

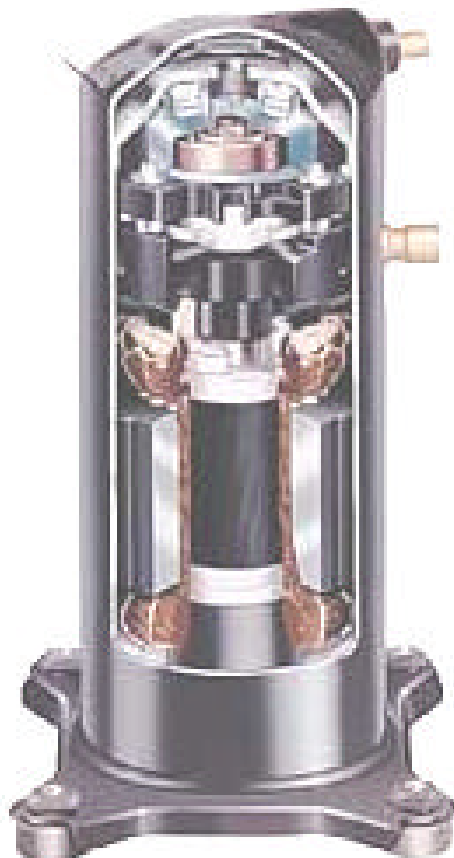


Refrigeração e Ar - Condicionado

Parte III

Compressores

Prof. Luiz Carlos Martinelli Jr. - DeTEC.



SUMÁRIO

COMPONENTES BÁSICOS DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	3
COMPRESSORES	3
<i>Compressores Alternativos</i>	3
O Processo de Compressão	5
Volume Nocivo	6
Eficiência Volumétrica (η_v)	6
Capacidade Frigorífica do Compressor (\dot{Q}_0)	8
Eficiência de Compressão (η_c)	10
Influência do Superaquecimento na Capacidade Frigorífica	11
Acessórios para Compressores	11
Dispositivos de Modulação de Capacidade	13
Componentes Internos de um Compressor Hermético	15
<i>Compressores de Parafuso</i>	19
Controle da Capacidade	22
<i>Compressores de Palhetas (Rotativos)</i>	24
<i>Compressores Centrífugos</i>	26
<i>Compressores Scroll</i>	28
<i>Compressores Automotivos</i>	29
Embreagem Magnética	30
BIBLIOGRAFIA	32

Componentes Básicos do Sistema de Refrigeração

Compressores

O compressor é o coração do sistema de compressão de vapor. É usado por uma única razão: recuperar o líquido expandido para que ele possa tornar a ser usado inúmeras vezes (fechando o ciclo). Se um reservatório de amônia fosse expandido na serpentina de resfriamento e descarregado na atmosfera, o efeito refrigerante seria o mesmo, mas:

- 1º) seria preciso repor o reservatório cada vez que se esgotasse;
- 2º) como a amônia é um refrigerante de alta toxicidade e inflamabilidade, ocorreriam problemas de intoxicação de pessoas e/ou incêndios nas proximidades da instalação;
- 3º) o custo de funcionamento do sistema seria demasiadamente elevado.

Os principais tipos de compressores frigoríficos são, Figura 1:

1. Compressor Alternativo (de êmbolo);
2. Compressor de Parafuso;
3. Compressor de Palheta ;
4. Compressor Centrífugo e
5. Compressor Scroll.

O *Compressor Alternativo* compreende uma combinação de um ou mais conjuntos de pistão e cilindro. O pistão se desloca em movimento alternativo, aspirando o gás num curso, comprimindo e descarregando-o no curso de retorno.

O *Compressor Rotativo de Parafuso* é um outro tipo de unidade de deslocamento positivo. Foi usado pela primeira vez em refrigeração em fins da década de 1950, mas está ganhando terreno rapidamente, em virtude de sua relativa simplicidade. Basicamente ele consiste em duas engrenagens helicoidais ajustadas entre si, sendo uma delas macho e a outra fêmea, num invólucro estacionário com aberturas de sucção e descarga. Para tornar estanques as roscas, na maioria dos projetos, é bombeado óleo através do compressor, junto com o refrigerante.

O *Compressor Rotativo de Palhetas Deslizantes* é uma unidade de deslocamento positivo, i.e., aprisiona o gás em volume determinado, comprime-o girando dentro de um cilindro, com palhetas deslizantes forçadas contra a parede de cilindro. Quando o espaço entre duas das paletas passa em frente à abertura de sucção, o volume de gás aprisionado é grande. À medida que se desloca em torno do cilindro, este espaço vai se tornando menor, sendo assim o gás comprimido até a pressão máxima, quando é descarregado do cilindro pela tubulação de descarga.

No *Compressor Centrífugo*, o gás passa sucessivamente por cilindros, conferindo-lhe estágios, necessários para aumentos parciais de pressão até atingir a pressão de descarga requerida.

No *Compressor Scroll*, o gás passa por entre duas espirais, sendo uma fixa e outra móvel. De acordo que a espiral se movimenta o gás aprisionado é levado para o centro das espirais, aumentando gradativamente a sua pressão até a saída.

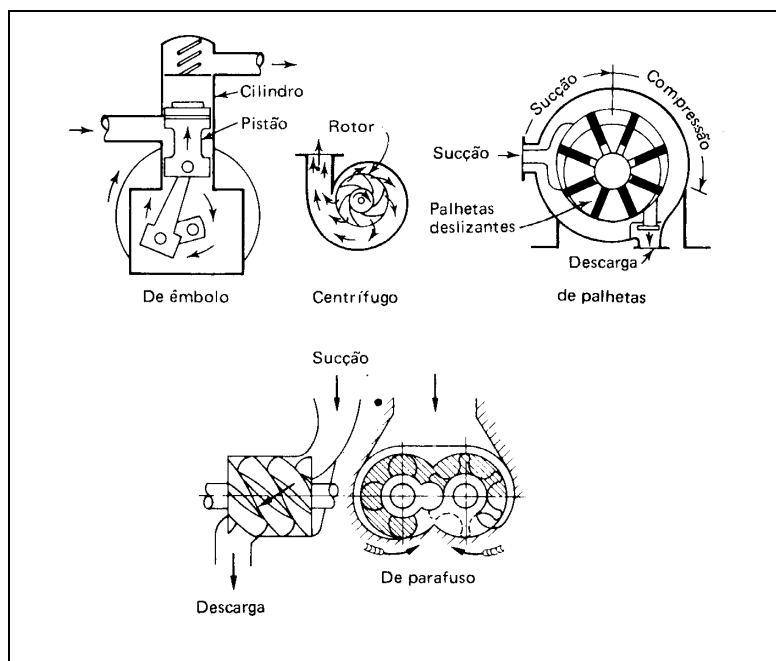


Figura 1 – Tipos de Compressores Frigoríficos

Podem se dividir ainda pela Pressão de Evaporação:

1. Baixa Pressão;
2. Média/Alta Pressão;
3. Pressão Comercial.

A Tabela 1 apresenta as faixas de aplicação e seus limites.

Tabela 1 – Faixa de Aplicação de Compressores

Faixa de Aplicação	Temperatura de Evaporação
Baixa Pressão de Evaporação (LBP)	-34,4 a -12,2°C
Média/Alta Pressão de Evaporação (MBP/HBP)	-15,0 a +12,8°C -20,0 a +10,0°C
Pressão Comercial de Evaporação (CBP)	-17,8 a +10,0°C
Alta Pressão de Evaporação/Condicionador de Ar (HBP/AC)	0,0 a +12,8°C

O uso de um compressor fora da sua faixa de aplicação pode resultar nas seguintes consequências:

- Perda de rendimento;
- Superaquecimento;
- Alto consumo de energia;
- Redução drástica da vida útil e
- Perda da capacidade de partida.

Compressores Alternativos

Os compressores alternativos foram os primeiros a ser utilizados comercialmente em refrigeração industrial. Apesar disso, este tipo de compressor vem sendo aprimorado, e não se pode considerá-lo um tipo antiquado de compressor. Acompanhando as tendências apresentadas pelas máquinas rotativas, a rotação destes têm aumentado durante os últimos 20 anos, a rotação variou de 120 a 180 rpm nos primeiros compressores até rotações da ordem de 3000 rpm nos compressores mais modernos.

Divididos em Compressores **Abertos**, **Semi-Herméticos** e **Herméticos**, os compressores alternativos são o elemento fundamental na indústria de refrigeração.

Compressores Alternativos Abertos

São aqueles em que o eixo de acionamento sai da carcaça para se acoplar um motor de acionamento (elétrico ou de combustão), Figura 2. São normalmente utilizados para altas potências de refrigeração.

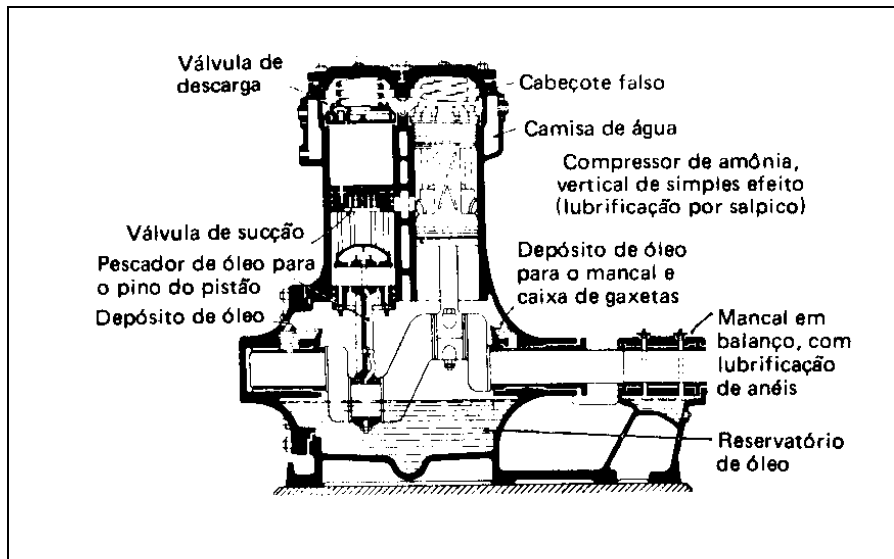


Figura 2 – Compressor Alternativo Aberto

Compressores Alternativos Semi-Herméticos

São compressores de potência intermediária. Têm uma carcaça única mas apresentam o cabeçote removível, permitindo a manutenção das válvulas e dos êmbolos do compressor, Figura 3 e Figura 4. O motor elétrico não é externo, está acoplado dentro do compressor. Como não tem ponta de eixo, também não possui volante. Eliminando as correias de ligação com o motor externo (compressores abertos), proporciona uma economia de 6% no consumo de energia, sendo que a condição de trabalho do compressor melhora pois o mesmo é resfriado pelo próprio fluido do sistema.

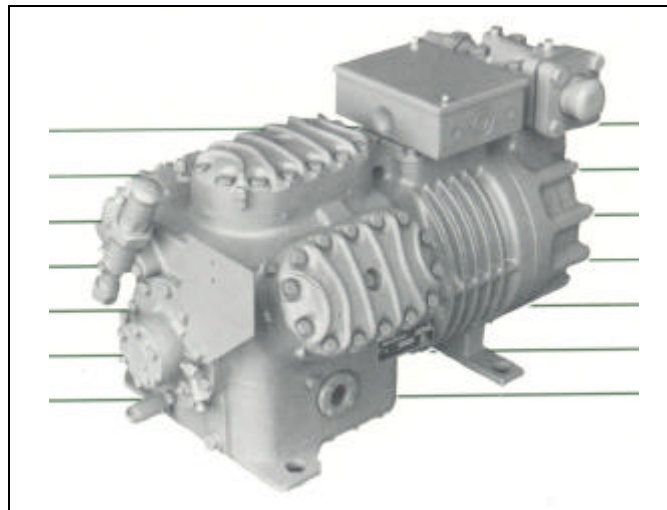


Figura 3 – Compressor Alternativo Semi-Hermético

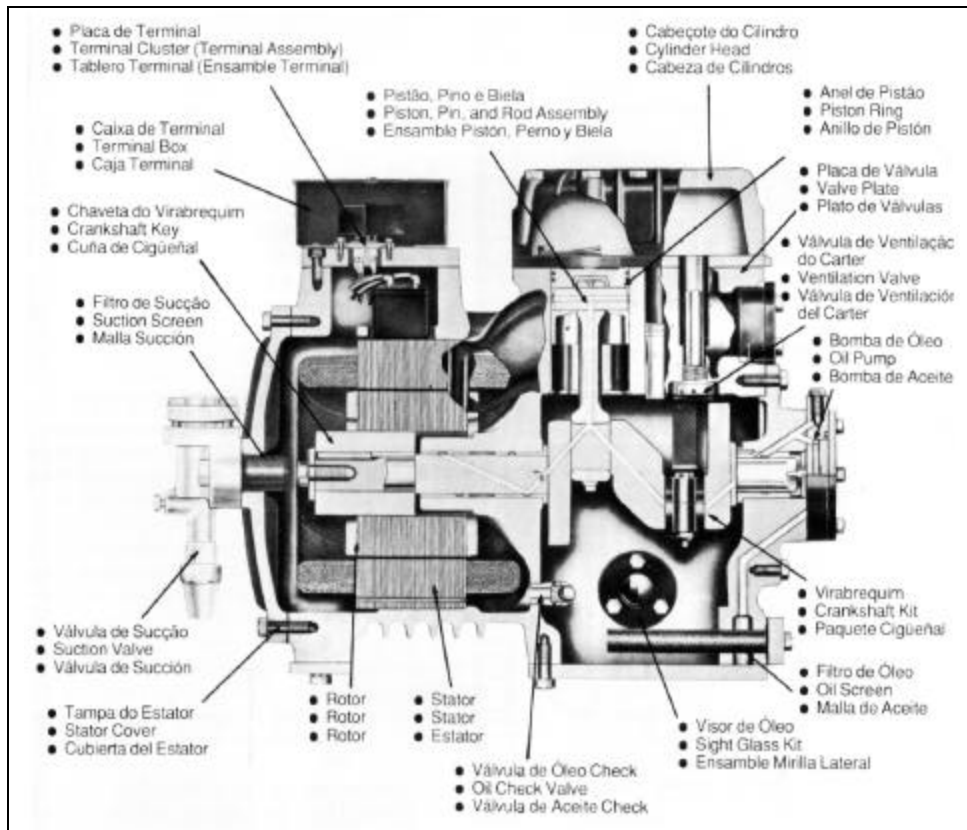


Figura 4 – Compressor Alternativo Semi-Hermético em Corte

Compressores Alternativos Herméticos

São normalmente de pequena capacidade e tanto o motor de acionamento (elétrico) como o compressor são encerrados dentro de um único invólucro. Tem como grande vantagem o não vazamento de refrigerante através da ponta de eixo, como pode ocorrer com os compressores abertos, pois não possuem parafusos. Não existe assim a possibilidade de acesso aos componentes internos para o caso de manutenção, devido a isso, são descartáveis, ou seja, em caso de queima a única solução é a substituição total do equipamento.



Figura 5 – Compressor Alternativo Hermético

O Processo de Compressão

Normalmente se entende por compressão as três fases pelas quais o refrigerante passa dentro do cilindro do compressor. São elas:

1. Admissão;

2. Compressão e
3. Descarga.

Admissão (ou Sucção)

Quando o pistão começa um movimento descendente, a válvula de sucção se abre. O aumento do volume interno do cilindro cria uma “depressão” (a pressão interna do cilindro diminui), que faz com que o gás do lado de baixa preencha todo o cilindro. A admissão acaba quando o pistão inicia o movimento ascendente, Figura 6.

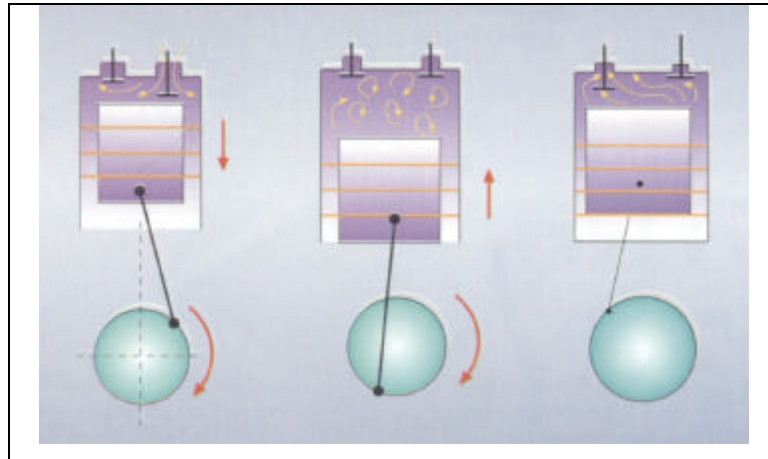


Figura 6 – Movimento do Pistão do Compressor

Compressão

Ao iniciar o movimento ascendente, o pistão faz com que a pressão suba ligeiramente, o que fará com que a válvula de sucção se feche. O gás dentro do cilindro ficará confinado e, com a subida do pistão, haverá um aumento de pressão e temperatura devido à diminuição do volume do gás.

O pistão continuará a subir e a compressão só se encerrará no momento em que a pressão dentro do cilindro atingir o ponto de abertura das molas que até então mantinham a válvula de descarga fechada.

Descarga

Com a pressão interna sendo maior que a das molas da válvula de descarga, esta se abre permitindo o escoamento do gás (a alta pressão e temperatura) para a câmara de descarga do compressor. Este processo tem início pouco antes do fim do movimento ascendente do pistão e termina quando se inicia o movimento descendente.

Volume Nocivo

Volume Nocivo ou Espaço Nocivo é o espaço entre a face do pistão e a placa da válvula de descarga no ponto morto superior do curso. Esta folga deve ser a menor possível, de modo a forçar o vapor de refrigerante comprimido a passar pela válvula de descarga. Qualquer vapor remanescente irá se expandir novamente no curso de sucção, enchendo parcialmente o cilindro e reduzindo o seu volume efetivo, i.e., a eficiência volumétrica do compressor.

Eficiência Volumétrica (η_v)

A eficiência volumétrica é um parâmetro básico na análise do desempenho dos compressores alternativos. A eficiência volumétrica devida ao volume nocivo é chamada “Eficiência Volumétrica Teórica” é representada pelo símbolo η_v . A eficiência volumétrica real é aquela que associa todos os efeitos e é representada pelo símbolo η_{VR} .

Na Figura 7 está representado um ciclo teórico completo de compressão. Usando esta figura, pode-se deduzir uma expressão para a eficiência volumétrica teórica em função das propriedades termodinâmicas do refrigerante e das características construtivas do compressor.

Da definição de eficiência volumétrica, têm-se:

$$h_v = \frac{V_1 - V_4}{V_c} = \frac{V_1 - V_0 + V_0 - V_4}{V_c}$$

$$h_v = \frac{V_1 - V_0}{V_c} + \frac{V_0 - V_4}{V_c}$$

$$h_v = \frac{V_c}{V_c} + \frac{V_0 - V_4}{V_c}$$

$$h_v = 1 + \frac{V_0 - V_4}{V_c}$$

$$h_v = 1 - \frac{V_0}{V_c} \left(\frac{V_4}{V_0} - 1 \right)$$

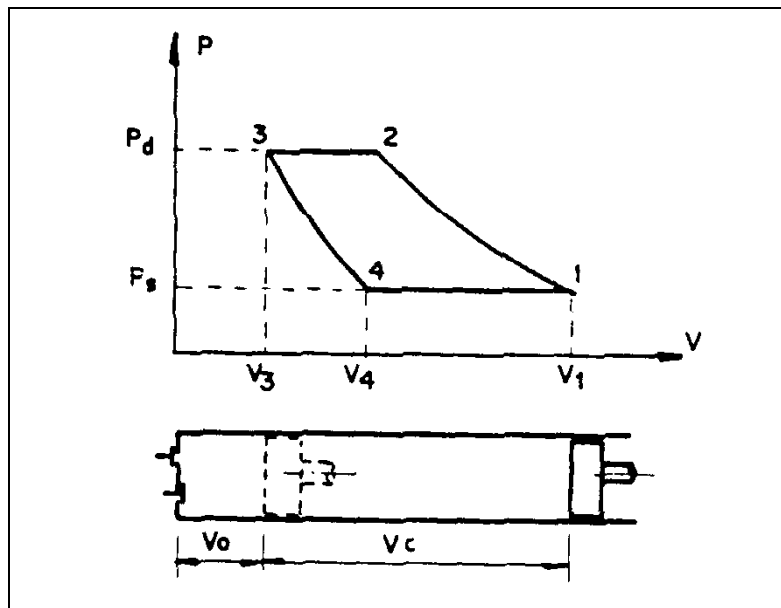


Figura 7 – Diagrama indicado teórico de um ciclo completo de Compressão - Admissão

Para um processo de expansão isoentrópico (teórico), a razão:

$$\frac{V_4}{V_0} \cong \frac{v_s}{v_D} \quad \text{onde } S \equiv \text{sucção e } D \equiv \text{descarga.}$$

Assim, têm-se:

$$h_v = 1 - \frac{V_0}{V_c} \left(\frac{v_s}{v_D} - 1 \right)$$

ou ainda, considerando-se a expansão isoentrópica, em que:

$$P_4 \cdot v_4^k = P_0 \cdot v_0^k$$

têm-se:

$$h_v = 1 - \frac{V_0}{V_c} \left(\left(\frac{P_D}{P_S} \right)^{\frac{1}{k}} - 1 \right)$$

onde:

V_0 – volume nocivo;

V_c – volume da cilindrada do compressor;

P_D – pressão absoluta de descarga;

P_S – pressão absoluta de sucção do compressor e

k – expoente da politrópica.

O volume deslocado (V_D) pode ser calculado considerando-se as características do compressor, ou seja:

$$V_D = \frac{p \cdot D^2}{4} \cdot L \cdot Z \cdot i \cdot N \cdot 60 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

onde:

D – diâmetro do cilindro (m);

L – curso do êmbolo (m);

Z – número de cilindros do compressor;

i – indica o efeito $i=1$ simples efeito, $i=2$ duplo efeito;

N – número de rotações do compressor (rpm);

60 – fator de conversão de rpm para rph

A eficiência volumétrica real (η_{VR}) leva em consideração:

- os efeitos de variação e temperatura do refrigerante ao entrar no cilindro (λ_T);
- a variação de pressão que ocorre quando o refrigerante passa através da válvula de admissão (λ_p) e
- as fugas de refrigerante através das válvulas de admissão e descarga do compressor (λ_F).

Matematicamente a eficiência volumétrica real pode ser expressa pela seguinte equação:

$$h_{VR} = h_v \cdot I_T \cdot I_p \cdot I_F$$

onde os coeficientes λ tem valores entre:

$$0,90 \leq \lambda_T \leq 0,95$$

$$0,93 \leq \lambda_p \leq 0,97$$

$$0,95 \leq \lambda_F \leq 0,98$$

Considerando estes valores para os coeficientes λ pode-se escrever:

$$0,79\eta_v \leq \eta_{VR} \leq 0,90\eta_v$$

Capacidade Frigorífica do Compressor (\dot{Q}_0)

A capacidade Frigorífica de um compressor depende da quantidade de fluido refrigerante que está sendo deslocado. Esta quantidade vai depender dos seguintes parâmetros:

1. Quantidade de Cilindros: os compressores alternativos normalmente são encontrados em 4, 6, 8, 12 e 16 cilindros; quanto mais, maior a capacidade.
2. Rotação: quanto maior a rotação a capacidade aumentará proporcionalmente. Pode-se usar acoplamento direto do compressor com o motor (no máximo 1800rpm) ou utilizar um sistema de redução de correias e polias.
3. Dimensões do Cilindro: a cada volta do virabrequim, um determinado volume de refrigerante é deslocado. Aumentando esse volume, é aumentada a capacidade do compressor. Assim existem compressores com diâmetros e cursos variados, para atender às diversas capacidades necessárias aos diferentes tipos de instalações.

O compressor frigorífico, por si só, não possui qualquer capacidade frigorífica, mas sim uma capacidade de deslocar uma dada massa de refrigerante. Este fluxo de massa deslocado pelo compressor em um sistema frigorífico será convertido em capacidade frigorífica pelo evaporador do sistema.

O fluxo real de massa que um dado compressor pode deslocar é calculado pela seguinte equação:

$$\dot{m} = V_D \cdot \frac{h_{VR}}{v_1} \text{ (kg/h)}$$

onde:

V_D – volume deslocado pelo compressor (m^3/h);

v_1 – volume específico do refrigerante à entrada do compressor (m^3/kg).

Conhecendo-se o fluxo real de massa que o compressor pode deslocar, a capacidade frigorífica do compressor é facilmente determinada para uma dada condição de operação, ou seja:

$$\dot{Q}_0 = \dot{m}_f (h_1 - h_4)$$

Normalmente os fabricantes de compressores frigoríficos apresentam a capacidade frigorífica do compressor na forma de tabelas (ou gráficos) em função da temperatura de condensação (t_c) e de vaporização (t_0) para uma dada temperatura de admissão.

A Figura 8 e a Tabela 2 são exemplos da apresentação da capacidade frigorífica de compressores.

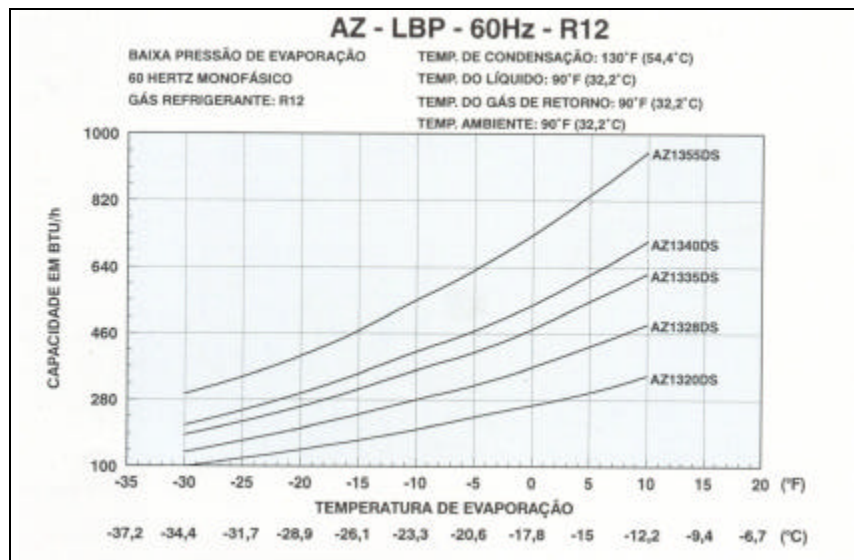


Figura 8 – Capacidade Frigorífica do compressor Sicom AZ, baixa pressão de evaporação (LBP), com $T_c = 54,4$ °C

Tabela 2 – Apresentação da Capacidade Frigorífica de Compressores

Aplicação em Baixa Pressão de Evaporação (LBP)					
MODELO DO COMPRESSOR	GÁS REFRIGERANTE	REFERÊNCIA COMERCIAL (HP)	CILINDRADA (CM ³ /REV)	CAPACIDADE FRIGORÍFICA NOM. (Btu/h)	
				60 Hz	50 Hz
AZ 1320 DS	R-12	1/16	2,23	200	170
AZ 1328 DS	R-12	1/12	2,95	280	250
AZ 1335 DS	R-12	1/10	3,60	360	310
AZ 1340 DS	R-12	1/8	4,00	410	360
AZ 1355 DS	R-12	1/6	5,59	550	475
AE 1332 AS	R-12	1/10	4,04	330	280
AE 1336 AS	R-12	1/8	4,49	375	330
AE 1343 AS	R-12	1/6	5,47	450	390
AE 1360 AS	R-12	1/5	7,55	650	560
AE 1380 AS	R-12	1/4	8,85	852	710
AE 1410 AS	R-12	1/3	9,41	1050	872
AE 1411 DS	R-12	1/3	12,04	1075	920
AE 1413 AS	R-12	1/3	14,17	1300	1083
AE 2380 AS	R-12	1/4	8,85	852	710
AE 2410 AS	R-12	1/3	12,04	1050	872
AE 2413 AS	R-12	1/3	14,17	1300	1083
AE 2415 AS	R-12	1/2	16,08	1525	1375
AE 2411 JS	R-502	1/3	6,60	1097	911
AE 1370 VS	R-12	1/5	6,90	740	650
AE 1390 VS	R-12	1/4	8,10	880	775
AE 1410 VS	R-12	1/3	9,41	1060	932
AE 1370 W	R-12	1/5	6,90	740	650
AE 1390 W	R-12	1/4	8,10	880	775
AE 1410 W	R-12	1/3	9,41	1060	932
TP 1370 AS	R-12	1/5	5,14	710	610
TP 1375 AS	R-12	1/5	5,65	780	670
TP 1390 AS	R-12	1/4	6,53	920	790
TP 1410 AS	R-12	1/3	7,28	1050	900
TP 1412 AS	R-12	1/3	8,37	1170	1003
AKL 19 AS	R-12	1/2	18,80	1680	1400
AKL 26 AS	R-12	3/4	26,00	2200	1833
AKL 19 JS	R-502	3/4	18,80	3000	2500
AKL 26 JS	R-502	1	26,00	4200	3500

Compressores SICOM (R-12, R-22 e R-502)

Eficiência de Compressão (η_c)

A eficiência de compressão é definida como sendo a razão entre a potência teórica necessária ao compressor (\dot{W}_c), para realizar o processo de compressão do refrigerante em um dado ciclo (processo 1- 2), e a potência real consumida no eixo do compressor para realizar o ciclo real entre a mesma diferença de pressão.

Matematicamente temos:

$$h_c = \frac{\dot{W}_c}{\dot{W}_{\text{eixo}}}$$

A eficiência de compressão varia para cada compressor. Para compressores alternativos abertos, a eficiência varia de 65 a 70% dependendo do compressor. Assim, através da equação dada acima, pode-se estimar a potência que será consumida por um dado compressor operando em um dado ciclo.

Influência do Superaquecimento na Capacidade Frigorífica

A forma mais adequada para se mostrar a influência da temperatura de admissão na capacidade frigorífica do compressor é considerar um exemplo. Seja um compressor Coldex-Fligor 4P. Faremos uma análise da capacidade variando a temperatura de sucção para um sistema que trabalha com temperatura de condensação de 40°C e temperatura de vaporização de 0°C e indicaremos na Figura 9 e na Figura 10.

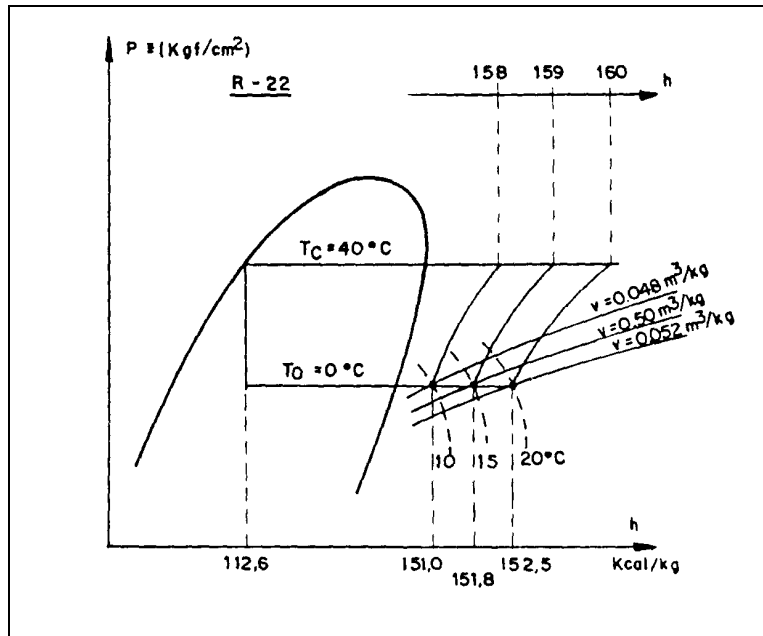


Figura 9 – Ciclo frigorífico indicando diversos superaquecimentos

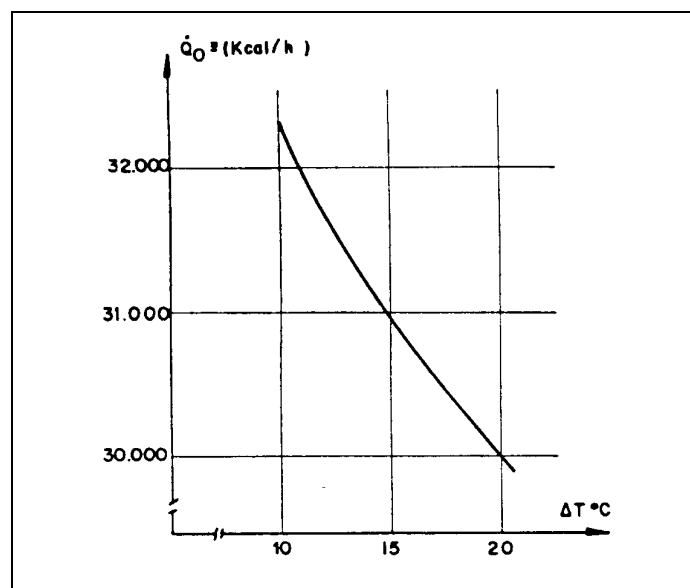


Figura 10 – Influência do superaquecimento na capacidade frigorífica do compressor

Acessórios para Compressores

Os principais acessórios para os compressores alternativos são:

1. Cabeçotes resfriados a água;
2. Cabeçotes de segurança;
3. Resfriador de Óleo e
4. Separador de Óleo.

Os cabeçotes resfriados a água são cabeçotes com camisas onde circula água para resfriar a descarga do compressor (Figura 11). É de uso comum em sistemas de temperatura abaixo de -30°C , onde a temperatura de descarga do compressor atinge temperaturas muito altas.

Nos cabeçotes de segurança (Figura 12) a válvula de descarga é normalmente montada numa placa separada. Esta placa é fixada por fortes molas que se apoiam na cabeça do cilindro. No caso de o refrigerante líquido ou o óleo, que não são compressíveis, penetrarem no cilindro, esta placa se ergue, superando a pressão das molas, evitando-se danos sérios ao compressor.

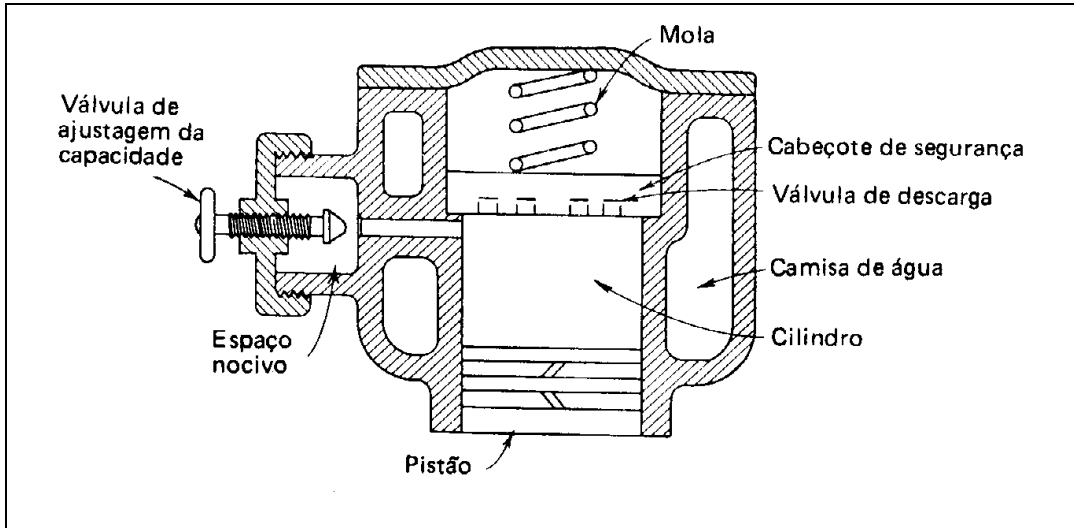


Figura 11 – Cabeçote resfriado a água (camisa de água). A Cavidade de Alívio aumenta a folga do cilindro inserindo um Espaço Nocivo

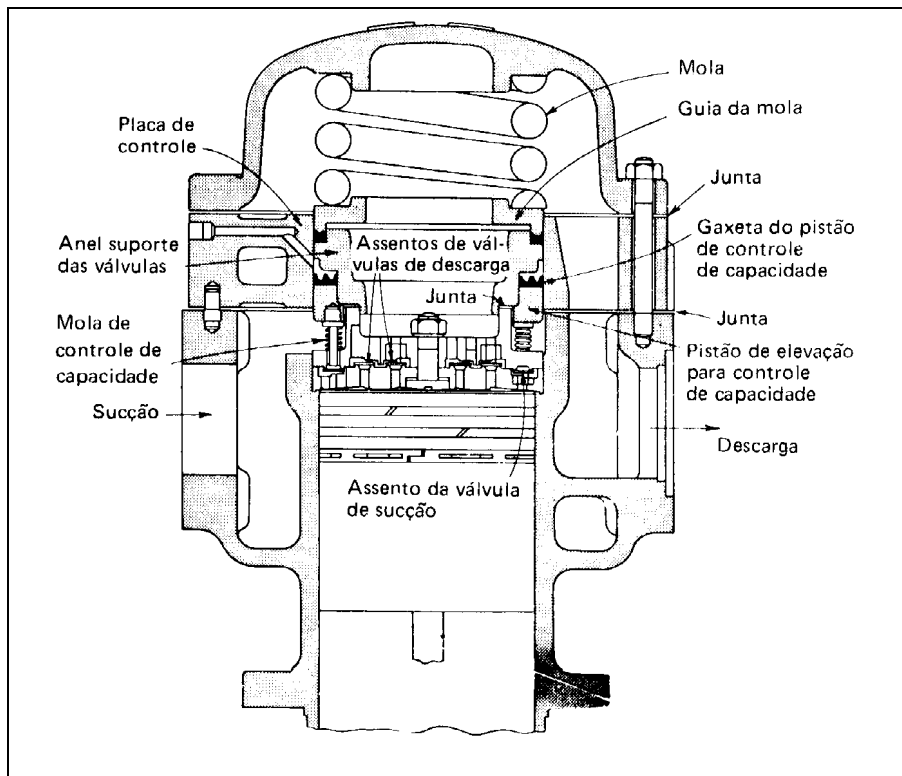


Figura 12 – Cabeçote de Segurança

O resfriador de óleo consiste em um trocador de calor a água ou a gás onde o óleo utilizado para a lubrificação do compressor é resfriado. O mesmo é necessário onde a temperatura de descarga é muito alta, causando um aquecimento excessivo do óleo.

O separador de óleo é um dispositivo instalado na descarga de compressor para evitar o arraste excessivo do óleo para o sistema. Existem os tipos com filtro coalescer (Figura 13) e com filtro demister (Figura 14).

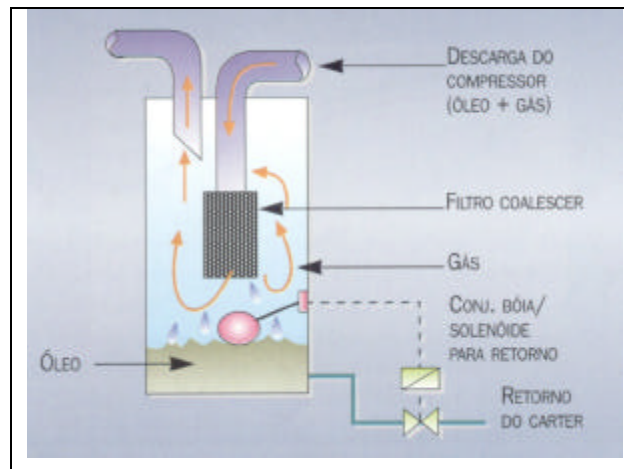


Figura 13 – Separador de óleo com filtro coalescer

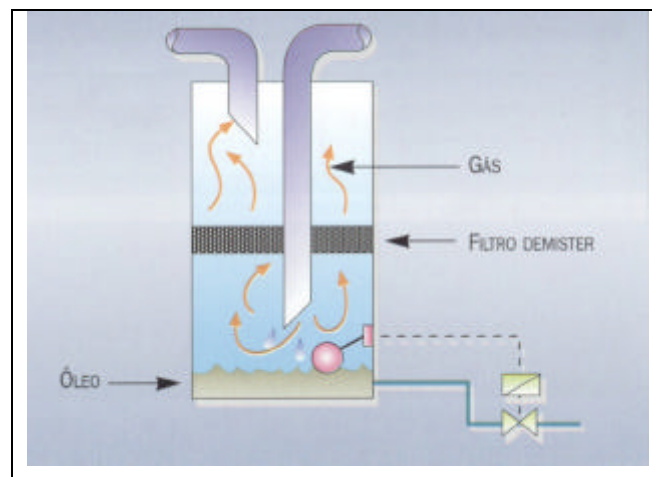


Figura 14 – Separador de óleo com filtro demister

Dispositivos de Modulação de Capacidade

Um recurso interessante é a modulação de capacidade do compressor alternativo. A modulação da capacidade pode ser feita pelas seguintes maneiras:

1. através de um mecanismo específico que impede que as válvulas de sucção se fechem (Figura 15);
2. através de uma cavidade de alívio (Figura 11) e
3. através de bypass (Figura 16);
4. através de motores de várias velocidades ou motores de anéis;
5. através do fechamento parcial do registro da tubulação de sucção e
6. através de retorno de parte do gás de descarga.

Na primeira, uma parte do gás não é comprimido, i.e., ele é sugado para dentro o compressor e, em seguida, expulso para fora pelo lado de baixa pressão, diminuindo o deslocamento final do compressor. Esse recurso permite que o compressor opere em condições de carga térmica parcial, proporcionalmente ao número de cilindros carregados, (Tabela 3).

Tabela 3 – Modulação da Capacidade do Compressor

N.º de Cilindros	Estágios de Capacidades
2	0 – 100%
4	0 – 50% – 100%
6	0 – 33% – 66% – 100%
8	0 – 25% – 50% – 75% – 100%

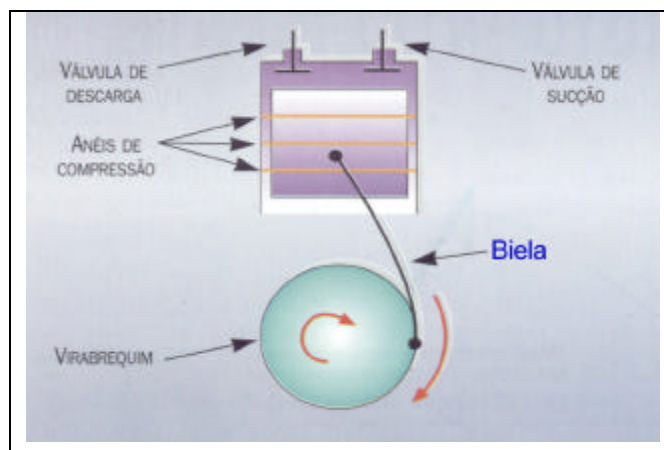


Figura 15 – Componentes Básicos do Compressor

Na segunda, utiliza-se de uma cavidade de alívio. Essa cavidade é um espaço deixado propositalmente no cabeçote, a fim de aumentar a folga efetiva, possibilitando o controle da capacidade da máquina. Quando a válvula da cavidade de alívio é aberta, manual ou automaticamente, a cavidade fica cheia de gás, à alta pressão, ao fim de cada ciclo. No curso de sucção, esse vapor de alta pressão retorna ao cilindro e se expande até a pressão de sucção antes que o vapor de baixa pressão possa entrar no cilindro, reduzindo então a capacidade do compressor sem ter que parar e partir a máquina constantemente.

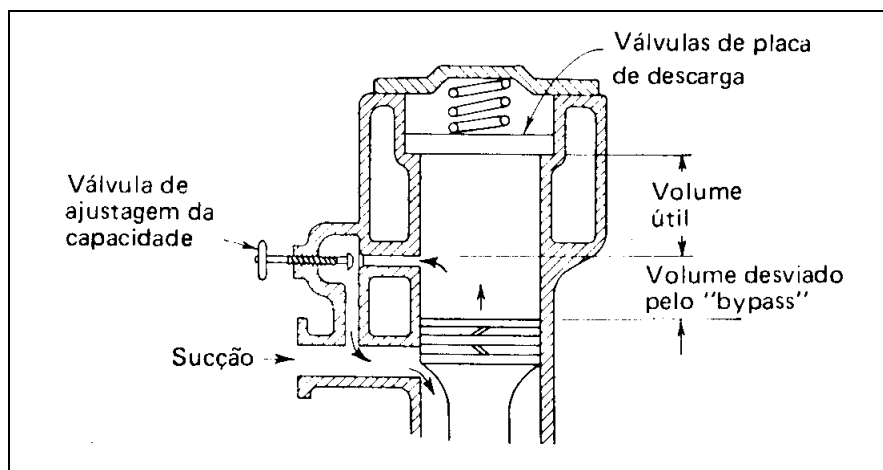


Figura 16 – Controle de capacidade por bypass

O controle de capacidade por bypass é uma abertura provida de válvula na parede lateral do cilindro. Esta abertura permite que parte do vapor de refrigerante retorne diretamente à sucção durante a primeira parte do curso de compressão. A porcentagem de redução de capacidade é determinada pela posição da abertura de bypass em relação ao curso total do pistão. Com a válvula de ajuste da capacidade aberta, o volume do cilindro abaixo da abertura é retornado diretamente à sucção.

O controle através de motores de várias velocidades é utilizado para variar a velocidade do compressor, aumentando ou diminuindo sua capacidade. A variação de rotação do motor pode ser feita através de inversores de frequência. Ainda existem poucas instalações deste tipo, mas no futuro as possibilidades não deixam de ser promissoras.

O fechamento parcial do registro da tubulação de sucção faz com que, na realidade, o compressor trabalhe a uma pressão de sucção menor que a da tubulação, reduzindo assim a sua capacidade.

Uma outra forma de controlar a capacidade do compressor é retornar parte do gás de descarga, na tubulação de alta pressão, diretamente à tubulação de sucção. É uma das piores maneiras pois, o compressor trabalha a plena carga, sem redução no consumo de energia e no seu desgaste.

Componentes Internos de um Compressor Hermético

Procura-se aqui mostrar alguns dos componentes de um compressor alternativo hermético, mais comumente achado no mercado.

Internamente, o compressor hermético é composto de duas partes fundamentais: o compressor propriamente dito (parte mecânica) e o motor (parte elétrica). Esse conjunto permanece suspenso em três molas dentro da carcaça (Figura 17).

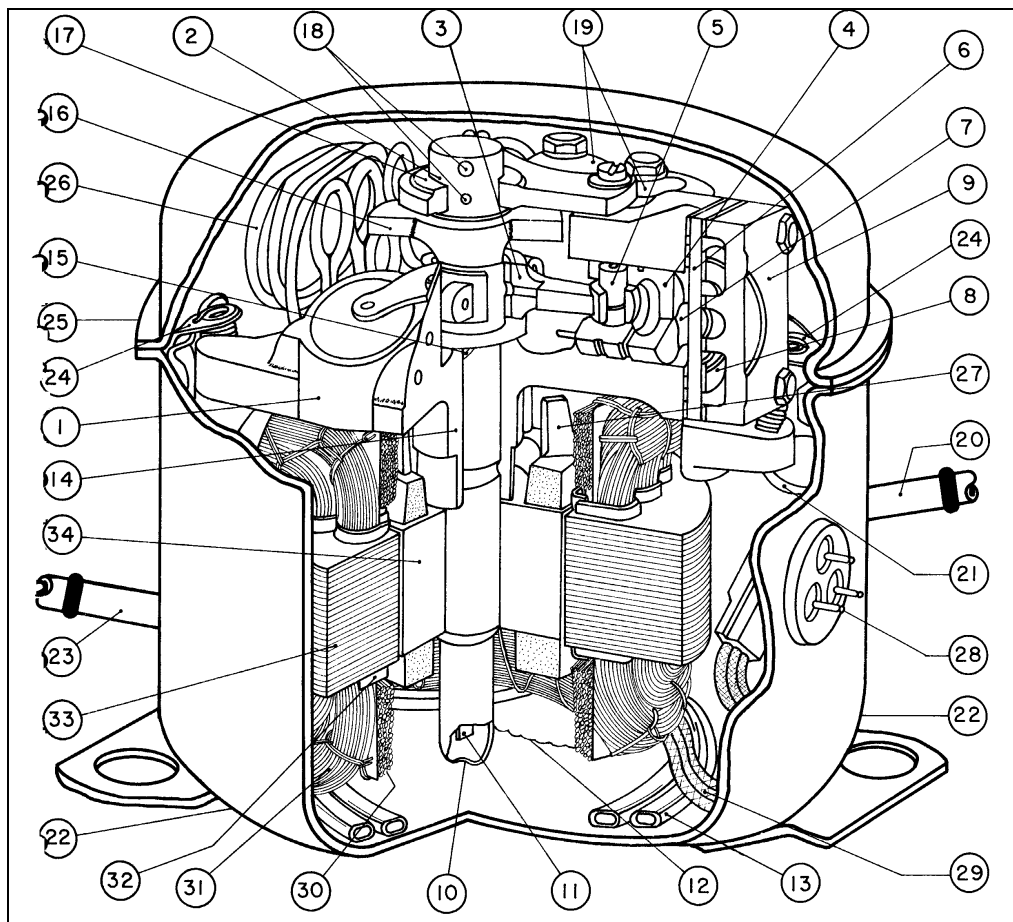


Figura 17 – Componentes de um Compressor Hermético

Onde:

- | | |
|-----------------------------|----------------------------|
| 1. Corpo | 18. Furos de Lubrificação |
| 2. Eixo | 19. Muflas de Descarga |
| 3. Biela | 20. Cano de Sucção |
| 4. Pistão | 21. Suporte Interno |
| 5. Pino | 22. Carcaça |
| 6. Placa de Válvulas | 23. Cano de Descarga |
| 7. Válvula de Sucção | 24. Molas de Suspensão |
| 8. Válvula de Descarga | 25. Solda |
| 9. Cabeçote | 26. Serpentina de Descarga |
| 10. Pescador de Óleo | 27. Aletas Rotor |
| 11. Divisor | 28. Terminal Hermético |
| 12. Nível de Óleo | 29. Cabos de Ligação |
| 13. Resfriador de Óleo | 30. Bobina de Partida |
| 14. Mancal Principal | 31. Bobina de Trabalho |
| 15. Ranhura de Lubrificação | 32. Isolação |
| 16. Contrapeso | 33. Estator |
| 17. Mancal | 34. Rotor |

Estator

Formado por um conjunto de chapas magnéticas, contendo canais onde ficam alojadas a bobina de trabalho (mais externamente) e a bobina auxiliar (mais internamente), Figura 18.



Figura 18 – Estator e Bobinas

Bobinas

Uma bobina é um fio contínuo de cobre isolado (geralmente por uma camada de verniz especial) enrolado em forma de espiras (carretel). Quando neste fio, assim enrolado, circular corrente elétrica, surgirá um forte campo magnético (eletroímã).

No caso do motor elétrico, o campo magnético é de tal forma produzido que atrai o rotor fazendo-o girar.

Bobina de Trabalho (Bobina Principal)

Esta bobina gera um campo magnético que mantém o rotor em movimento, permanecendo ligada todo o tempo em que o motor do compressor estiver energizado.

Bobina Auxiliar (Bobina de Partida)

Esta bobina gera um campo magnético que provoca o início e o sentido de giro do rotor, esta bobina deve ser desligada pelo relé de partida quando o rotor do compressor estiver girando.

Rotor do Eixo

O rotor (parte giratória do motor) constitui-se de um cilindro formado por chapas magnéticas circulares, Figura 19. Um eixo é fixado ao rotor para que seu movimento seja transmitido à biela que por sua vez o transmitirá ao pistão.

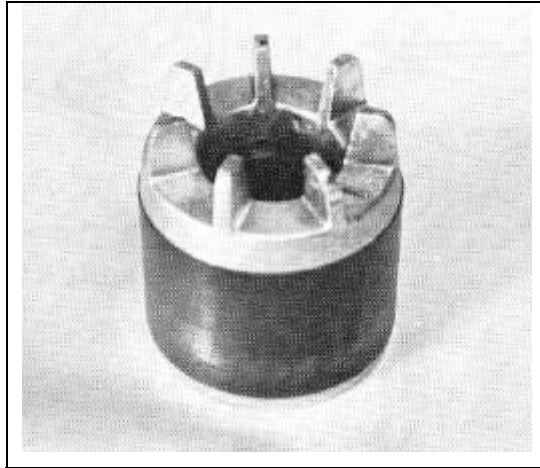


Figura 19 – Rotor

Conjunto Eixo/Biela(Cruzeta)/Pistão

O sistema de acionamento do pistão do compressor é feito pelos sistemas de biela (Figura 20) ou de cruzeta (Figura 21). Em ambos os sistemas, o movimento de rotação do eixo é transformado em movimento alternativo (vai e vem) transferindo-o para o pistão do compressor.

Na extremidade inferior do eixo existe um sistema de “bomba de óleo” (pescador - Figura 22) responsável pela lubrificação das partes que estão em atrito no conjunto.

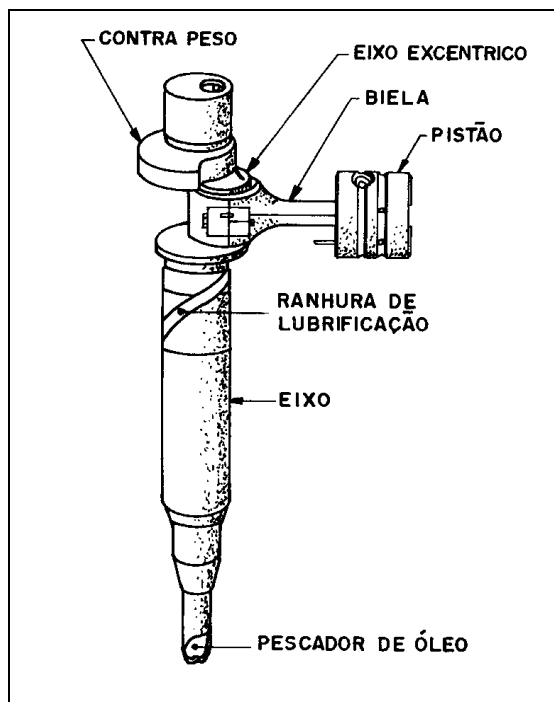


Figura 20 – Conjunto Eixo/Biela/Pistão

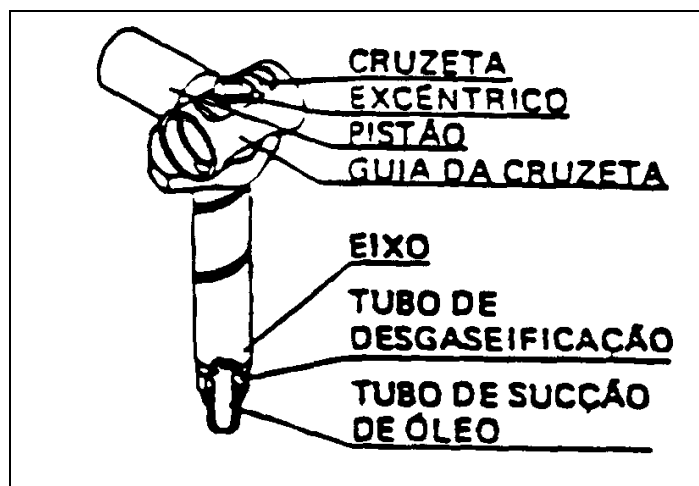


Figura 21 – Conjunto Eixo/Cruzeta/Pistão

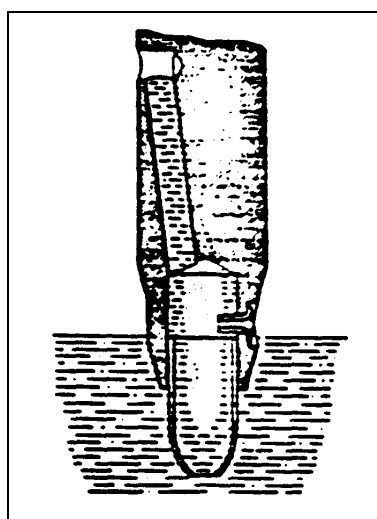


Figura 22 – Pescador

Placa de Válvulas

Na placa de válvulas estão fixadas as lâminas que formam a válvula de descarga e a válvula de sucção. A função destas válvulas é promover a sucção do gás pelo tubo de sucção, comprimindo-o através do tubo de descarga (Figura 24).

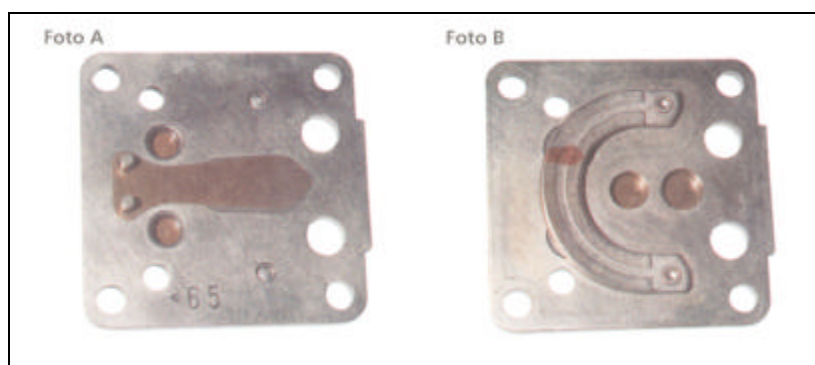


Figura 23 – Placa de Válvulas. Foto A – lâmina de sucção.
Foto B – lâmina de descarga e seu limitador

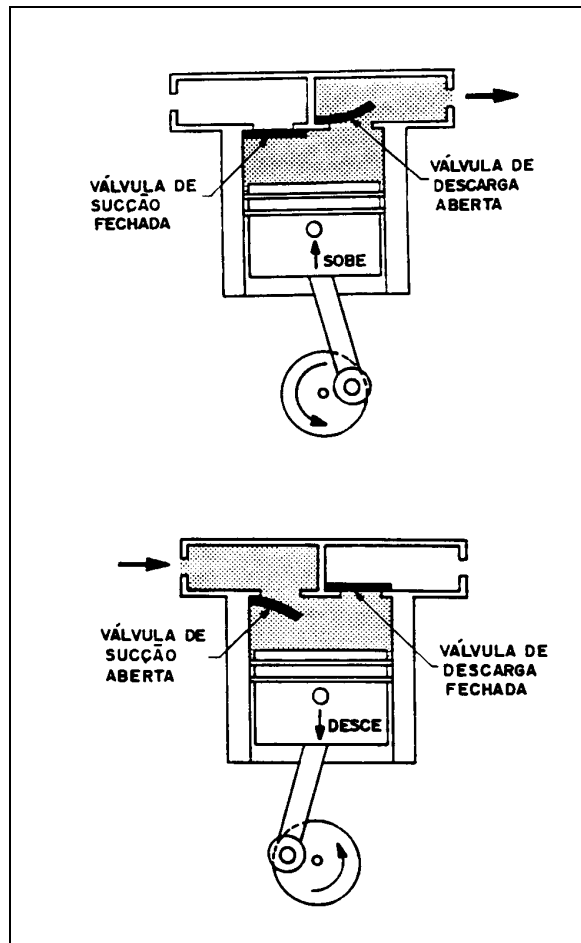


Figura 24 – Funcionamento da Válvulas

Quando o pistão estiver abaixando, a válvula de sucção ficará aberta e válvula de descarga permanecerá fechada. Ao contrário, quando o pistão estiver subindo, a válvula de sucção ficará fechada e a válvula de descarga permanecerá aberta.

Compressores de Parafuso

O compressor Rotativo de Parafuso (Screw Compressor) consiste de dois fusos, um macho e outro fêmea (Figura 25 e Figura 26). Um destes fusos é acionado pelo motor e o “engrenamento” dos dois faz com que haja uma rotação. Os dois fusos estão montados dentro de uma carcaça e apoiados em mancais de rolamentos. Uma vez aspirado para dentro do compressor o gás será comprimido pelo movimento dos dois fusos até atingir a descarga. Ao longo deste percurso a pressão subirá.

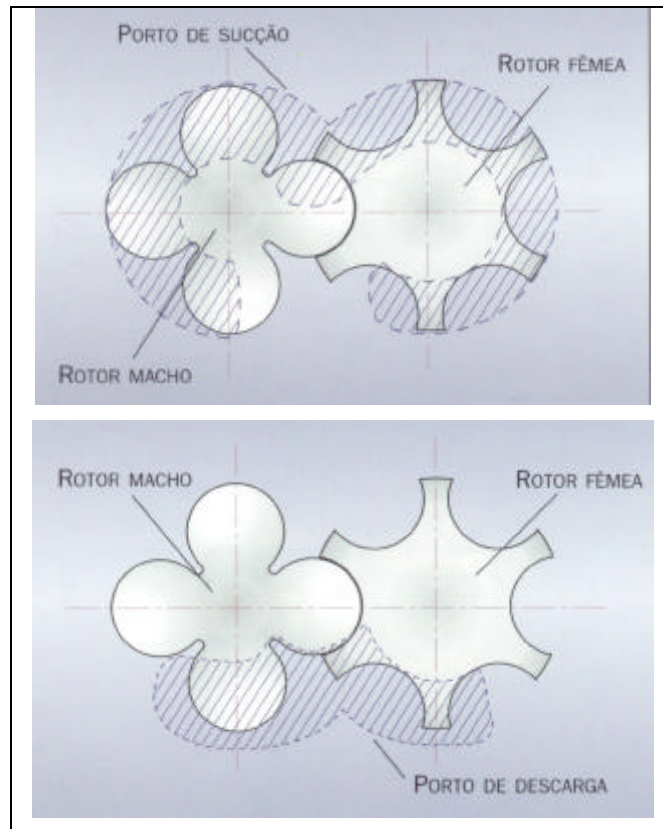


Figura 25 – Fusos de um Compressor de Parafuso

Há muito tempo que os projetistas vêm sonhando com um compressor que combine as melhores características de deslocamento positivo da máquina de pistão com as de fluxo uniforme da máquina rotativa centrífuga. O compressor rotativo de parafuso helicoidal (helicoidal rotary screw compressor) também conhecido como tipo Lysholm aproxima-se bastante destes requisitos.

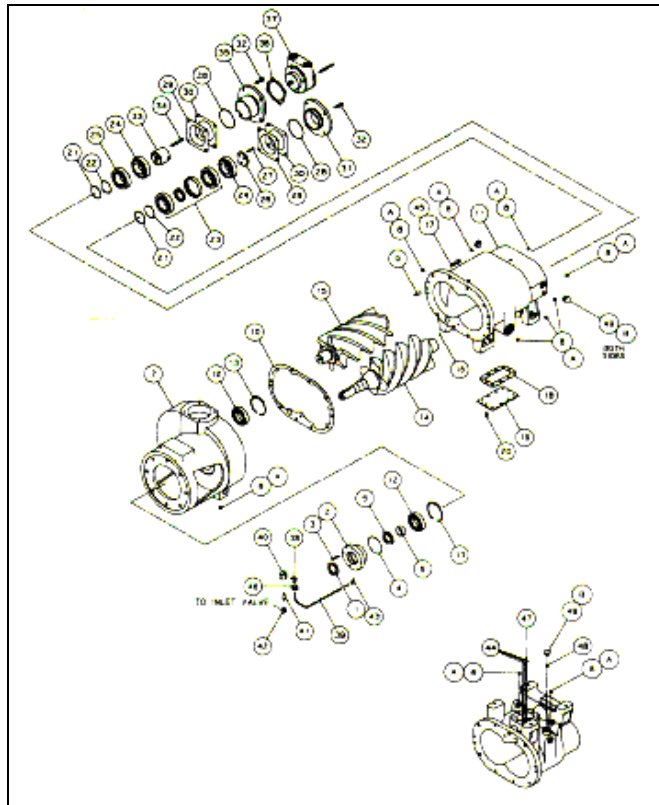


Figura 26 – Compressor de Parafusos explodido

O rotor (fuso) macho tem quatro saliências e o rotor fêmea, seis. Assim, o rotor macho gira 50% mais rápido. O rotor fêmea funciona principalmente como uma vedação girante para o gás que se move axialmente através da máquina. Geralmente a entrada é por cima, em uma das extremidades, e a descarga é por baixo, na extremidade oposta (Figura 25). No lado da entrada, quando uma saliência do rotor macho se destaca da do rotor fêmea, o vácuo que se forma faz com que o gás penetre pela abertura de sucção. Quando o comprimento total do canal já aspirou uma carga de gás de entrada, a abertura de entrada é bloqueada. Isto ocorre em aproximadamente um terço de volta. Um pouco depois, uma saliência do rotor macho começa o engrenamento com o canal do rotor fêmea, começando no lado da aspiração. A extremidade oposta do canal é vedada, do lado da descarga, por uma placa. À medida que a saliência do rotor macho comprime o gás, no interior do canal do rotor fêmea, realiza-se a compressão.

O gás aprisionado, à pressão desejada, é foçado através de uma abertura na placa de compressão, quando ela é descoberta por uma saliência do rotor macho. O mesmo ocorre com os canais subseqüentes do rotor fêmea.

Originalmente, o inventor deste tipo de compressor utilizou parafusos “secos”. Os dois parafusos (saliências) eram mantidos separados (para evitar desgaste) por engrenagens nos dois eixos. Estas máquinas apresentavam aquecimento comparável a qualquer outro tipo de máquina de deslocamento positivo. Além disso, havia vazamento de gás na folga entre as saliências e na folga entre os rotores e o cilindro, tanto nas paredes como nas extremidades. Para que o vazamento fosse relativamente pequeno em relação ao deslocamento, utilizam-se altas velocidades, o que tornava as máquinas ruidosas. A solução foi encontrada no uso do “parafuso molhado” aperfeiçoado. O líquido injetado no cilindro é óleo lubrificante, mas sua função principal é o resfriamento do gás por contato direto durante a compressão. O óleo também veda as folgas e atua como lubrificante.

Nenhum outro tipo de compressor mecânico permite a introdução de grandes volumes de líquido resfriador dentro do próprio compressor. Este resfriamento interno teria as mesmas vantagens num compressor a pistão ou centrífugo mas, obviamente, isto não é possível. O resfriamento interno significa não só um baixo aquecimento da máquina devido à compressão como, também, a possibilidade de se atingirem altas relações de compressão num só estágio, sem resfriadores intermediários.

Os compressores a seco são utilizados na refrigeração. São especificados freqüentemente, porém apenas para aplicações especiais. Por outro lado, os compressores rotativos de parafuso helicoidal imerso em óleo são projetados para funcionamento a altas pressões, para todas as aplicações, com todos os refrigerantes

usuais: R-12, R-22, R-502 e amônia. Modernamente, encontram-se máquinas padronizadas de 100 a 1000 toneladas de capacidade, funcionando a 3600 rpm.

Como os demais componentes do sistema de refrigeração não trabalham com grandes quantidades de óleo em seu interior, é necessário fazer a separação do óleo e do fluido refrigerante, que são descarregados no compressor. A separação se dá em dois estágios; o primeiro é mecânico e o segundo através de um filtro (tipo coalescer ou demister), Figura 27.

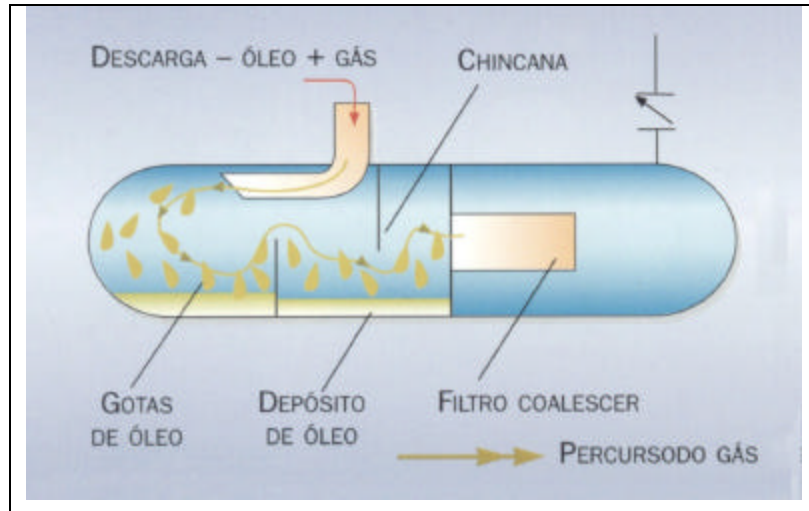


Figura 27 – Separador de Óleo de um compressor a parafuso

Controle da Capacidade

O controle da capacidade desse tipo de compressor é feito através de uma válvula de gaveta na extremidade de entrada do compressor (Figura 28). A válvula tem como finalidade principal retornar à entrada uma parte variável do gás aspirado pelas saliências helicoidais. Ela pode ser controlada continuamente desde a plena capacidade até quase zero. A válvula em questão fica dentro do invólucro do rotor. O movimento axial da válvula é programado por um dispositivo de controle com comando eletrônico de estado sólido e acionamento hidráulico (Figura 29). Quando o compressor funciona à plena carga, a válvula de gaveta fica na posição fechada. A diminuição da carga se inicia quando a válvula é deslocada para trás, afastando-se do batente.

O deslocamento da válvula cria uma abertura na parte inferior do invólucro do rotor, através da qual passa o gás aspirado de volta à abertura de entrada, antes de ser comprimido. Como não houve trabalho fornecido ao gás em quantidade significativa, não há perdas apreciáveis.

A capacidade reduzida do compressor é obtida do gás que permanece na parte interna dos rotores e que é comprimida na maneira normal. Reduções de capacidade até o valor de 10% da capacidade nominal são conseguidas pelo movimento gradual da válvula. Em princípio, o aumento da abertura na parte inferior do invólucro reduz o deslocamento do compressor.

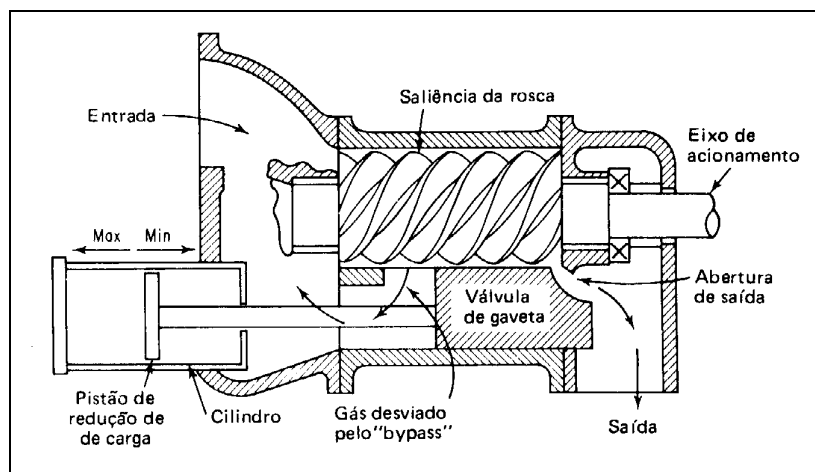


Figura 28 – Controle de Capacidade de um compressor a parafuso

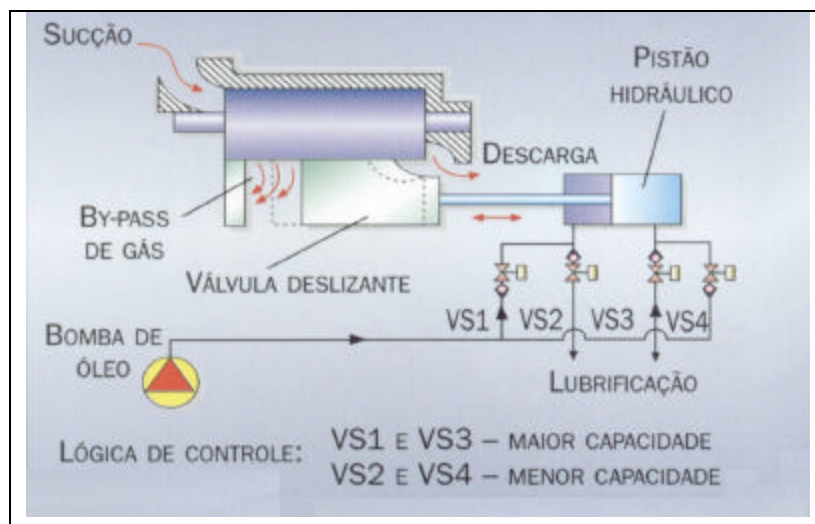


Figura 29 – Lógica de Controle de Capacidade do Compressor

Os compressores de parafuso podem ser fornecidos pelos fabricantes com um centro de comando dotado de todos os controles necessários para funcionamento automático, além de uma série de dispositivos e controles de segurança para proteção do equipamento sob condições anormais de funcionamento. Os principais controles incluem:

1. Controle limitador de carga;
2. Temporizador anti-reciclagem;
3. Controles de descarregamento para pressão baixa;
4. Chave de pressão de óleo;
5. Controle de temperatura do óleo;
6. Termostatos de proteção e
7. Chaves de limite de pressão.

Junto ao compressor funcionam, ainda, equipamentos como a bomba de óleo e o resfriador de óleo.

A bomba de óleo é do tipo de engrenagens que bombeia o óleo a ser injetado no compressor. Normalmente a pressão de óleo deve ser de 03 a 01 bar mais alta que a pressão de descarga do compressor.

O resfriador de óleo é necessário porque, normalmente, o reservatório de óleo se encontra na descarga do compressor, de forma que é necessário retirar o excesso de calor que o óleo adquiriu ao ser comprimido junto do gás. Existem 03 tipos de sistema para se resfriar o óleo, a saber:

1. Resfriador de óleo a água: trata-se de um trocador de calor (shell & tube ou de placas) no qual o óleo é resfriado por água oriunda de uma torre de resfriamento;
2. Termosifão: utiliza-se o próprio fluido refrigerante líquido para resfriar o óleo, através de um trocador de calor (um “evaporador” com óleo). O movimento do refrigerante é dado pela própria convecção do gás que evapora (Figura 30);
3. Injeção de líquido: trata-se de um sistema que permite que o fluido refrigerante líquido seja injetado na própria descarga do compressor. O líquido evapora resfriando o gás descarregado e o óleo, que ainda não foi separado. Dispensa linhas hidráulicas e trocadores de calor. A quantidade de líquido a ser injetada é controlada por uma válvula de expansão operada pela temperatura de descarga do compressor (Figura 31).

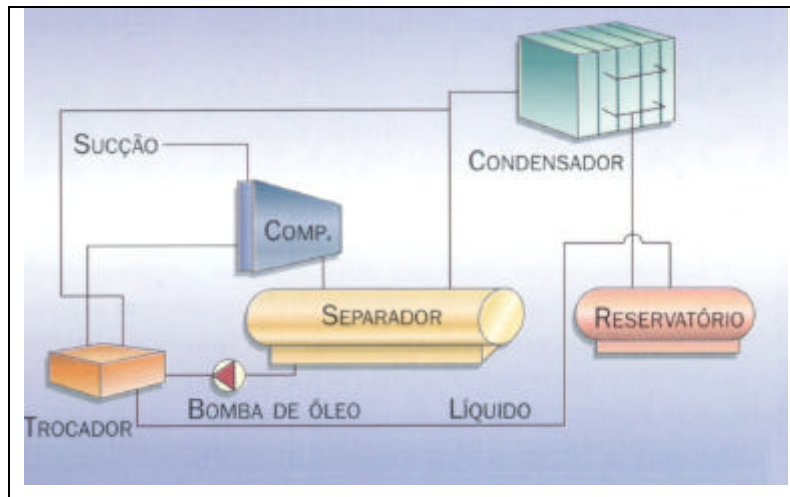


Figura 30 – Resfriamento por Termosifão

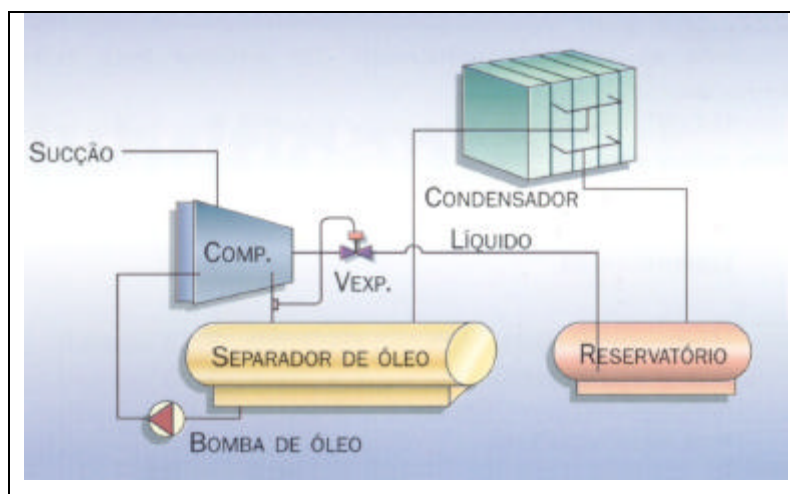


Figura 31 – Resfriamento por Injeção de Líquido

Compressores de Palhetas (Rotativos)

Existem dois tipos básicos de compressores de palhetas: o de palheta simples (Figura 32) e o de múltiplas palhetas (Figura 33).

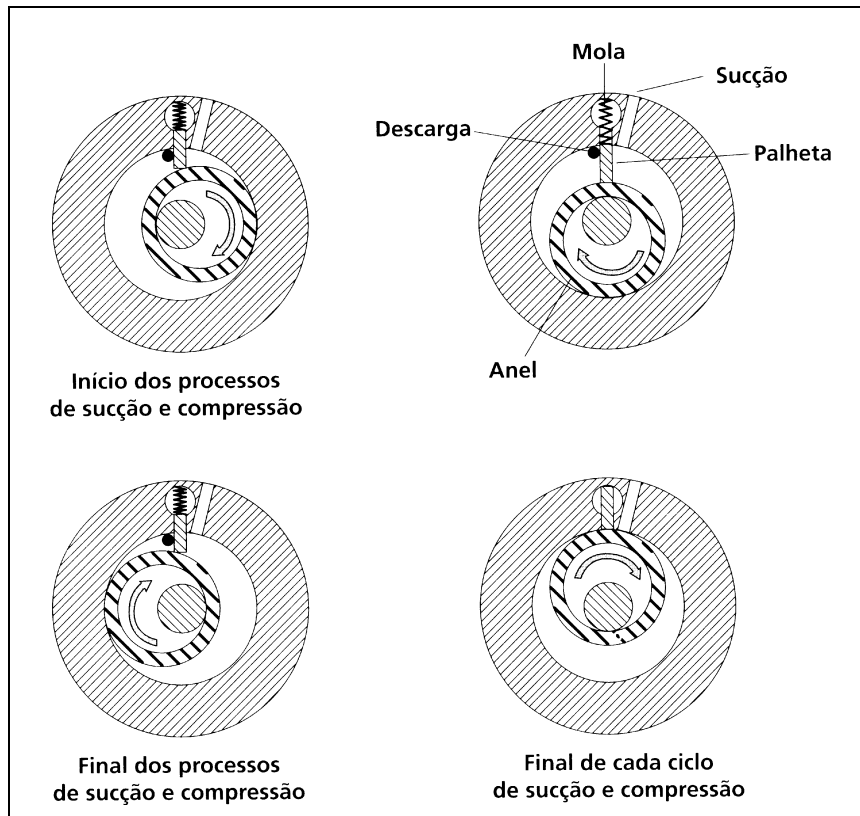


Figura 32 – Compressor de palheta simples

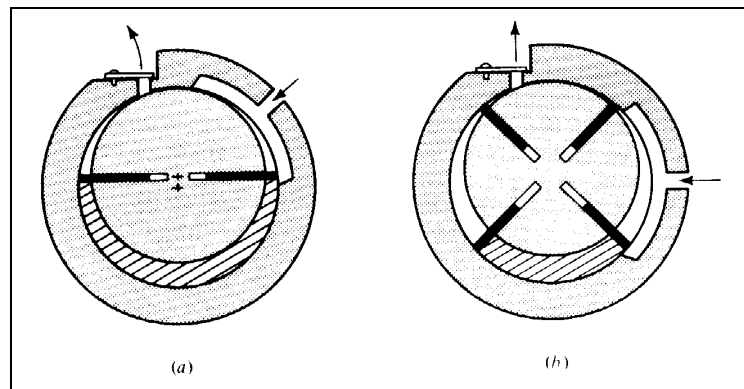


Figura 33 – Compressor de múltiplas palhetas

Compressores de palhetas são usados principalmente em geladeiras domésticas, congeladores e condicionadores de ar, embora possam ser usados como compressores auxiliares (boosters) de baixa pressão em sistemas com compressão de múltiplos estágios. No compressor de palheta simples a linha de centro do eixo de acionamento coincide com a do cilindro, mas é excêntrica com relação ao rotor, de modo que este permanece em contato com o cilindro a medida que gira. O compressor de palheta simples apresenta um divisor, atuado por mola, dividindo as câmaras de aspiração e descarga.

Para um compressor de palheta simples, a taxa de deslocamento é dada por:

$$D = \frac{P}{4} (A^2 - B^2) L (\text{velocidade de rotação}) \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

onde:

A – diâmetro do cilindro (m)

B – diâmetro do rotor (m)

L – comprimento do cilindro (m)

velocidade de rotação (rps)

No compressor de múltiplas palhetas o rotor gira em torno do seu próprio eixo, que não coincide com o do cilindro. O rotor é provido de duas ou mais palhetas, mantidas permanentemente em contato com a superfície do cilindro pela força centrífuga.

Para o compressor de duas palhetas, o deslocamento em cada rotação é proporcional ao dobro da área hachurada; para o de quatro palhetas, o deslocamento é proporcional a quatro vezes a área hachurada. Até um certo ponto, o deslocamento cresce com o número de palhetas.

Compressores Centrífugos

O primeiro compressor centrífugo em instalações frigoríficas foi introduzido por Willis Carrier, em 1920. De lá para cá este tipo de compressor tornou-se o mais utilizado em grandes instalações. Eles podem ser utilizados satisfatoriamente de 200 a 10.000kW (172.10^3 a $8,6.10^6$ kcal/h) de capacidade de refrigeração. As temperaturas de evaporação podem atingir a faixa de -50 a -100°C , em sistemas de estágios múltiplos, embora uma aplicação bastante generalizada do compressor centrífugo seja o resfriamento da água até 6 a 8°C em instalações de ar condicionado.

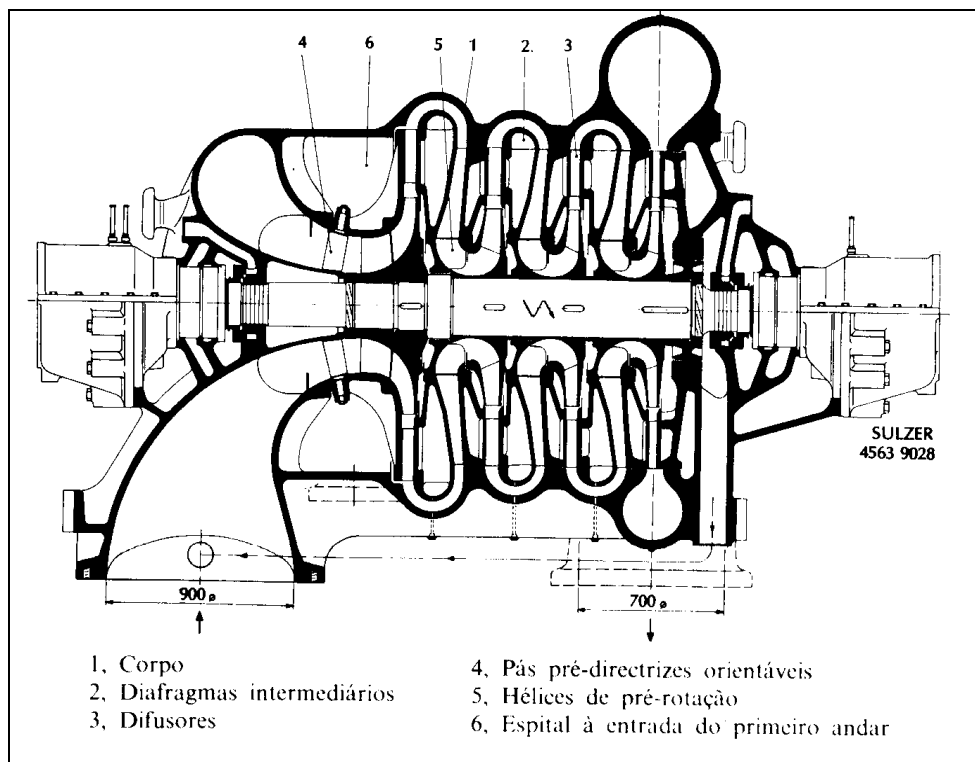


Figura 34 – Vista em corte de um compressor centrífugo

Construtivamente, o compressor centrífugo se assemelha à bomba centrífuga. O fluido penetra pela abertura central do rotor e, pela ação da força centrífuga, desloca-se para a periferia. Assim, as pás do rotor imprimem uma grande velocidade ao gás e elevam sua pressão, Figura 34. Do rotor o gás se dirige para as pás do difusor ou para uma voluta (concha formada por espiras muito curtas), onde parte da energia cinética é transformada em pressão. Em casos onde a razão de pressão é baixa, o compressor pode ser construído com um só rotor, embora na maioria das máquinas se adote compressão em múltiplos estágios. A eficiência de compressão adiabática dos compressores centrífugos varia entre 70 e 80%.

A utilização de compressores centrífugos em sistemas de refrigeração obriga que, na partida, alguns passos fundamentais sejam seguidos, para que não ocorram problemas posteriormente, a saber:

1. Verificar o nível de óleo no compressor, motor, redutor e luva de acoplamento, certificando-se de que estão corretos.
2. Iniciar a vazão de água do condensador; certificar-se de que não ocorre golpe de aríete no sistema.
3. Iniciar a circulação de salmoura pelo resfriador de salmoura; verificar, também, se há golpe de aríete.
4. Verificar a pressão de ar nos controles pneumáticos, se houver.
5. Operar a unidade de purga até eliminar todo o ar do sistema; isto deve sempre ser feito antes da partida.

6. No caso de acionamento por motor síncrono, fechar o registro da sucção apenas o necessário.
7. No caso de acionamento por turbina, préaquecê-la.
8. Caso seja necessário para a partida, fechar o circuito de bloqueio dos dispositivos de segurança;
9. Acelerar a máquina até sua velocidade nominal e certificar-se de que a pressão de óleo nos selos de óleo está correta.
10. Abrir a alimentação de ar para os controles nas máquinas de controle pneumático automático.
11. Abrir a alimentação de água de resfriamento de óleo do motor e do redutor.
12. Operar à alta velocidade se a máquina ratear. Isto acelera a purga.

Ratear, nos compressores centrífugos, significa funcionar em surtos (“surging”). A operação dos mesmos é normal, não sendo motivo para preocupação. Entretanto, com cargas baixas (10 a 20% da plena carga), o “surging” causa sobreaquecimento do compressor, aumentando a temperatura dos mancais. Assim, o compressor não deve ser operado continuamente nestas condições. Se houver necessidade de operação prolongada com cargas baixas, poderá ser necessária a instalação de um “bypass” para o gás quente.

Logo depois da partida, pode ocorrer um período de “surging” até a eliminação de todo o ar do condensador. Enquanto isso, como dito anteriormente, a máquina deve ser acionada com alta velocidade. Entretanto, a pressão no condensador não deve ultrapassar 1,05 kgf/cm² (relativa) para o Freon-11, por exemplo. Além disso, a corrente do motor, no caso de acionamento elétrico, não deve passar de seu valor nominal de plena carga. Deve-se observar, ainda, que o evaporador não seja resfriado demais pois o controle anticongelamento pode desligar a máquina.

Após a estabilização da máquina e eliminação de todo o ar, deve-se ajustar a velocidade ou o registro para atingir a temperatura adequada da salmoura.

Caso o compressor seja acionado por uma turbina, há a possibilidade de se automatizar as operações de controle de velocidade (controlando diretamente a capacidade do compressor). Um sistema ajusta automaticamente a velocidade do compressor de modo a manter constante a temperatura da salmoura. Um aumento ou diminuição na temperatura da salmoura é transmitido através dos controles para introduzir ou expelir o ar de uma válvula pneumática no sistema de regulação de velocidade da turbina (Figura 35 e Figura 36).

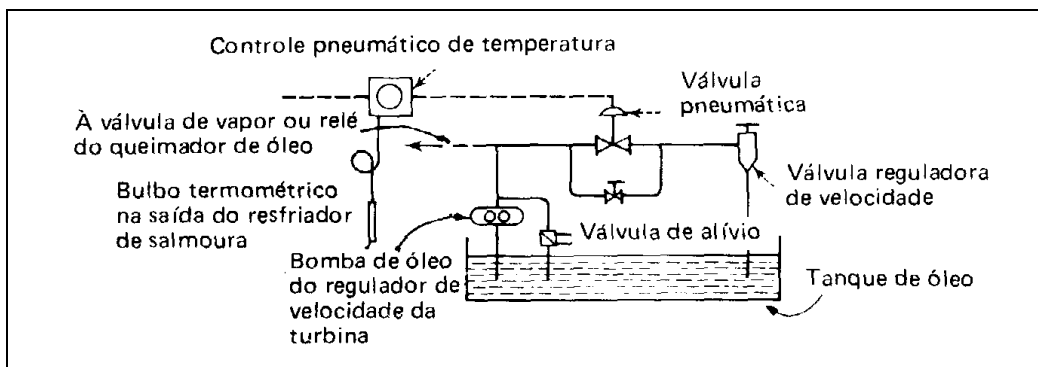


Figura 35 – Controle de variação automático para compressor centrífugo

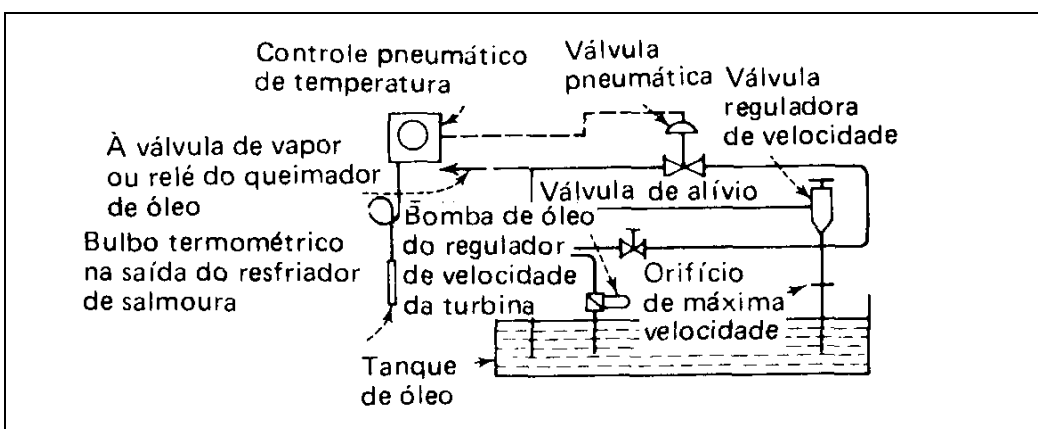


Figura 36 – Outro arranjo para o controle de variação automático de um compressor centrífugo

Compressores Scroll

Os compressores scroll (espiral), Figura 37, são um novo conceito de compressores para refrigeração. São herméticos, i.e., não se tem acesso aos seus componentes e em caso de quebra ou “queima”, são substituídos. Trabalham de forma mais silenciosa e vibram menos que os seus concorrentes para uma mesma potência. Estão sendo largamente utilizados em sistemas de refrigeração de porte médio.

O compressor scroll tem o seguinte princípio de operação (ver Figura 38 e Figura 39):

A sucção do gás é feita em (A). O gás passa pela abertura entre o motor (C). Entrando na câmara em (D) onde é preso pela espiral móvel. O óleo vindo com o gás é separado por câmaras e jogado nas superfícies internas do compressor para lubrificação e retorna para o reservatório.

O gás preso pela espiral é “empurrado” pelo movimento da espiral móvel, movendo-se entre esta última e a espiral fixa até o centro das espirais. Ao concluir seu percurso, o gás já comprimido e em alta pressão é descarregado na cúpula (cabecote) do compressor, sendo então descarregado (E).

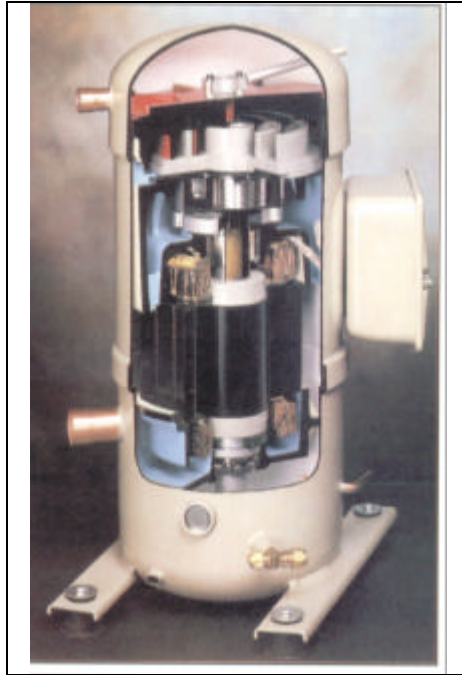


Figura 37 – Compressor Scroll

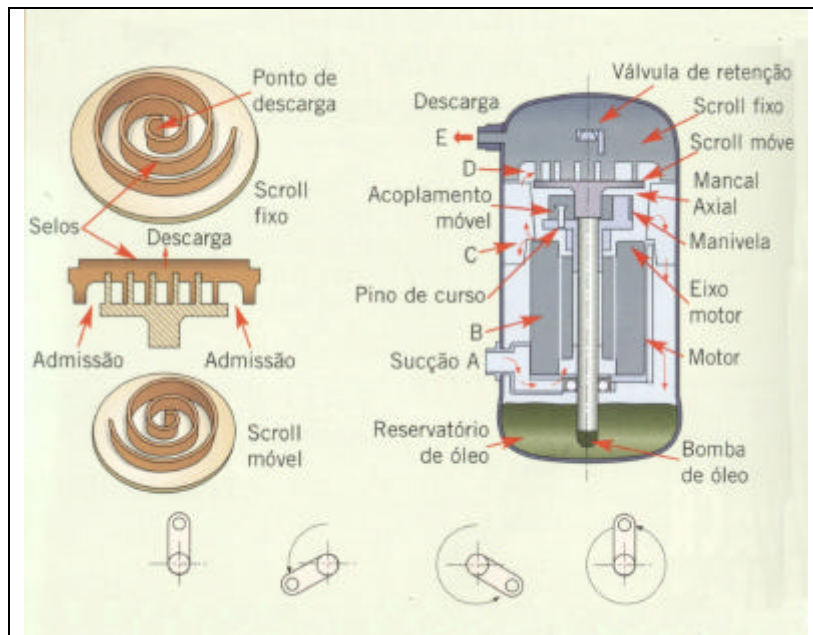


Figura 38 – Compressor Scroll em Corte

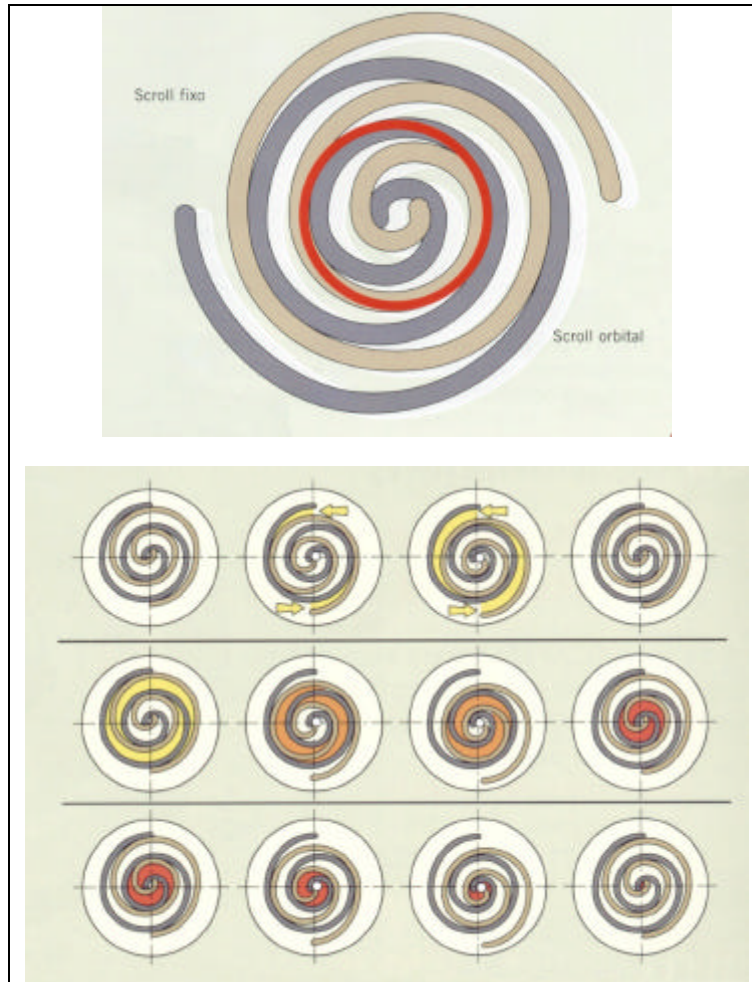


Figura 39 – Funcionamento do Compressor Scroll

Compressores Automotivos

O compressor está localizado normalmente na parte dianteira do veículo, junto ao motor. É acionado pela polia da árvore-de-manivelas, por intermédio de uma correia específica.

O compressor normalmente é do tipo alternativo, com êmbolos na posição horizontal (Figura 40 e Figura 41). O seu acionamento é feito através de um disco excêntrico integrado ao eixo. Possui válvulas de entrada e de saída ou do tipo válvula de controle. O movimento é recebido através da polia acoplada com embreagem eletromagnética.

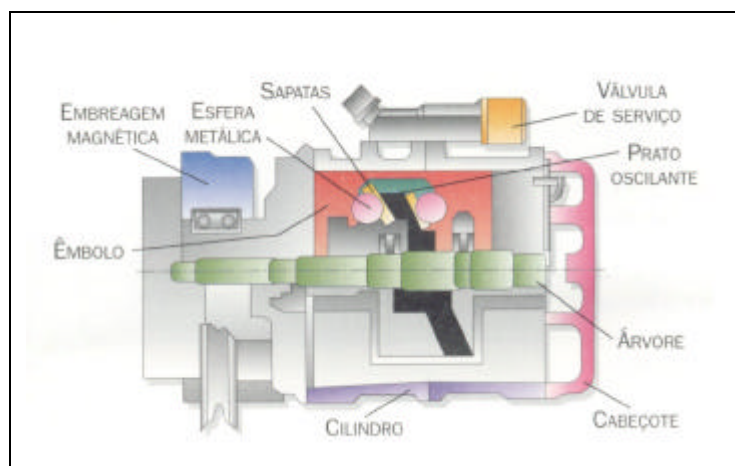


Figura 40 – Vista em corte de um compressor automotivo

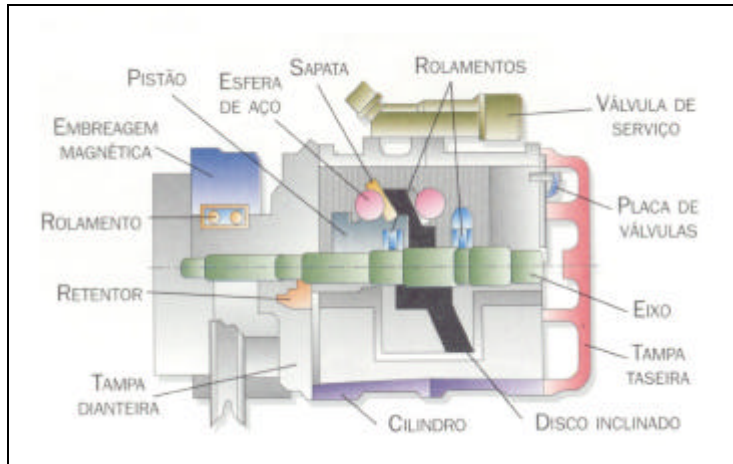


Figura 41 – Vista em corte de um compressor automotivo

Embreagem Magnética

A embreagem magnética é usada para conectar e desconectar o compressor ao motor do veículo. Seus principais componentes são: estator, rotor e cubo.

Princípio de Funcionamento

Quando a corrente elétrica flui através do enrolamento, como mostra a Figura 42, uma força magnética é gerada na parte II que atrai a parte I

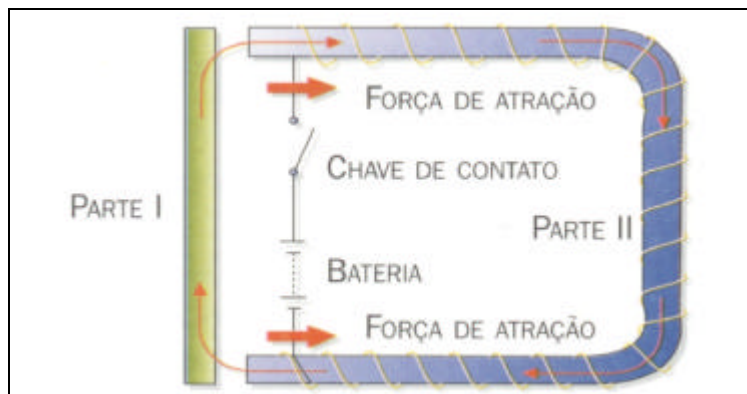


Figura 42 – Força Magnética

Construção

A embreagem magnética consiste de estator, rotor com polia e um cubo que tem a função de movimentar o compressor, utilizando a rotação proveniente do motor do veículo e acoplamento magnético para transmitir esta rotação do motor ao compressor (Figura 43).

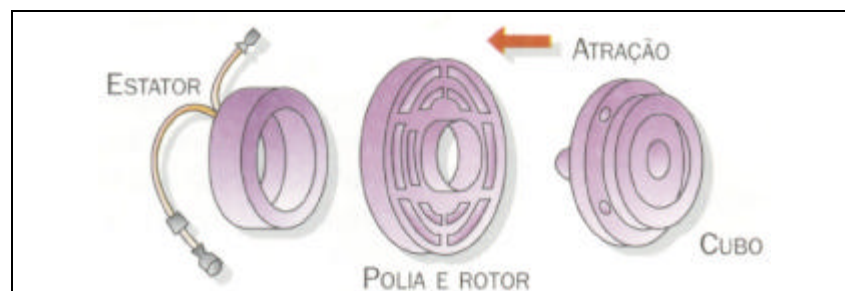


Figura 43 – Embreagem Magnética

O estator é montado na parte frontal do compressor e o cubo é fixado ao eixo do compressor. O rolamento de esferas é usado entre a superfície interna do rotor e a tampa frontal do compressor.

Operação

Enquanto o motor está em funcionamento a polia está girando, desde que conectada à polia do motor por uma correia tipo “V” ou “poli V”, mas o compressor não opera antes de ser energizado.

Quando o sistema de ar condicionado está ligado, o amplificador fornece corrente para o enrolamento do estator. Então a atração eletromagnética atrai o cubo contra a superfície de fricção da polia. A fricção/atrito entre cubo e polia, Figura 43, permite a movimentação do compressor.

A embreagem eletromagnética é montada na polia (Figura 44), onde faz o compressor funcionar somente quando necessário, através da corrente elétrica de 12 volts da bateria. Essa corrente é proveniente dos relés ou do termostato ou do termistor ou ainda dos interruptores de baixa e de alta pressão do sistema, que pode ser controlado pelo módulo de controle eletrônico do veículo.

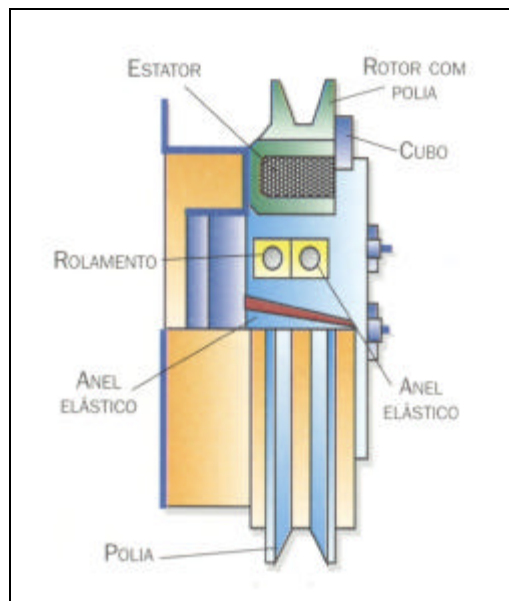


Figura 44 – Vista em corte da embreagem magnética

Bibliografia

1. Elonka, S. M.; Minich, Q. W.; “Manual de Refrigeração e Ar Condicionado”; Editora McGraw-Hill; 1978; SP.
2. _____; “Refrigeração Básica”; Apostila.
3. ASHRAE; “1997 ASHRAE HANDBOOK – Fundamentals”; Capítulo 6 – Psychrometrics.
4. Mendes, Luiz Magno de Oliveira; “Refrigeração e Ar-Condicionado – Teoria, Prática, Defeitos”; Editora Ediouro, SP, 1994.
5. Creder, Hélio; “Instalações de Ar Condicionado”, 3ª Edição; Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., RJ, 1988.
6. Sociedade Intercontinental de Compressores Herméticos SICOM Ltda.; “Tubos Capilares”; Boletim Técnico, N.º 5; Maio 1997.
7. _____; “Ar Condicionado Automotivo”; Coleção Técnica N.º 4, RPA Editorial; Revista Oficina do Frio; 1999.
8. Advantage Engineering, Inc. <http://www.advantage.com>