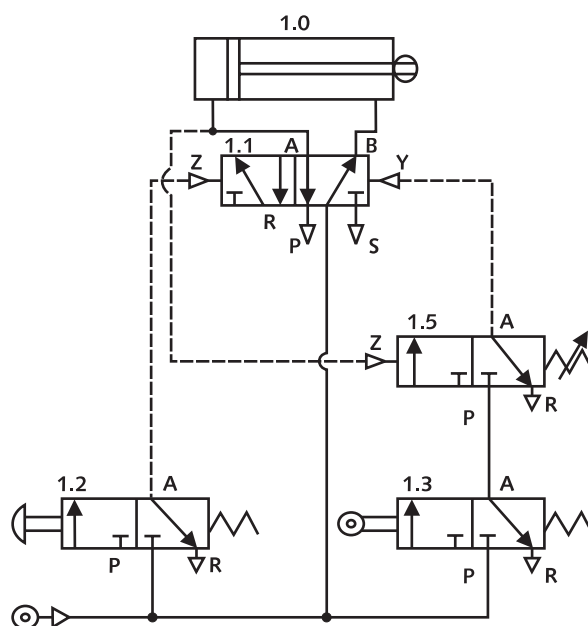


Figura 9.26: Exemplo de aplicação da válvula de seqüência

9.5 VÁLVULAS DE FECHAMENTO

As válvulas de fechamento servem para a separação de instalações pneumáticas ou de circuitos pneumáticos inteiros do abastecimento de ar comprimido. Elas abrem e fecham a passagem do fluxo sem escala.

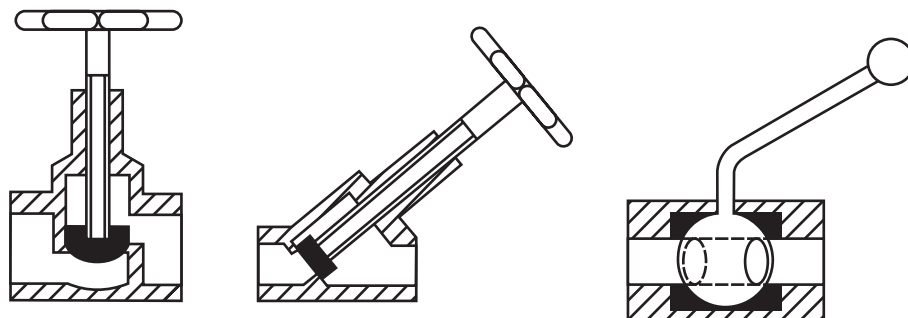


Figura 9.27: Válvulas de fechamento

9.6 COMBINAÇÃO DE VÁLVULAS

Com a associação de tipos diferentes de válvulas, é possível conseguirmos efeitos que poderão ser aproveitados para incrementação dos circuitos. Podemos citar como exemplo o temporizador pneumático (efeito de retardo).

9.6.1 TEMPORIZADOR PNEUMÁTICO N F

Esta unidade consiste de uma válvula direcional de 3/2 vias, com acionamento pneumático, de uma válvula reguladora de fluxo unidirecional e um reservatório de ar.

O ar de comando flui da conexão **Z** para a válvula reguladora de fluxo e de lá, através de área regulada, com velocidade e pressão mais baixa, para o reservatório.

Alcançada a pressão necessária de comutação, o êmbolo de comando afasta o prato do assento da válvula, dando passagem ao ar principal de **P** para **A**. A abertura efetua-se instantaneamente (válvula de sede). O tempo de aumento da pressão no reservatório é igual ao do retorno do comando da válvula. Para que a válvula de retardo retorne à posição inicial, é necessário exaurir o canal de comando **Z**. O ar do reservatório escapa através do sistema de retenção da válvula de regulagem e dos dutos de comando. A mola da válvula direcional de 3/2 vias pressiona o prato da válvula contra a sede, fechando-a instantaneamente, e o ar de **A** escapa por **R**.

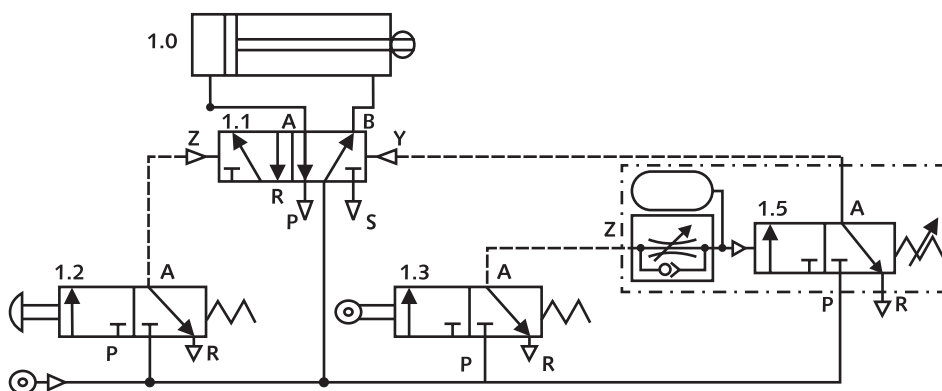


Figura 9.28: Exemplo de aplicação de temporizador pneumático normalmente fechado

9.6.2 TEMPORIZADOR PNEUMÁTICO N A

Esta válvula é também uma combinação de válvulas integradas por uma válvula de 3/2 vias, uma válvula reguladora de fluxo e um reservatório de ar. A válvula de 3/2 vias é uma válvula normalmente aberta.

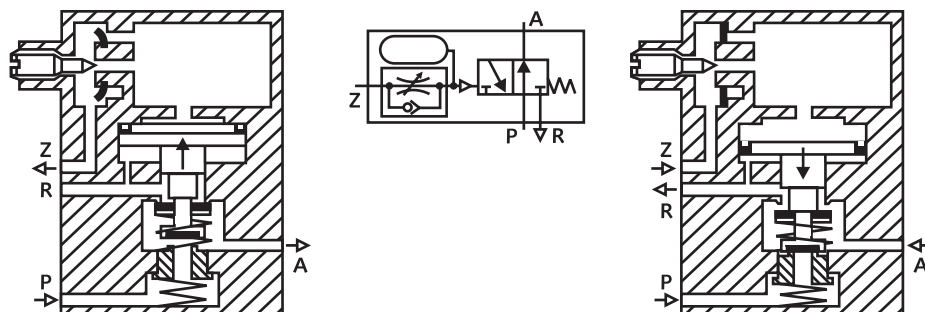


Figura 9.29: Exemplo de aplicação de temporizador pneumático normalmente aberto

9.6.3 DIVISOR BINÁRIO (FLIP-FLOP)

A válvula está formada por uma válvula de 3/2 vias normalmente fechada, um pistão de comando com haste basculante, e um came. Quando o pistão de comando não está submetido à ação de ar comprimido, a haste encontra-se fora do alcance do came de comando. Se a conexão de comando Z recebe ar, o pistão de comando desloca-se em direção à válvula de 3/2 vias. Devido a isso, a haste penetra no encaixe do came, acionando o pistão de comando da válvula de 3/2 vias. Como consequência, é estabelecida a comunicação de P para A, fechando-se a exaustão R.

Retirando o ar na conexão Z, o pistão de comando com haste retorna a sua posição normal. Devido ao autotravamento, o came permanece em sua posição, mantendo aberta a válvula de 3/2 vias.

Mediante um novo sinal em Z, a haste do pistão penetra no segundo encaixe do came, liberando o pistão de comando da válvula de 3/2 vias, que retorna, pela força da mola, à posição fechada. Retirando o ar de comando em Z, o pistão de comando retrocede, mas a válvula de 3/2 vias não altera sua posição, permanecendo fechada de P para A e exaurindo o canal A através de R.

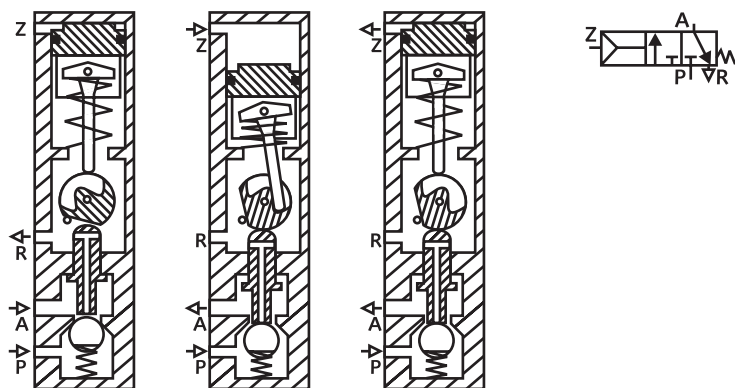


Figura 9.30: Divisor binário (Festo)

CAPÍTULO 10

ATUADORES PNEUMÁTICOS

São os elementos que convertem, diretamente, a energia do ar comprimido em energia mecânica, conforme mostra o diagrama a seguir.

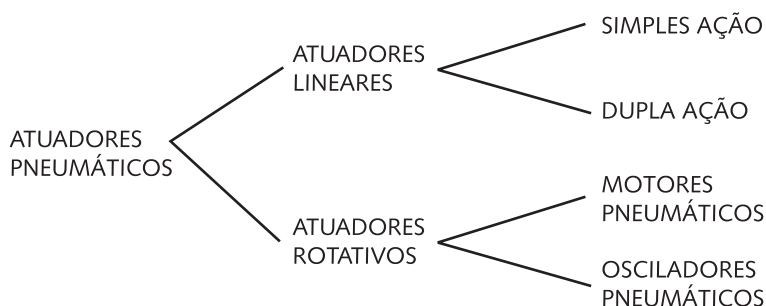


Figura 10.1: Esquema dos tipos de atuadores pneumáticos

10.1 ATUADORES LINEARES

Transformam energia pneumática em energia mecânica linear. Podem ser construídos de diversas formas, como veremos a seguir.

10.1.1 ATUADORES LINEARES DE SIMPLES AÇÃO

Os atuadores de ação simples são acionados por ar comprimido de um só lado, portanto trabalham apenas em uma direção. O retorno é efetuado mediante uma mola ou por uma força externa. A força da mola é calculada para que ela possa retroceder o pistão em posição inicial, com uma velocidade suficientemente alta, sem absorver, porém, energia elevada. Em atuadores de ação simples com mola montada, o curso do êmbolo é limitado pelo comprimento da mola. Por esta razão fabrica-se atuadores de ação simples com comprimento de até aproximadamente 100 mm.

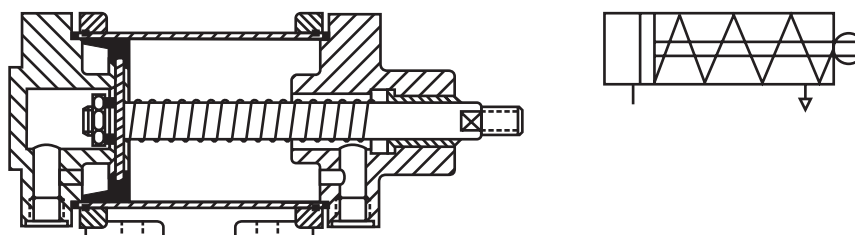


Figura 10.2: Atuador linear de simples ação

Características:

- Consumo de ar somente num sentido.
- Posição definida mesmo sem energia.
- Força de avanço reduzida em 10% devido à mola.
- Maior comprimento.
- Cursos limitados.
- Baixa força de retorno.
- Mola sofre desgaste.

10.1.2 ATUADORES DE MEMBRANA PLANA

Estes atuadores também são conhecidos como “caixa de ar comprimido” ou “caixa de força”. Uma membrana, que pode ser de borracha, de material sintético ou também metálico, assume a tarefa do êmbolo, cuja haste é fixada no centro da membrana. Neste caso a vedação deslizante não existe. Em ação existe somente o atrito, provocado pela dilatação da membrana.

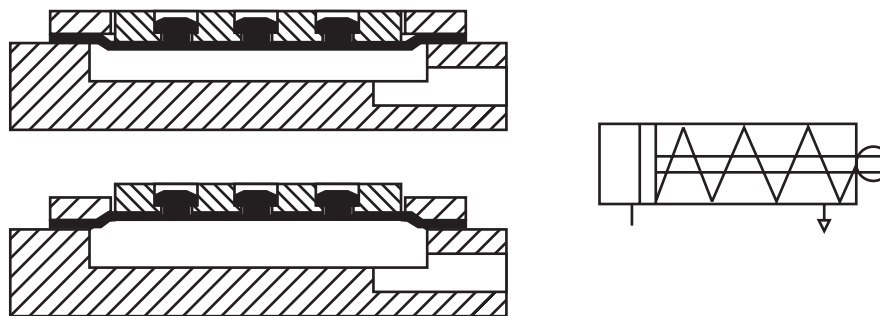


Figura 10.3: Atuadores de membrana plana (Parker)

10.1.3 ATUADORES LINEARES DE DUPLA AÇÃO

A força do ar comprimido movimenta o pistão do atuador de ação dupla em duas direções. Será produzida uma determinada força no avanço, bem como no retrocesso.

Atuadores de ação dupla são utilizados especialmente onde é necessário também, em retrocesso, exercer uma função de trabalho. O curso, em princípio, é ilimitado; porém, é importante levar em consideração a deformação da haste por flexão e flambagem.

A vedação, aqui, efetua-se mediante um êmbolo (pistão de dupla vedação).

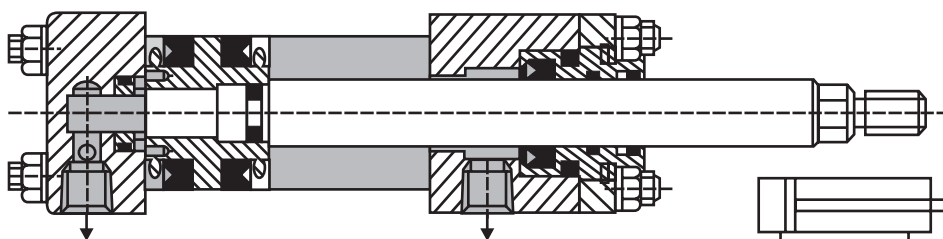


Figura 10.4: Atuadores lineares de dupla ação (Parker)

Características:

- Atuação nos dois sentidos
- Forças e velocidades de avanço e retorno diferentes.
- Não é possível cargas radiais sobre a haste.

10.1.4 CILINDRO DE IMPACTO (PERCURSOR)

O uso dos atuadores pneumáticos normais na técnica de deformação é limitado. Um atuador ideal para uma alta energia cinética é o cilindro de impacto.

Cilindros de impacto desenvolvem uma velocidade de 7,5-10 m/seg. (velocidade normal 1-2 m/seg.). Esta velocidade só pode ser alcançada por uma construção especial.

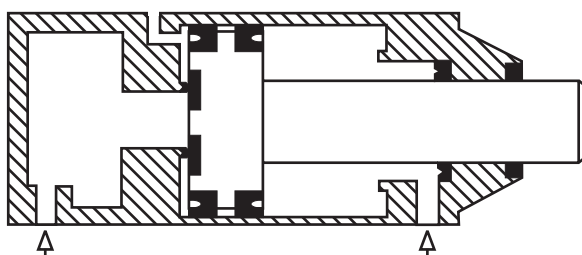


Figura 10.5: Cilindro de impacto (Parker)

10.1.5: CILINDRO TANDEM

Esta construção trata de dois atuadores de dupla ação, os quais formam uma só unidade. Desta forma, com simultânea carga nos dois êmbolos, a força é uma soma das forças dos dois atuadores. O uso desta construção é necessário para obter grande força, quando o diâmetro do atuador é problemático (espaço pequeno).

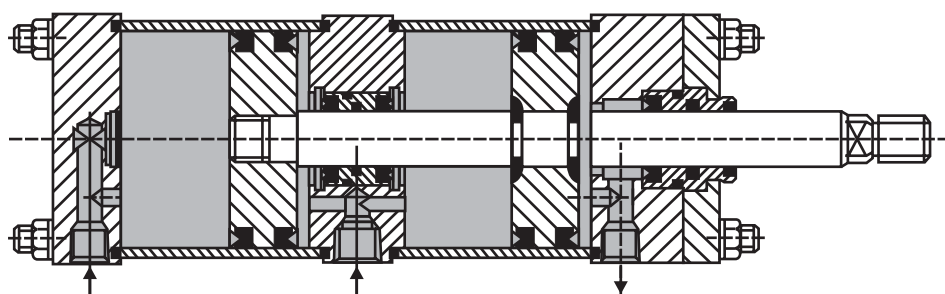


Figura 10.6: Cilindro Tandem (Parker)

10.1.6 CILINDROS DE DUPLA AÇÃO COM HASTE PASSANTE

Atuador linear com haste passante de ambos os lados. Este atuador de haste passante tem algumas vantagens. A haste é melhor guiada devido a dois mancais de guia. Isto possibilita a admissão de uma ligeira carga lateral.

Os elementos sinalizadores podem ser montados na parte livre da haste do êmbolo. Neste caso, a força é igual em ambos os lados (mesma área sujeita à pressão).

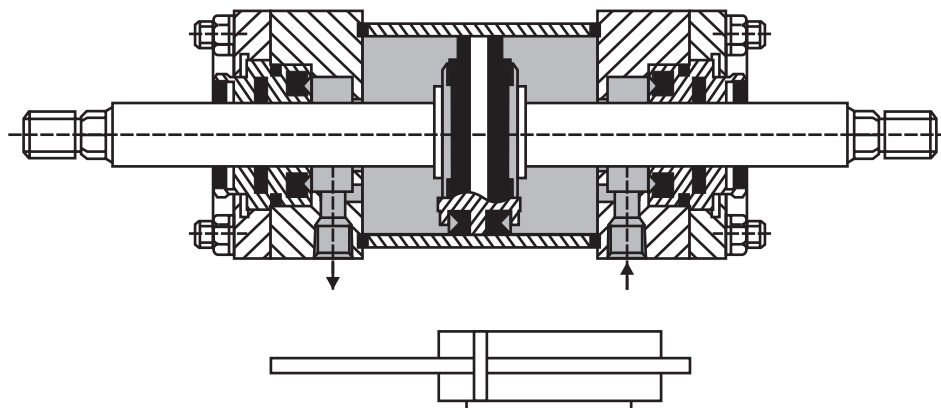


Figura 10.7: Cilindros de dupla ação com haste passante (Parker)

10.1.7 ATUADOR LINEAR DE POSIÇÕES MÚLTIPLAS

O atuador linear de posição múltipla é formado de dois ou mais atuadores de dupla ação. Estes elementos estão, como ilustrados, unidos uns aos outros.

Os atuadores movimentam-se, conforme o lado de pressão, individualmente. Com dois cilindros de cursos diferentes, obtêm-se quatro posições.

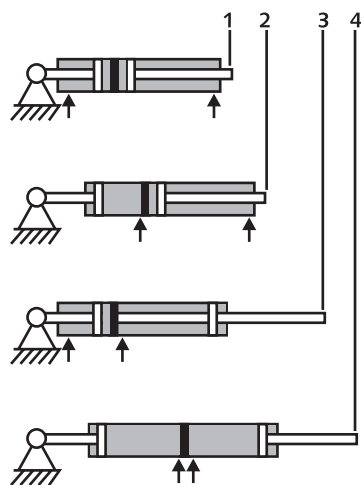


Figura 10.8: Atuador linear de posições múltiplas (Parker)

10.1.8 CILINDRO COM AMORTECIMENTO NOS FINS DE CURSO

Quando volumes grandes e pesados são movimentados por um atuador, emprega-se um sistema de amortecimento para evitar impactos secos ou até danificações.

Antes de alcançar a posição final, um êmbolo de amortecimento interrompe o escape direto do ar, deixando somente uma passagem pequena,

geralmente regulável.

Com o escape de ar restringindo, ocorre uma sobrepressão que, para ser vencida, absorve grande parte da energia e resulta em perda da velocidade nos fins de curso. Invertendo o movimento do êmbolo, o ar entra sem impedimento pelas válvulas de retenção no atuador, e o êmbolo pode, com força e velocidade total, retroceder.

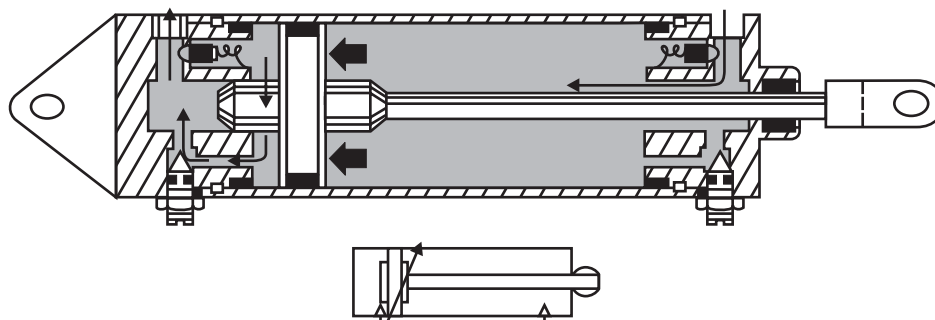


Figura 10.9: Cilindro com amortecimento nos fins de curso

10.1.9 DIMENSIONAMENTO DE ATUADORES LINEARES

Na escolha correta do atuador, para as necessidades existentes, devemos fazer algumas considerações, como:

Comprimento de curso

O comprimento de curso em atuadores pneumáticos lineares não deve ser maior do que 2000 mm. A pneumática não é mais rentável quando o êmbolo tem diâmetro grande e curso muito longo, pois o consumo de ar é muito alto.

Em cursos longos, a carga mecânica sobre a haste do êmbolo nos mancais é grande. Para evitar uma flambagem, é necessário determinar o diâmetro da haste do êmbolo, um pouco maior. Além disso, é aconselhável prolongar as buchas de guias da haste do êmbolo.

Velocidade de atuadores

A velocidade de atuadores pneumáticos depende da carga, da pressão de ar, do comprimento da tubulação entre a válvula e o atuador, bem como da vazão da válvula de comando. A velocidade é influenciada também pelo amortecimento nos fins de curso. Quando a haste de êmbolo está na faixa de amortecimento, a alimentação de ar passa através de um regulador de fluxo unidirecional, provocando assim uma diminuição momentânea de velocidade.

As velocidades de êmbolos em atuadores lineares normais são de 0,1- 2 m/seg. Com atuadores especiais (cilindros de impacto), podem ser alcançadas velocidades até 10 m/seg.

A velocidade de êmbolo pode ser regulada com válvulas apropriadas. Válvula reguladora de fluxo e válvula de escape rápido são empregadas para velocidades menores ou maiores.

Nomograma de pressão e força

O primeiro dado para selecionar o diâmetro de um cilindro é a força necessária em relação à pressão de trabalho.

Os valores apresentados são orientativos porque existem perdas no rendimento, causadas por contrapressão, a qual produz uma força contrária que anula parte da força útil e apresenta-se particularmente quando estrangulamos o ar de escape da força de atrito, que depende de muitos fatores como: materiais, forma de vedação, condições de lubrificação etc.; de forma geral a força de atrito é admitida como sendo aproximadamente 10% da força teórica. Além de considerar o atrito, deveremos ter uma margem de segurança na intensidade final da força.

O nomograma de pressão e força abaixo facilita a seleção dos cilindros, sendo seu uso bastante prático.

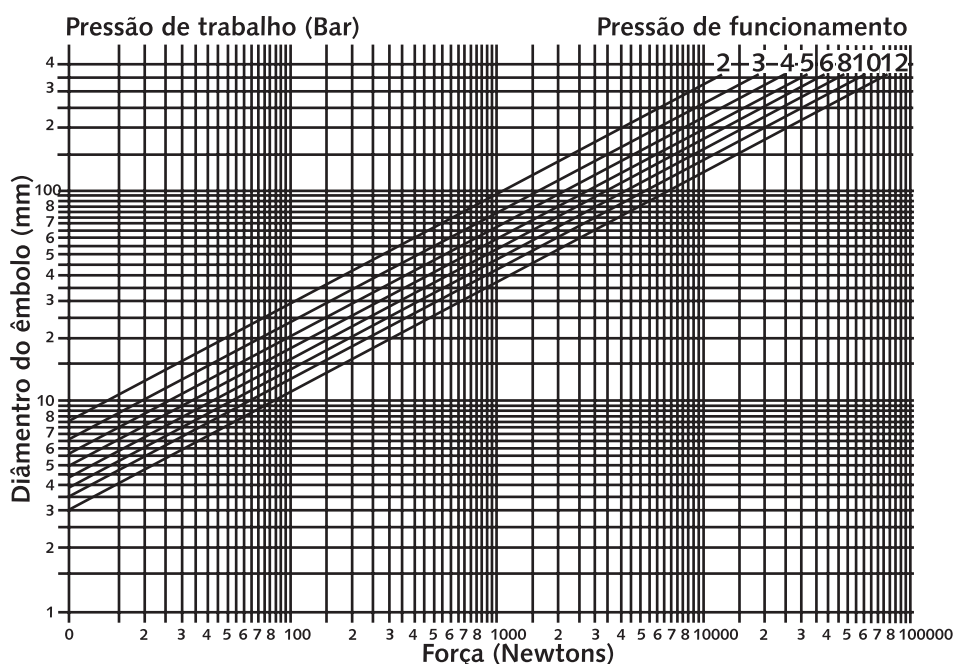


Figura 10.10: Nomograma de pressão e força

Exemplo: carga 800 N (≈ 80 Kp), pressão da rede 8 bar.

Determinar: Ø do êmbolo necessário, pressão de trabalho 6 bar.

Solução: Desde $F = 800\text{ N}$, segue-se verticalmente a linha até 6 bar. O diâmetro do êmbolo imediatamente maior disponível é de 50 mm, e se situa entre as linhas de 4 e 5, ou seja, pressão de trabalho de regulagem deve ser aproximadamente 4,5 bar.

Nomograma de flambagem

Carga admissível da haste de um atuador linear para cursos longos. Devido ao esforço de flambagem, é inferior ao que resulta da pressão de trabalho

e da área do êmbolo. A carga não deve ultrapassar, nesse caso, a determinados valores máximos que dependem do curso e do diâmetro da haste. O nomograma mostra esta dependência.

Conforme se pode observar, o tipo de fixação mais desfavorável para o fenômeno da flambagem é a fixação oscilante traseira; nas demais fixações, a carga admissível é aproximadamente 50% superior.

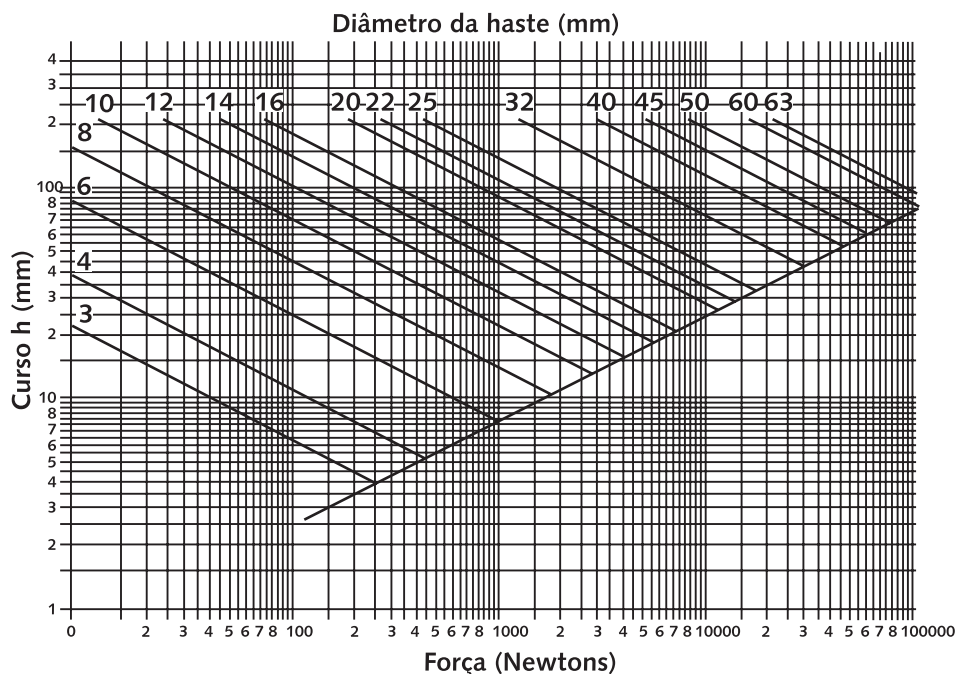


Figura 10.11: Nomograma de flambagem

Exemplo: carga 800 N (\approx 80 Kp), curso 500 mm, \varnothing do cilindro 50 mm.

Determinar: \varnothing da haste, tipo de cilindro.

Solução: a partir de $F = 800$ N, segue-se verticalmente até a intersecção com $h = 500$ mm. O diâmetro da haste imediatamente superior é igual a 16 mm.

Os cilindros comerciais possuem um diâmetro de haste de 20mm, o que resulta ser suficiente para o curso em questão.

Determinação do tamanho da válvula em relação ao esforço e à velocidade do cilindro

Dimensionamento das válvulas

Determinação do tamanho correto da válvula em relação ao esforço no pistão e à velocidade do mesmo.

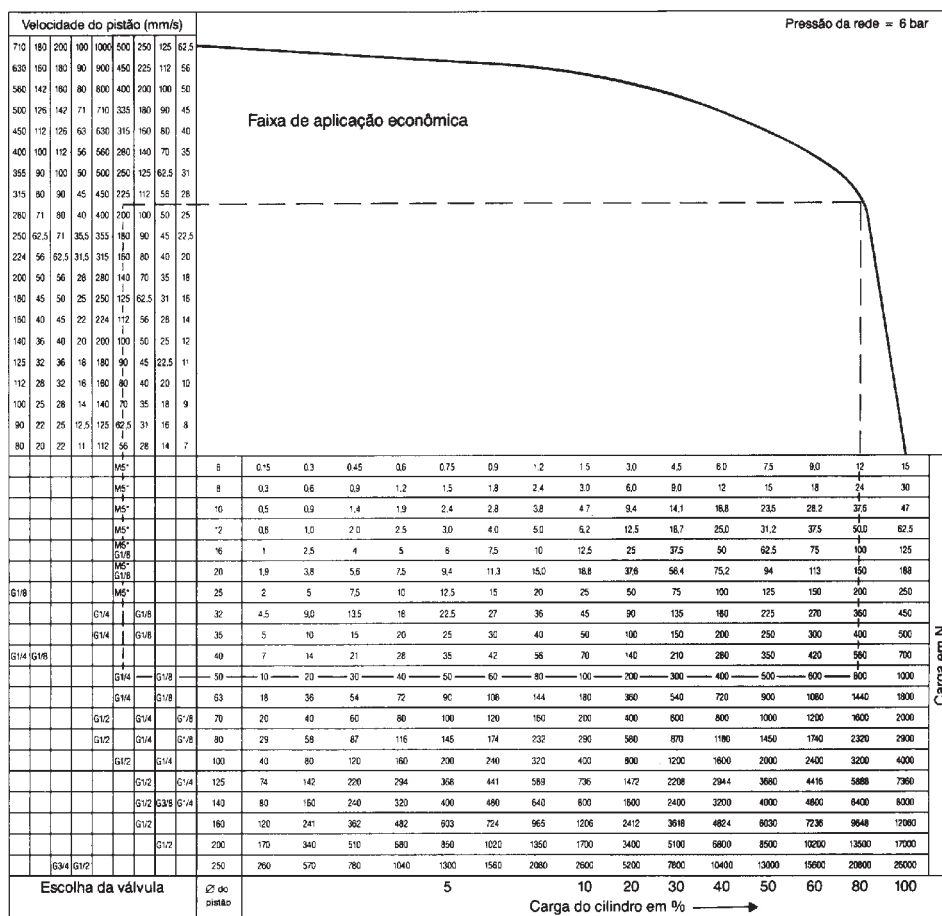


Figura 10.12: Dimensionamento das válvulas

Obs: Por influências mecânicas ou de comando, a velocidade do pistão pode variar mais ou menos 10%.

Exemplo de aplicação:

Dados: Carga: 800 N (80 Kp)
 Ø do cilindro: 50mm
 Válvula prevista: G 1/8

Pode ser alcançada uma velocidade aproximada de 200 mm/s?
 De acordo com a coluna de escolha da válvula de G 1/8, para um diâmetro de cilindro de 50 mm, pode ser alcançada somente uma velocidade de 50 mm/s aproximadamente.

Escolhendo uma válvula com G 1/4, obtém-se, conforme a coluna de escolha da válvula, para um diâmetro de cilindro de 50 mm, uma velocidade de aprox. 220 mm/s aproximadamente (vide linha interrompida). Estas indicações valem para um comprimento de mangueira de aproximadamente 1m entre os elementos.

10.2 ATUADORES ROTATIVOS

Transformam energia pneumática em energia mecânica rotativa.

10.2.1 MOTORES DE ENGRENAGEM

A geração do momento de torção efetua-se nesta construção pela pressão de ar contra os flancos dos dentes de duas engrenagens engrenadas. Uma engrenagem é montada fixa no eixo do motor; a outra, livre no outro eixo. Estes motores, empregados como máquinas de acionar, estão à disposição com até 44 kw (60 CV). A direção de rotação destes motores, fabricados com engrenagens retas ou helicoidais não é reversível.

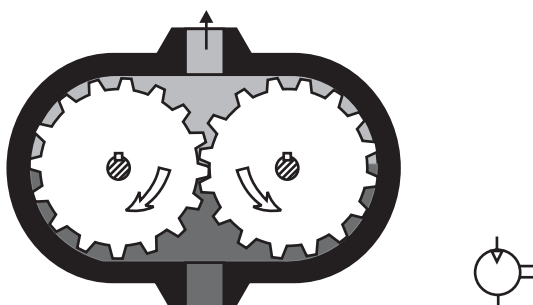


Figura 10.13: Motor de engrenagem (Parker)

10.2.2 MOTOR DE PALHETAS

Graças à construção simples e de pequeno peso, os motores pneumáticos geralmente são fabricados como máquinas rotativas com palhetas. São, em princípio, contrários aos compressores de células múltiplas (compressor rotativo). O rotor está fixado excêntricamente em um espaço cilíndrico e é dotado de ranhuras. As palhetas colocadas nas ranhuras serão, pela força centrífuga, afastadas contra a parede interna do cilindro. A vedação individual das câmaras é garantida.

Por meio de pequenas quantidades de ar, as palhetas serão afastadas contra a parede interna do cilindro, já antes de acionar o motor.

A velocidade do rotor varia de 3000 rpm a 8500 rpm. Existem unidades com rotação à direita e à esquerda. A faixa de potência é de 0,1-17 kw (0,1 - 23CV).

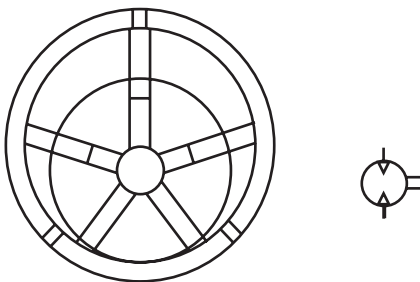


Figura 10.14: Motor de palhetas (Parker)

10.2.3 TURBOMOTORES

Turbomotores são usados somente para trabalhos leves, pois sua velocidade de giro é muito alta (são utilizados em equipamentos dentários até 500.000 rpm). O princípio de funcionamento é o inverso dos turbocompressores.

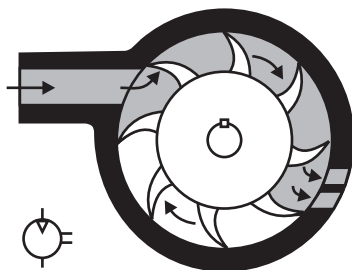


Figura 10.15: Turbomotor (Parker)

14.2.4 MOTORES DE PISTÃO

Este tipo está subclassificado em motores de pistão radial e axial. Por pistões em movimento inverso, o ar, através de uma biela, aciona o eixo de motor. Para que seja garantido um movimento sem golpes e vibrações, são necessários vários pistões. A capacidade dos motores depende da pressão de entrada, número de pistões, área dos pistões e de seu curso.

Existem motores pneumáticos com rotação à direita e à esquerda. A rotação máxima está fixada em 5000 rpm. A faixa de potência em pressão normal de ar está em 1,5 - 19 kw (2-25 CV).

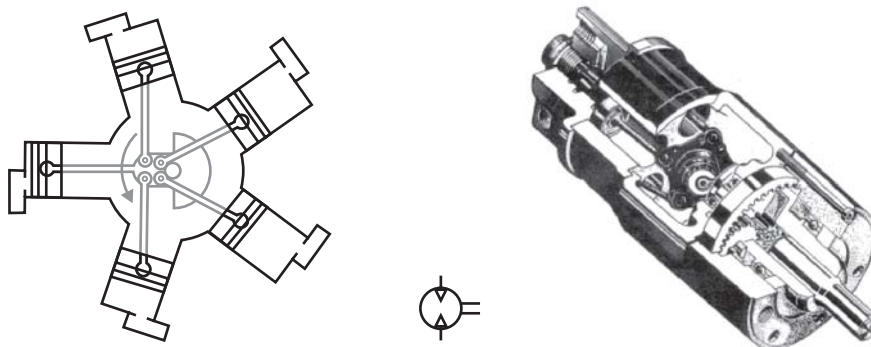


Figura 10.16: Motores de pistão (Parker)

10.3 OSCILADORES

Transformam energia pneumática em energia mecânica rotativa com ângulo de rotação limitado.

10.3.1 CILINDRO ROTATIVO

Na execução com atuadores de ação dupla, a haste de êmbolo tem um perfil dentado (cremalheira). A haste de êmbolo aciona com esta cremalhei-

ra uma engrenagem, transformando o movimento linear em um movimento rotativo à esquerda ou à direita, sempre segundo a direção do curso.

Os campos de rotação usuais são vários, isto é, de 45°, 90°, 180°, 290°, até 720°.

Um parafuso de regulagem possibilita, porém, a determinação do campo de rotação parcial dentro do total. O momento de torção depende da pressão, da área do êmbolo e da relação de transmissão.

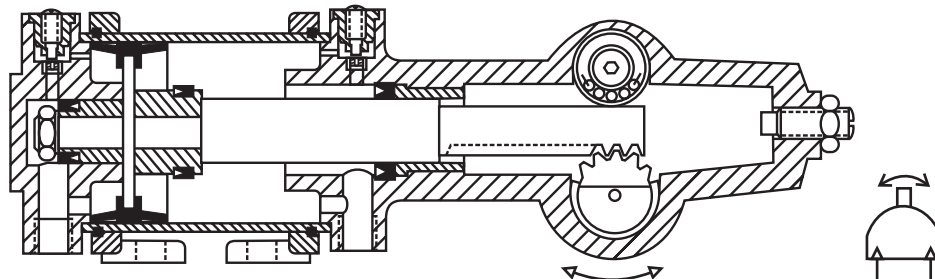


Figura 10.17: Cilindro rotativo (Festo)

10.3.2 OSCILADOR DE ALETA GIRATÓRIA

Como nos atuadores rotativos já descritos, também nos de aleta giratória é possível um giro angular limitado. O movimento angular raramente vai além de 300°. A vedação é problemática, o diâmetro em relação à largura, em muitos casos, somente possibilita pequenos momentos de torção (torque).

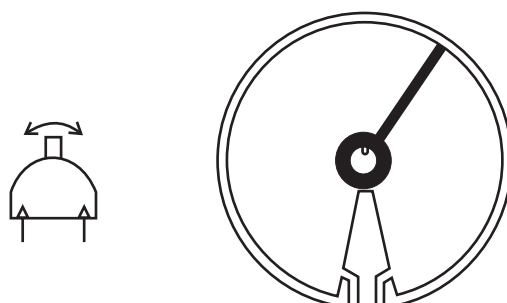


Figura 10.18: Oscilador de aleta giratória (Festo)

10.4 CARACTERÍSTICAS DOS MOTORES PNEUMÁTICOS

As características destes motores são:

- Regulagem sem escala de rotação e do momento de torção.
- Construção leve e pequena.
- Seguro contra sobrecarga.
- Insensível contra poeira, água, calor, frio.
- Seguro contra explosão.
- Grande escolha de rotação e facilidade de inversão.
- Conservação e manutenção insignificantes.

CAPÍTULO 11

DESIGNAÇÃO DE ELEMENTOS

Os circuitos pneumáticos são compostos de elementos que são identificados por números ou letras.

11.1 DESIGNAÇÃO POR NÚMEROS

Os números identificam os elementos pela função, conforme mostra a figura a seguir.

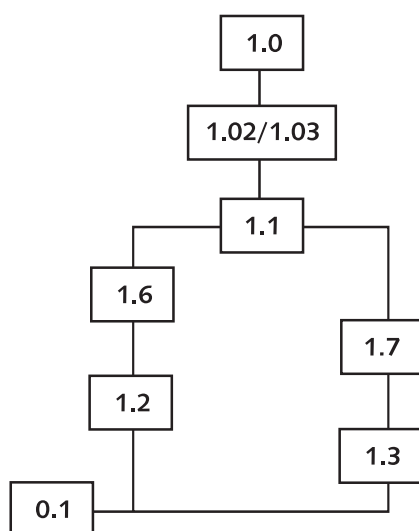


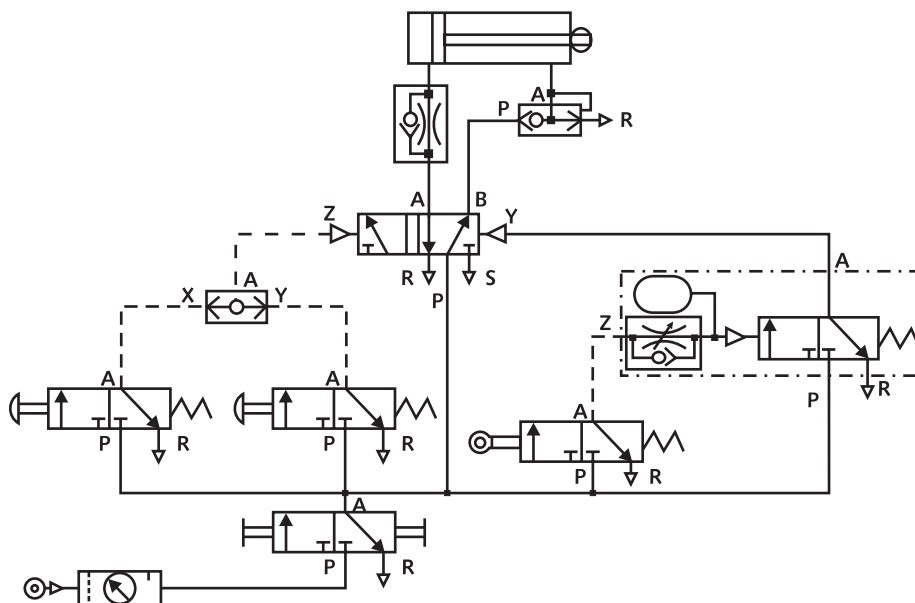
Figura 11.1: Designação de elementos por número

- 0.1, 0.2, 0.3... Elementos auxiliares influenciam em todo o circuito. Ex.: Lubrefil, válvulas de fechamento.
- 1.2, 1.4, 2.2, 2.4... Elementos de sinal com número final *par* influenciam no *avanço* dos atuadores lineares ou no sentido de rotação à *direita* dos atuadores rotativos (motores). Ex.: válvulas direcionais 3/2 acionadas por botão, pedal, rolete.
- 1.3, 1.5, 2.3, 2.5... Elementos de sinal com número final *ímpar* influenciam no *retorno* dos atuadores lineares (cilindros) ou no sentido de rotação à *esquerda* dos atuadores rotativos (motores). Ex.: válvulas direcionais 3/2 acionadas por botão, pedal, rolete.

- 1.6, 2.6... Elementos processadores de sinal com número final *par* influenciam no *avanço* dos atuadores lineares (cilindros) ou no sentido de rotação à *direita* dos atuadores rotativos (motores). Ex.: válvulas E, válvulas OU, temporizadores.
- 1.7, 2.7... Elementos de sinal com número final *ímpar* influenciam no *retorno* dos atuadores lineares (cilindros) ou no sentido de rotação à *esquerda* dos atuadores rotativos (motores). Ex.: válvulas E, válvulas OU, temporizadores.
- 1.1, 2.1, 3.1... Elementos de comando influenciam nos dois sentidos de movimentos dos atuadores (o primeiro número indica o atuador a ser comandado). Ex.: Válvulas direcionais.
- 1.02, 1.04... Elementos auxiliares com número final *par* influenciam no *avanço* dos atuadores lineares (cilindros) ou no sentido de rotação à *direita* dos atuadores rotativos (motores). Ex.: válvulas reguladoras de fluxo, escape rápido.
- 1.03, 1.05... Elementos auxiliares com final *ímpar* influenciam no *retorno* dos atuadores lineares (cilindros) ou no sentido de rotação à *esquerda* dos atuadores rotativos (motores). Ex.: válvulas reguladoras de fluxo, escape rápido.
- 1.0, 2.0... Elementos de trabalho. Ex.: Atuadores lineares ou rotativos (motores pneumáticos, osciladores, atuadores lineares).

Exercício

Identificar numericamente os elementos pneumáticos do circuito pneumático abaixo.



11.2 DESIGNAÇÃO POR LETRAS

As letras identificam os elementos pela sua posição de instalação.

- A, B, C... Identificam os elementos de trabalho (letras maiúsculas).
- a1, b1, c1... Identificam os elementos instalados na posição final de curso dianteira dos elementos de trabalho.
- a0, b0, c0... Identificam os elementos instalados na posição final de curso traseira dos elementos de trabalho.

Exemplo de designação por letras:

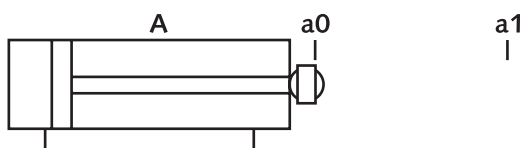


Figura 11.2: Designação de elementos por letras

11.3 REPRESENTAÇÃO DAS VÁLVULAS DE GATILHO

As válvulas por gatilho (rolete escamoteável) são acionadas somente em um sentido de movimento do pistão.

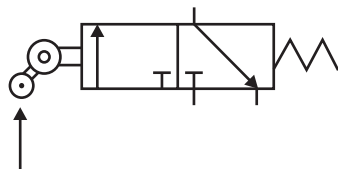


Figura 11.3: Válvula de gatilho

Por este motivo, no esquema de comando do sistema, o sentido de acionamento do gatilho é representado por uma flecha.

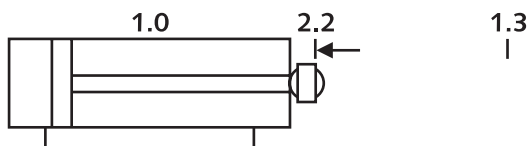


Figura 11.4: Exemplo de sentido de acionamento do gatilho

As linhas de marcação indicam que, na posição final de avanço, comanda-se o elemento de sinal 1.3 e, no retrocesso do cilindro, comanda-se o elemento de sinal 2.2. A flecha indica que se trata de uma válvula acionada por rolete escamoteável, que só é acionada no retrocesso do cilindro.

CAPÍTULO 12

ELABORAÇÃO DE ESQUEMAS DE COMANDO

12.1 SEQÜÊNCIA DE MOVIMENTOS

Nos procedimentos de comando um pouco mais complicados, em que se deve reparar instalações de certa envergadura, é uma grande ajuda para o técnico de manutenção dispor dos esquemas de comando e seqüências, segundo o desenvolvimento de trabalho das máquinas.

Quando o pessoal de manutenção não utiliza estes esquemas de forma correta, o motivo deve ser a sua má confecção, a sua simbologia incompreensível ou a falta de conhecimento técnico. A insegurança na interpretação de esquemas de comando torna impossível por parte de muitos a montagem ou a busca de defeitos de forma sistemática.

Atingindo este ponto, pode-se considerar pouco rentável ter que basear a montagem ou busca de defeitos em testes e adivinhações. É preferível, antes de iniciar qualquer montagem ou busca de avaria, realizar um estudo de esquema de comando e da seqüência da máquina, para ganhar tempo posteriormente. Para poder levar os esquemas de comando e seqüências para a prática, é necessário conhecer as possibilidades e procedimentos normais de representação destes.

12.1.1 MOVIMENTAÇÃO DE UM CIRCUITO COMO EXEMPLO

Pacotes chegam sobre um transportador de rolos são levados por um cilindro pneumático **A** e empurrados por um segundo cilindro **B** sobre um segundo transportador. Nisto, devido ao enunciado do problema, o cilindro **B** deverá retornar apenas quando **A** houver alcançado a posição final recuada.

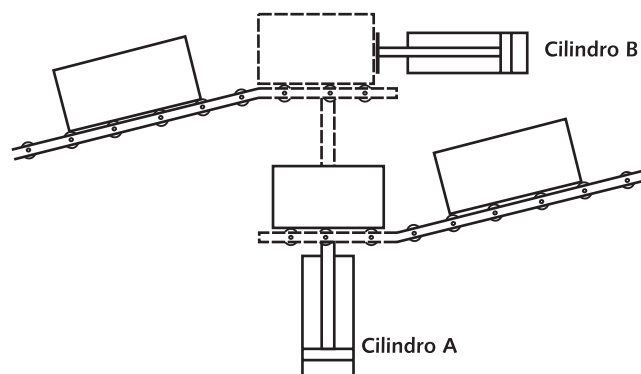


Figura 12.1: Representação em seqüência cronológica

12.1.2 SEQÜÊNCIA DE MOVIMENTOS

1. O cilindro A avança e eleva os pacotes,
2. O cilindro B empurra os pacotes sobre o segundo transportador;
3. O cilindro A desce;
4. O cilindro B retrocede.

12.1.3 REPRESENTAÇÃO ABREVIADA EM SEQÜÊNCIA ALGÉBRICA

Neste tipo, a letra maiúscula representa o atuador, enquanto que o sinal algébrico o movimento. Sinal positivo (+) para o avanço e negativo (-) para o retorno.

Exemplo: A + , B + , A - , B - .

12.1.4 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA EM DIAGRAMA DE TRAJETO E PASSO

Neste caso se representa a seqüência de operação de um elemento de trabalho, levando-se ao diagrama o valor percorrido em dependência de cada passo considerado (passo: variação do estado de qualquer unidade construtiva). Se existirem diversos elementos de trabalho para um comando, estes são representados da mesma maneira e desenhados uns sob os outros. A correspondência é realizada através dos passos.

O diagrama de trajeto e passo, para o exemplo apresentado, possui construção segundo a figura abaixo.

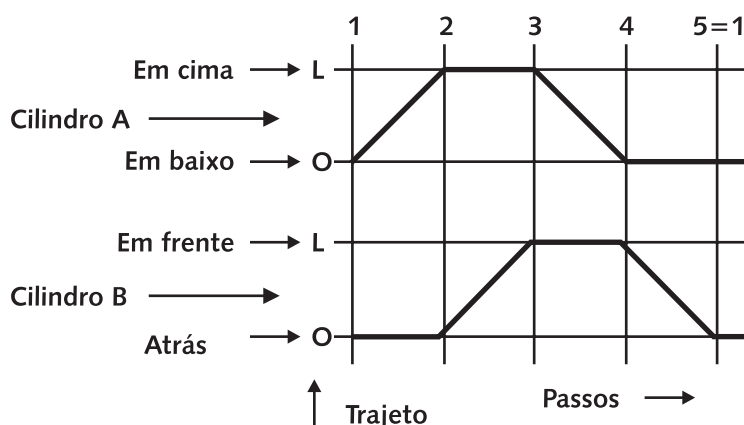


Figura 12.2: Representação gráfica em diagrama de trajeto e passo

12.1.5 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA EM DIAGRAMA DE TRAJETO E TEMPO

O trajeto de uma unidade construtiva é representado em função do tempo. Contrariamente ao diagrama de trajeto e passo; neste caso, o tempo é representado linearmente, e constitui a ligação entre as diversas unidades.

O diagrama de trajeto e tempo, para o exemplo apresentado, possui construção segundo a figura abaixo.

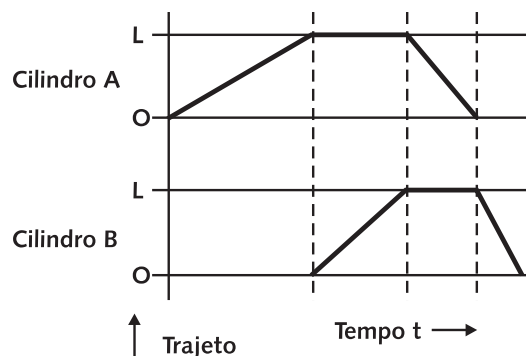


Figura 12.3: Representação gráfica em diagrama de trajeto e tempo

12.2 TIPOS DE ESQUEMAS

Tal como no diagrama de movimentos, temos também na construção de esquemas de comando duas possibilidades, o esquema de comando de posição e o esquema de comando de sistema. A diferença entre eles está na maneira de representação dos elementos nos circuitos.

12.2.1 ESQUEMAS DE COMANDO DE POSIÇÃO

Os elementos aqui são desenhados na posição conforme serão instalados nas máquinas e equipamentos.

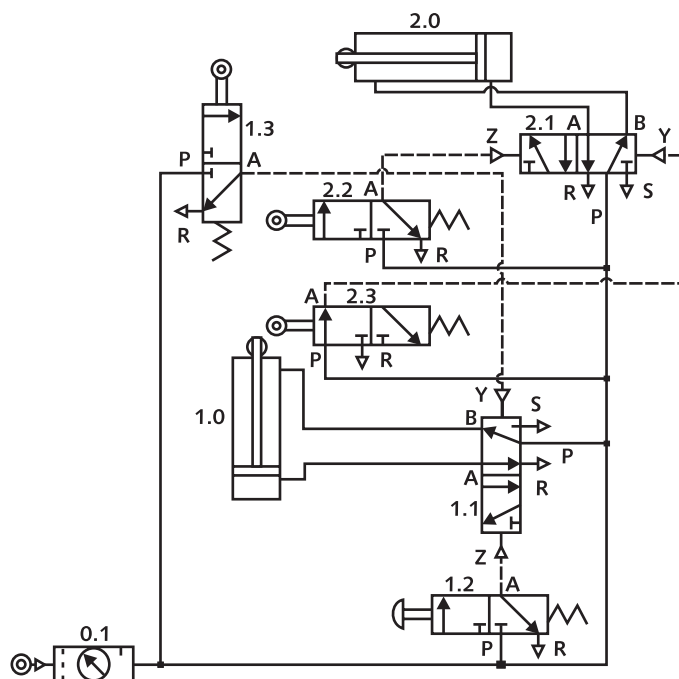


Figura 12.4: Esquemas de comando de posição

12.2.2 ESQUEMA DE COMANDO DE SISTEMA

Este tipo de esquema está baseado em uma ordenação. Os símbolos são desenhados na horizontal e divididos em cadeias de comandos individuais. Os elementos fins de curso são representados por traços.

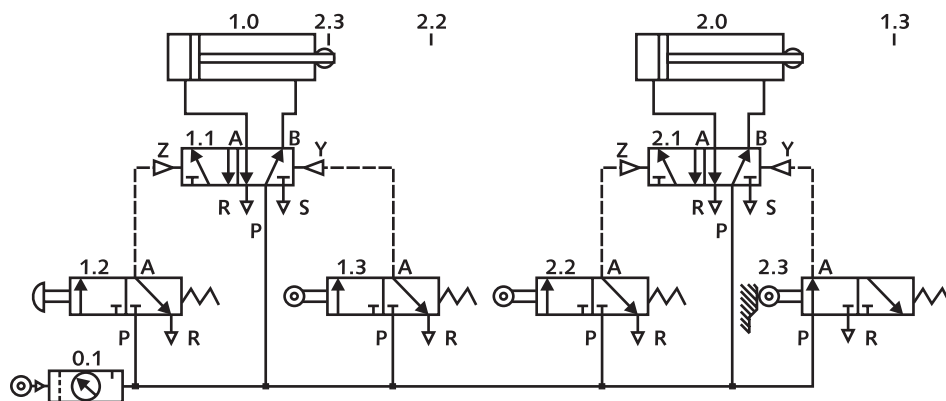


Figura 12.5: Esquema de comando de sistema.

CAPÍTULO 13

TECNOLOGIA DO VÁCUO

A palavra vácuo, originária do latim "vacuus", significa vazio. Entretanto, podemos definir tecnicamente que um sistema encontra-se em vácuo quando está submetido a uma pressão inferior à pressão atmosférica. Utilizando o mesmo raciocínio empregado anteriormente para ilustrar como é gerada a pressão dentro de um recipiente cilíndrico, cheio de ar, veremos que, se aplicarmos uma força contrária na tampa móvel do recipiente em seu interior, teremos como resultante uma pressão negativa, isto é, inferior à pressão atmosférica externa.

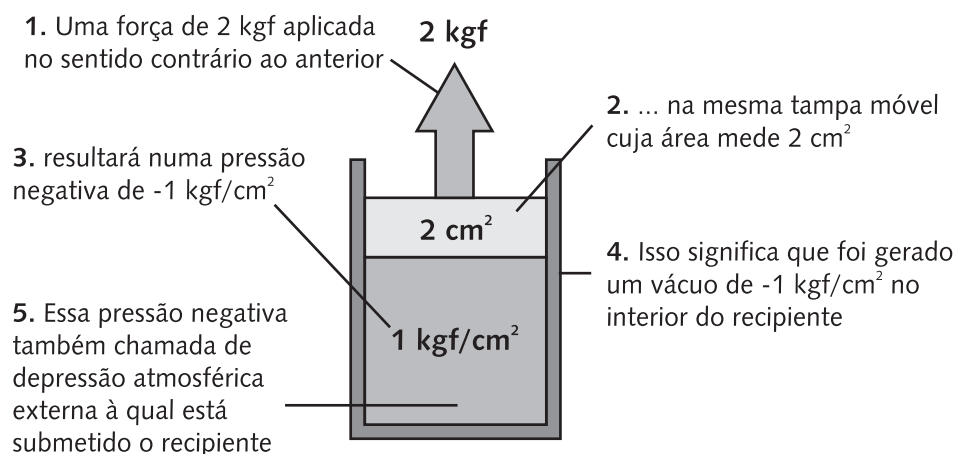


Figura 13.1: Princípio de geração do vácuo (Parker)

13.1 APLICAÇÕES DO VÁCUO

As aplicações do vácuo na indústria são limitadas apenas pela criatividade e pelo custo. As mais comuns envolvem o levantamento e deslocamento de peças e materiais, como nos exemplos a seguir:

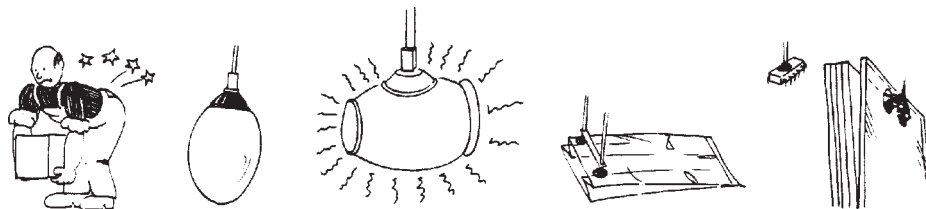


Figura 13.2: Aplicações do vácuo (Parker)

- Movimentação de cargas - substitui o esforço humano.
- Manipulação de peças frágeis- evita danos.
- Manipulação de peças com temperatura elevada (usando ventosas de silicone).
- Operações que requerem condições de higiene (abertura de em balagens).
- Movimentação de peças muito pequenas. Componentes eletrônicos, por exemplo.
- Movimentação de materiais com superfícies lisas (chapas de vidro).

No projeto de um sistema de vácuo, é importante definir corretamente o desempenho do sistema e suas características para, então, selecionar a instalação mais adequada.

Considerar os seguintes fatores:

- Efeito do ambiente sobre os componentes.
- Forças necessárias para movimentação das peças ou materiais.
- Tempo de resposta.
- Permeabilidade dos materiais a serem manipulados.
- Como as peças ou materiais serão fixados.
- Distância entre os componentes.
- Custos.

Na seleção de componentes para uma instalação de vácuo em geral, a seqüência mais simples é:

- Ventosas.
- Geradores de vácuo.
- Válvulas principais de controle.
- Tubos ou mangueiras.
- Conjunto mecânico com o suporte das ventosas, dispositivos de montagem acessórios.

13.2 VENTOSAS

As duas formas mais comuns usadas para fixação e levantamento de materiais ou peças são:

- Sistema mecânico através, por exemplo, de garras.
- Por meio do vácuo, utilizando se ventosas.

As vantagens do sistema mecânico incluem a facilidade na determinação da força necessária para sustentação e o fato de que área a ser comprimida é relativamente pequena.

Como desvantagens, temos a possibilidade de a peça que está sendo fixada ser danificada se a garra não estiver corretamente dimensionada, se as dimensões da peça variarem ou se ela for frágil. Temos ainda que os siste-

mas mecânicos quase sempre apresentam alto custo de aquisição, instalação e manutenção.

A grande vantagem das ventosas, como sistemas de movimentação, é que elas não danificam as peças. Outras vantagens que podem ser mencionadas são o baixo custo, manutenção simples, bem como a velocidade de operação. Elas podem ser projetadas em diversas formas, dependendo de sua aplicação; entretanto, genericamente, podemos classificá-las em três tipos principais.

13.2.1 VENTOSA PADRÃO

Este é o tipo mais comum para uso em superfícies planas ou ligeiramente curvas. A ventosa padrão pode ser produzida de diferentes formas, em função de sua aplicação. As características que podem variar são: tamanho, material, abas duplas para vedação, luvas de atrito, molas de reforço etc.

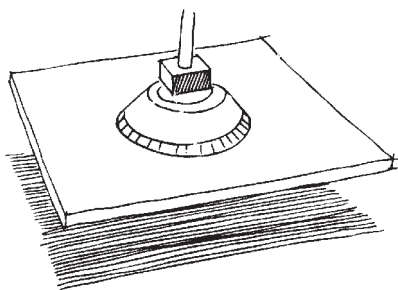


Figura 13.3: Ventosa padrão (Parker)

13.2.2 VENTOSA COM FOLE

Este tipo de ventosa destina-se principalmente a aplicações que requerem ajuste para diferentes alturas/níveis. As ventosas com fole podem ser usadas em sistemas de levantamento de peças com diversos planos e diferentes formas, como, por exemplo, chapas corrugadas. Elas também dão um certo grau de flexibilidade ao sistema, que pode ser utilizado para separar películas finas. As ventosas com fole podem ser de fole simples ou duplo. Este tipo de ventosa pode também ser usado em aplicações onde a peça não pode ser comprimida, devido ao risco de ser danificada.

A ventosa com fole não é adequada para movimentação de superfícies verticais.

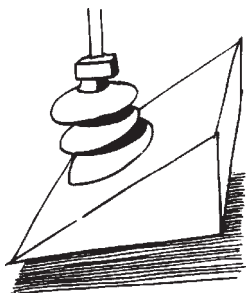


Figura 13.4: Ventosa com fole (Parker)

13.2.3 CAIXA DE SUÇÃO

Este tipo de ventosa pode ser oval, quadrada ou retangular, dependendo da forma da peça a ser movimentada.

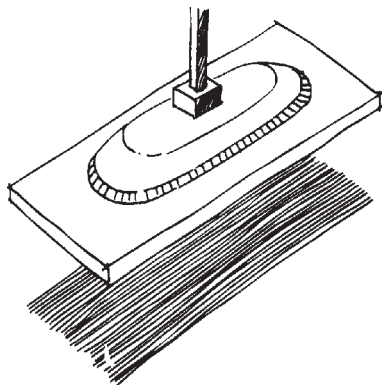


Figura 13.5: Caixa de sucção (Parker)

Como já mencionado anteriormente, é a pressão atmosférica que pressiona a ventosa contra a superfície da peça. Desta forma, para que possamos ter menor área de sucção possível, devemos utilizar o maior nível de vácuo disponível

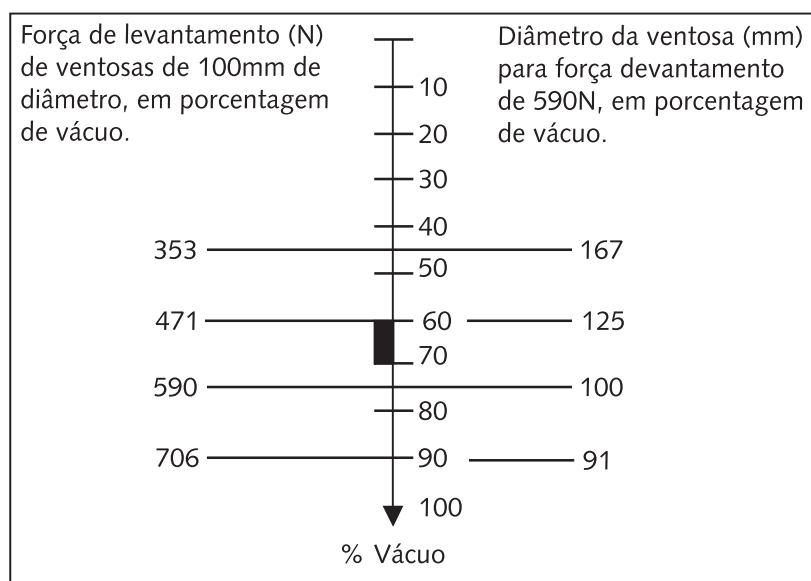


Figura 13.6: Diagrama da porcentagem de vácuo para obter a menor área de sucção possível

O diagrama mostra que devemos utilizar um vácuo em torno de 75% do absoluto. O alto vácuo oferece as seguintes vantagens:

- Grande capacidade de carga para uma determinada área.
- Diâmetro reduzido para uma mesma força de levantamento.

O nível de vácuo pode ser determinado considerando se o material da peça e sua permeabilidade ao ar.

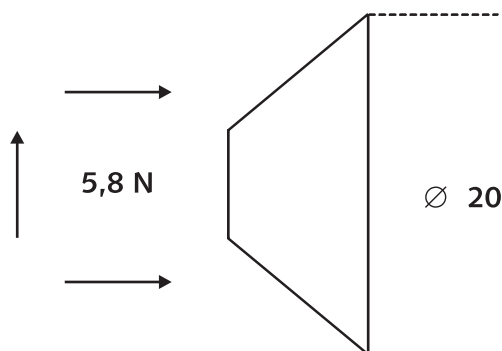


Figura 13.7: Exemplo de cálculo de nível de vácuo

No caso de superfícies verticais, a força que sustenta a peça é somente a força de atrito.

Nas tabelas de forças de sustentação exercidas pelas ventosas, podemos observar que, no caso de superfícies verticais, estas forças são muito menores que para superfícies horizontais.

Como exemplo, uma ventosa de 20mm de diâmetro exerce uma força de levantamento de 11,6N em uma superfície horizontal e somente 5,8N na vertical. A razão para isto é que no caso da superfície vertical a força de levantamento exercida é transformada em força de atrito, e é somente esta força que será aplicada na sustentação do material. Pela mesma razão, as ventosas com luvas de atrito são as mais recomendadas para aplicação em superfícies verticais.

Os valores para levantamento de superfícies verticais foram calculados para chapas de aço secas. Desta forma, a força real para cada situação dependerá do atrito da superfície do material a ser movimentado. Veja a seção de ventosas para maiores detalhes.

FORÇAS DE LEVANTAMENTO				
Diâmetro em mm	Área em mm	Superfície horizontal em N	Superfície vertical em N	Volume em cm ³
5,5	0,20	0,7	0,4	0,005
10,0	0,79	2,9	1,4	0,07
15,0	1,77	6,5	3,3	0,2
20,0	3,14	11,6	5,8	0,5
25,0	4,91	18,1	9,0	1,1
30,0	7,07	26,0	13,0	1,1
35,0	9,62	35,4	17,7	2,3
40,0	12,56	46,2	23,1	3,0
50,0	19,63	72,2	36,1	7,3
60,0	28,26	104,0	52,0	12,7
80,0	50,24	184,8	92,4	27,3
95,0	70,85	260,6	130,3	39,3
120,0	113,04	415,6	207,9	77,3
150,0	176,63	649,8	324,9	197,0
200,0	314,00	1155,1	577,6	387,0

Figura 13.8: Tabela de forças de levantamento (Parker)

A tabela acima mostra a capacidade para ventosas planas, com 75% de vácuo e fator de segurança 2. Os valores mostrados na tabela são valores calculados, determinados, a partir da seguinte fórmula:

Força de levantamento = (pressão x Área x coeficiente de atrito) / fator de segurança a 75 % de vácuo numa camada superficial seca.

Fator de segurança = 2 e coeficiente de atrito = 0.5

13.3 GERADORES DE VÁCUO

Os geradores pneumáticos de vácuo operam sob o princípio Venturi (descrito anteriormente, quando estudamos os lubrificadores de ar) e são alimentados por um gás pressurizado, geralmente o ar comprimido.

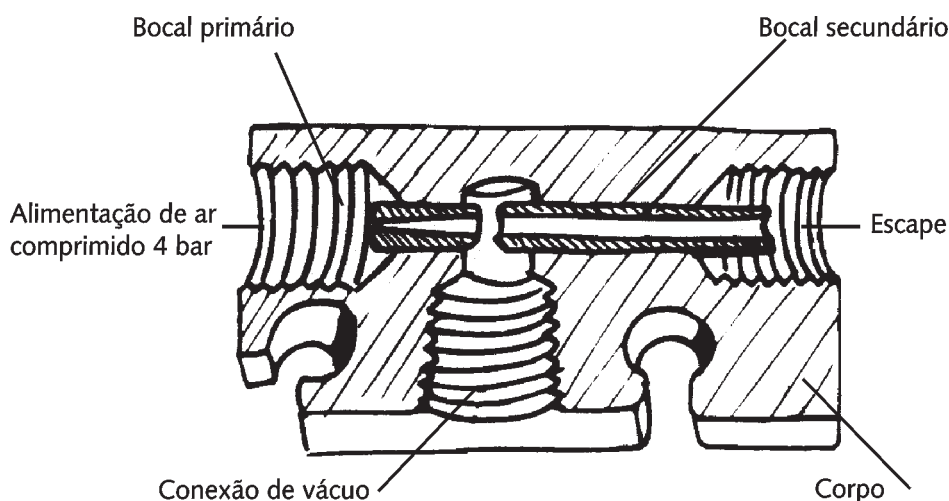


Figura 13.8: Geradores de vácuo (Parker)

13.3.1 O EFEITO VENTURI

O efeito Venturi é obtido através da expansão do ar comprimido, que alimenta o gerador de vácuo através de um ou mais bocais. Esta expansão converte a energia potencial do ar, em forma de pressão, para energia cinética, em forma de movimento.

A velocidade do fluxo aumenta, e a pressão e a temperatura caem, criando uma pressão negativa no lado da sucção.

Os geradores de vácuo pneumáticos apresentam dimensões reduzidas, ausência de peças móveis, baixo custo de manutenção e respostas rápidas. Eles podem ser projetados para produzir baixo ou alto vácuo:

Os geradores de alto vácuo produzem em elevado nível de vácuo, porém com baixo fluxo de sucção.

Os de baixo vácuo produzem baixo nível de vácuo, porém apresentam um alto fluxo de sucção.

Chapas de vidro, metal etc. não permitem a passagem de ar através delas, por isso geradores de alto vácuo são recomendados para estas aplicações. Geradores de baixo vácuo são recomendados para aplicações que envolvem materiais de alta permeabilidade ao ar, como, por exemplo, papel.

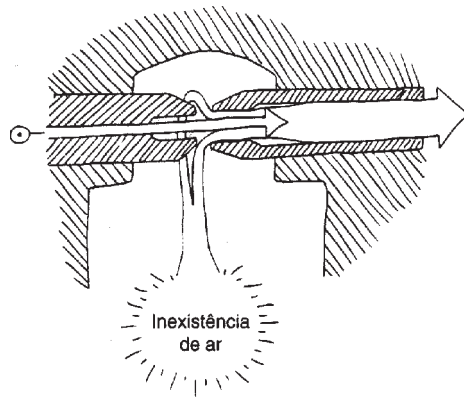


Figura 13.9: Efeito Venturi (Parker)

GERADOR PNEUMÁTICO	VENTILADOR	BOMBA DE DESLOCAMENTO POSITIVO
Baixo custo de aquisição	Baixo custo de aquisição	Baixo custo de operação
Respostas rápidas	Alta capacidade de sucção (importante quando o material a ser deslocado apresenta alta permeabilidade ao ar)	Baixo nível de ruído
Pouco peso e dimensões reduzidas (facilitam a instalação)	Alto nível de ruído	Alto custo de aquisição
Montagem sobre ou próximo a Ventosa reduz o volume de vácuo e o consumo de energia	Baixo nível de vácuo	Alto custo de manutenção
Alto nível de ruído		
Custo de operação relativamente alto se usado em serviço contínuo		

Figura 13.10: Comparação entre geradores, ventiladores e bombas de deslocamento positivo

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOLLMANN, ARNO. **Fundamento da automação industrial pneumática**. ABHP, 1996.

PARKER TRAINING. **Tecnologia pneumática industrial**. Apostila M1001 BR, 2000

STEWART HARRY. **Pneumática e Hidráulica**. 3.ed. São Paulo, 2000.

JOHN P. ROLLINS. **Manual de ar comprimido e gases**. São Paulo, 2004.

FESTO DIDACTIC. **Introdução à pneumática**. 5. ed. [S. I.], 1987.

SCHRARDER BELLOWS. Parker Pneumatic. Centro Didático de Automação. **Automação pneumática**. [Jacareí], [19??] .

SENAI/DN. **Comandos pneumáticos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1979. (Módulo institucional de introdução à Pneumática).