

3.1- Componentes

Nesse texto vamos mostrar os principais componentes dos sistemas de refrigeração e condicionamento de ar (Figura 3.1).

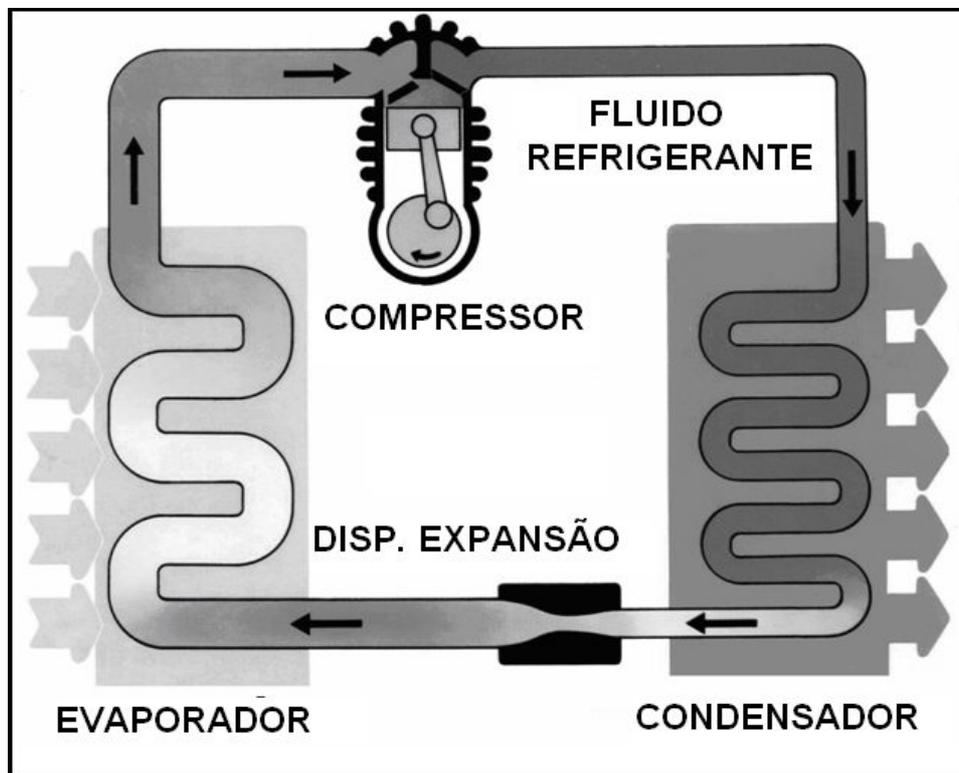


Figura 3.1- Circuito de refrigeração por compressão de vapor.

a) compressores

Inicialmente vamos falar dos compressores. Os compressores têm como função absorver o fluido refrigerante no estado de vapor à baixa pressão e comprimi-lo à alta pressão e temperatura até o condensador. Os compressores mais comuns utilizados em refrigeração são os volumétricos e os centrífugos. Nos volumétricos, a compressão se dá pela redução do volume do fluido refrigerante. Isso ocorre nos compressores alternativos, rotativos, *scroll* e de parafuso.

A seguir, vamos apresentar os principais tipos de compressores encontrados no setor de refrigeração e ar condicionado.

O COMPRESSOR ALTERNATIVO tem esse nome devido ao movimento alternativo pistão. A entrada e saída de fluido do cilindro são comandadas por meio de válvulas localizadas no tampo superior do cilindro. Um sistema de transmissão, tipo biela e manivela articulada diretamente ou por meio de haste e cruzeta com o pistão, permite a transformação do movimento rotativo do motor de acionamento em movimento alternativo do compressor.

O acionamento dos compressores pode ser do tipo *direto*, que tem um motor ligado diretamente ao compressor, ou *indireto*, no qual a ligação do motor com o compressor é feita pelo sistema polia correia.

Já quanto à construção, os compressores podem ser do tipo *hermético*, no qual o motor e o compressor estão alojados na mesma carcaça sem acesso; *semi-hermético*, onde o motor e o compressor estão na mesma carcaça, porém há acesso e do tipo *aberto*, no qual o motor e o compressor estão separados.

Esse compressor pode ser classificado, ainda, quanto ao número de estágios, ou seja, conforme o número de compressões sucessivas sofridas pelo fluido refrigerante que circula pelo compressor. Dessa forma, se um compressor tem dois estágios, ele tem duas câmaras de compressão. O compressor pode ser refrigerado a ar ou à água durante o processo de compressão. No caso da refrigeração a ar, tem-se aletas externas ao cilindro com o objetivo de melhorar a dissipação de calor. Já no caso da refrigeração à água, faz-se a circulação dessa através de cavidades localizadas na parede e na parte superior do cilindro. Normalmente, a lubrificação dos compressores pode ser por salpico, forçada e por êmbolo seco.

Durante o funcionamento de um compressor podem ocorrer variações de pressão na saída e na entrada do compressor. Pode-se afirmar que, aumentando a pressão de admissão ou diminuindo a pressão de descarga, haverá o mesmo efeito sobre a eficiência volumétrica. Se a pressão de descarga é aumentada, o vapor no espaço morto será comprimido a uma pressão mais alta e uma quantidade maior de reexpansão será requerida para expandi-lo para a pressão de admissão. Do mesmo modo, se a pressão de admissão é abaixada, o vapor de compressão deve sofrer uma reexpansão maior, expandindo-se para a pressão mais baixa antes que as válvulas de admissão possam abrir.

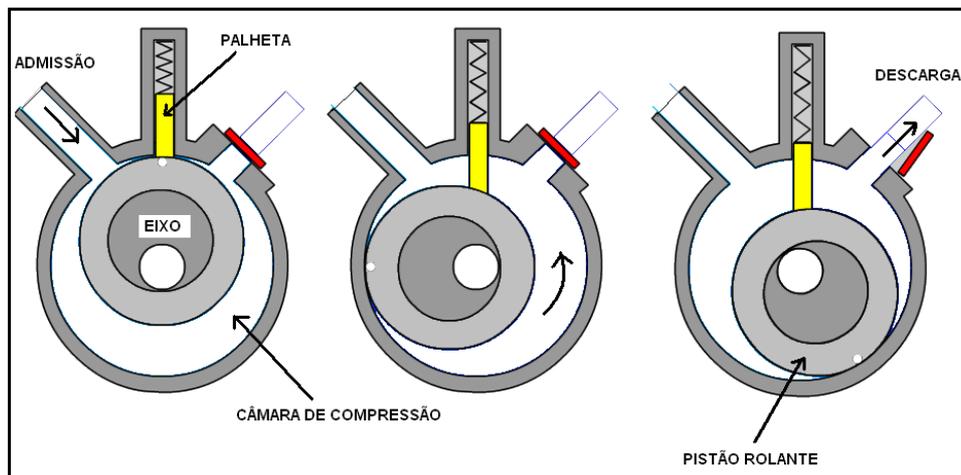
Por outro lado, para uma pressão de descarga constante, a quantidade de reexpansão, que o vapor de compressão sofre antes que as válvulas de admissão abram, diminui quando a pressão de admissão se eleva. Portanto, é evidente que a eficiência volumétrica do compressor aumenta quando a pressão de admissão aumenta e diminui quando a pressão de descarga aumenta, isto é, quanto maior a taxa de compressão menor será a eficiência volumétrica.

Pode também ocorrer variação de temperatura do fluido refrigerante na admissão e na saída do compressor. Quanto maior a temperatura de admissão, maior será a pressão de admissão e menor será o volume específico. Em consequência, o volume bombeado pelo compressor aumenta.

Embora a diminuição do volume específico do vapor de sucção para a temperatura de admissão mais elevada tenha uma boa influência no aumento da capacidade do compressor, ele não é a única razão para isso. O efeito frigorífico também colabora para um aumento da capacidade do compressor com o aumento da temperatura de admissão. A taxa de compressão varia quando a temperatura de admissão muda. Quando a temperatura de vaporização aumenta enquanto a de condensação permanece constante, a taxa de compressão diminui e a eficiência volumétrica do compressor melhora. O volume bombeado pelo compressor aumenta devido à eficiência volumétrica que melhora.

O compressor rotativo pode ser do tipo de palhetas simples ou de múltiplas palhetas. No compressor de palhetas simples ou de pistão rolante, o eixo do cilindro é excêntrico ao motor, de modo que a compressão se dá pela formação de duas câmaras, sendo uma de sucção e outra de descarga, divididas por uma palheta simples atuada por uma mola. A compressão se dá com a redução do volume da câmara de descarga pelo rotor. Já o compressor rotativo de palhetas múltiplas tem o mesmo tipo de disposição do rotor em relação ao cilindro de compressão, porém, nesse caso, as lâminas formam diversas câmaras de compressão.

Nesses compressores, quando o rotor gira, o espaço de compressão é gradualmente reduzido e o gás preso é comprimido. Quando o espaço atinge o ponto mínimo (a janela de descarga do cilindro), o fluido vapor é forçado para a tubulação de descarga. Os compressores rotativos apresentam menor vibração durante seu funcionamento e, dessa forma, são mais utilizados em situações nas quais o baixo nível de ruído é fundamental como, por exemplo, aparelhos de janela com capacidade superior a 18.000Btu/h (~5,5kW). Na Figura 3.2, ilustra-se em três etapas o processo de compressão por pistão rolante ou de palhetas simples:



3.2- Processo de compressão por pistão rolante (palheta simples)

Os compressores tipo *scroll* têm origem recente e têm sido amplamente utilizados na área de condicionamento de ar, principalmente devido à automação, que se faz cada vez mais presente nas instalações. Sua principal característica é que eles não tem válvulas de sucção e de descarga, apresentam baixo ruído e vibração, alta compactidade, leveza e alta eficiência, uma vez que não possuem espaço morto. Comparados com os compressores alternativos de mesma capacidade, são bem menores, mais leves, mais eficientes e um pouco mais silenciosos. Na Figura 3.3 ilustra-se o processo de compressão começando no ponto A, com a sucção, e terminando no ponto H, com a descarga do fluido refrigerante em alta pressão.

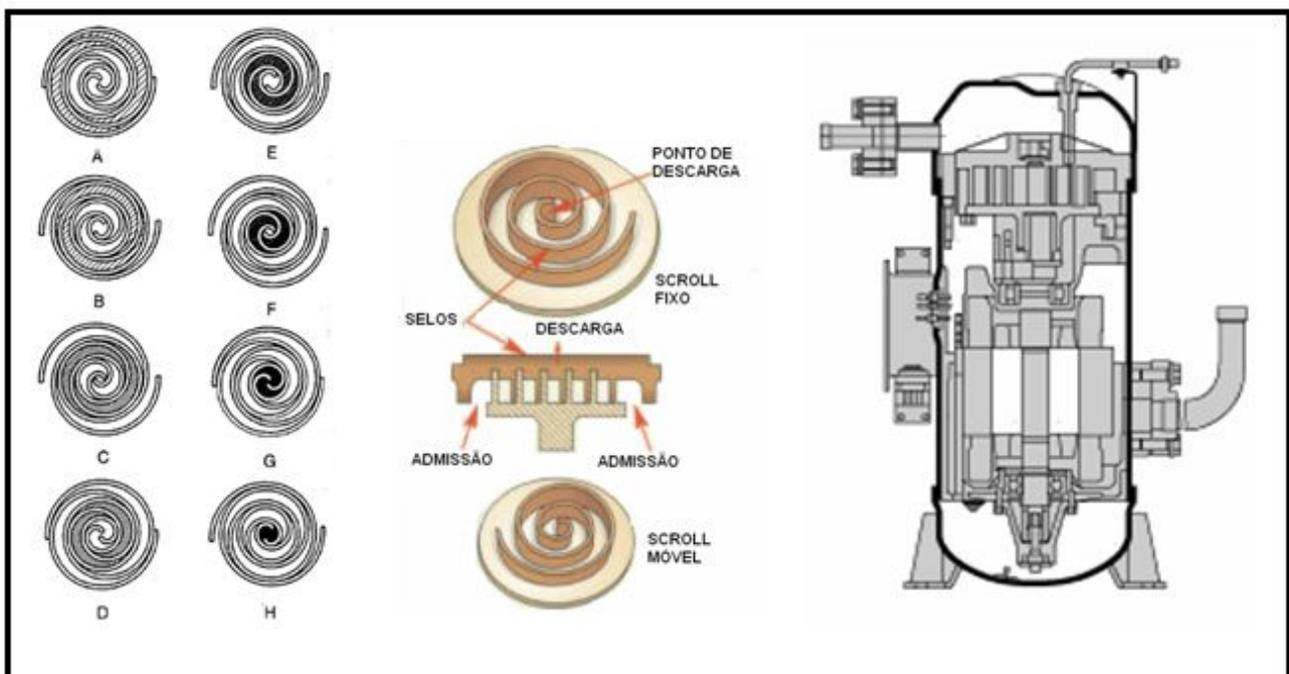


Figura 3.3- Ilustrações de um compressor *scroll*.

b) evaporadores

Os evaporadores são equipamentos que têm a função de retirar calor do meio a ser refrigerado diretamente pelo fluido refrigerante (sistemas de expansão direta) ou, indiretamente, através da passagem pela serpentina de água gelada (nos sistemas do tipo expansão indireta). O sistema de expansão indireta tem como vantagem principal a centralização da produção do frio em uma casa de máquinas, onde se situa o *chiller* (resfriador), e a distribuição de água gelada através de tubulações hidráulicas. Os evaporadores são

construídos de aço quando trabalham com amônia e de cobre, latão e alumínio para fluidos refrigerantes convencionais. Os tubos do evaporador podem ser lisos ou montados com aletas internas e externas para aumentar as trocas de calor.

c) condensadores

Os condensadores são equipamentos destinados a liberar o calor absorvido no evaporador e no processo de compressão. Podem ser a água ou a ar. Os condensadores a água são utilizados em conjunto com uma torre de arrefecimento, sendo mais comuns em instalações de maior porte. Já os condensadores a ar são amplamente utilizados na refrigeração doméstica, e funcionam através de convecção natural, e na refrigeração comercial, na qual predomina a convecção forçada. O processo de resfriamento do fluido refrigerante no condensador primeiro se dá através da troca de calor sensível, pela qual o fluido tem sua temperatura reduzida até a temperatura de saturação para a pressão em que se encontra. Nesse momento inicia-se a condensação do fluido propriamente dita. Entre os tipos mais comuns de condensadores a água temos os de *duplo tubo*, *casco e serpentina*, *tubo e carcaça*. No condensador de *duplo tubo*, o fluido refrigerante troca calor com a água que circula em contra-corrente por um tubo interno

c) dispositivos de expansão

Os dispositivos de expansão têm a função de controlar a quantidade de líquido através do evaporador e de evitar que os vapores provenientes da evaporação sejam aspirados excessivamente quentes pelo compressor, ou que chegue fluido refrigerante no estado líquido ao compressor.

Os dispositivos comumente empregados são: tubo capilar; válvula de expansão direta a pressão constante (válvula de expansão automática); válvula de expansão direta e superaquecimento constante (válvula de expansão termostática). O mais simples dispositivo de expansão é o *tubo capilar*. O fluido refrigerante perde pressão devido ao atrito com as paredes internas do tubo, que podem ter diâmetro interno da ordem de 0,6mm. O comprimento do tubo capilar depende do tipo de fluido utilizado e da relação de compressão do sistema. Na Figura 3.5, ilustra-se um tubo capilar enrolado na linha de sucção. Essa configuração garante um superaquecimento adicional do fluido na entrada do compressor.

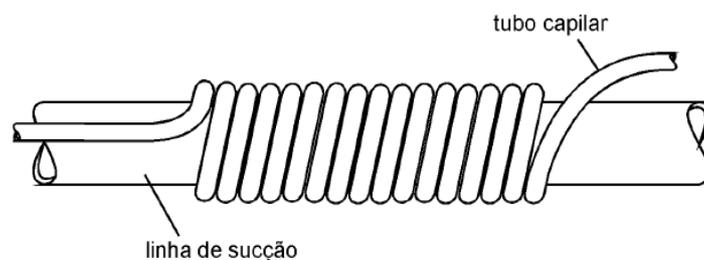


Figura 3.5 – Tubo capilar enrolado na sucção do compressor.

A válvula de expansão termostática é munida de um bulbo térmico. É mais empregada nas instalações comerciais e industriais devido às suas condições particulares de regulagem.

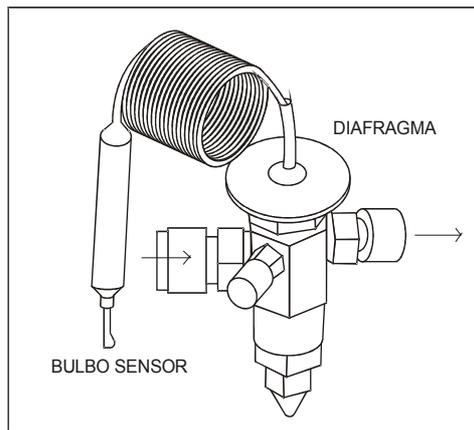


Figura 3.6– Ilustração de uma válvula de expansão termostática

Tabela 3.1– Procedimentos de regulagem de uma válvula de expansão termostática

Procedimento	Superaquecimento	
	Aumenta	diminui
Abrir válvula (girar no sentido horário)		x
Fechar válvula (girar no sentido anti-horário)	x	
Adicionar refrigerante		x
Retirar refrigerante	x	

O superaquecimento é uma diferença entre as temperaturas de saturação do fluido refrigerante e a sua condição na saída do evaporador. Esta medição deve sempre ser efetuada o mais próximo possível da saída do evaporador. A medição deve ser efetuada da seguinte forma:

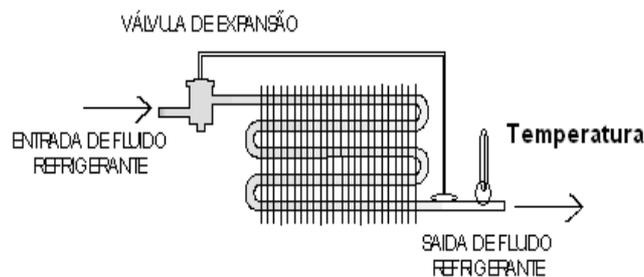


Figura 3.7- Obtenção da temperatura de saída do FR para estimativa do grau de superaquecimento

Como exemplo, suponha que se deseje estimar o grau de superaquecimento em um sistema com R22. Para tanto, pode-se seguir os seguintes passos:

1. Medir a pressão de sucção do sistema com um manômetro (psucção = 69 psig);
2. Medir a temperatura na saída do evaporador com um termômetro (Tsaída = +10 °C);
3. Com a pressão verificada no manômetro, fazer a conversão em uma tabela de Pressão versus Temperatura.
- 4- Nesse exemplo, a temperatura equivalente de saturação (69 psig para o R22 equivale a + 4,4 °C). O superaquecimento é a diferença entre a temperatura medida pelo termômetro e a temperatura obtida na Tabela de conversão 3.2.

$$\Delta T_{\text{sup}} = T_s - T_{\text{ev}} = 10 - 4,4 = 5,6^\circ C$$

Tabela 3.2- Relação entre a pressão em psig e a temperatura de saturação do fluido

Graus TABELA DE PRESSÃO x TEMPERATURA DO R22											
psig	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	psig
30	-14	-13,4	-13,3	-12,1	-11,6	-11,1	-10,5	-10	-9,5	-8,9	30
40	-8,4	-7,8	-7,3	-6,8	-6,3	-5,8	-5,3	-4,9	-4,4	-3,9	40
50	-3,5	-3	-2,6	-2,1	-1,6	-1,2	-0,8	-0,4	0	0,4	50
60	0,8	1,2	1,6	2	2,4	2,8	3,2	3,6	4	4,4	60
70	4,8	5,1	5,5	5,8	6,2	6,5	6,9	7,2	7,6	8	70
80	8,3	8,7	9	9,4	9,7	10,1	10,4	10,7	11	11,3	80
90	11,6	11,9	12,2	12,5	12,8	13,1	13,5	13,8	14,1	14,4	90
100	14,7	15	15,3	15,6	15,9	16,2	16,5	16,8	17	17,3	100
110	17,6	17,9	18,2	18,4	18,7	19	19,3	19,6	19,8	20,1	110

Para o fluido refrigerante R22, se o superaquecimento estiver entre 4°C e 6°C, a regulagem da válvula de expansão está dentro do padrão. Se estiver abaixo, muito refrigerante está sendo injetado no evaporador e é necessário fechar a válvula (girar parafuso de regulagem para a direita no sentido horário). Se o superaquecimento estiver alto, pouco refrigerante está sendo injetado no evaporador e é necessário abrir a válvula (girar parafuso de regulagem para a esquerda no sentido anti-horário).

e) acessórios

Há vários tipos de acessórios utilizados na área de refrigeração tais como termostatos, visores de líquido, manômetro, filtro secador entre outros. Vamos detalhar a seguir esses componentes.

Os termostatos indicam variações de temperatura do ambiente climatizado. Alguns tipos de termostatos convertem variações de temperatura em deflexões de uma barra metálica, fechando abrindo contatos. O bimetálico é preparado justapondo-se dois tipos de metais diferentes, que apresentam diferentes coeficientes de dilatação térmica. Assim, o conjunto se deflete quando a temperatura varia.

No termostato com bulbo sensor de temperatura, o bulbo contém um gás ou um líquido que quando a temperatura no bulbo aumenta, aumenta a pressão no fluido que é transmitida ao fole do termostato. O movimento do fole proporciona o fechamento / abertura dos contatos através do mecanismo de alavanca. Já o termostato de resistência elétrica é composto por um termistor, cuja resistência varia (de forma não linear) com a temperatura. O termistor pode estar em contato com o ar ou a água. A comutação dos contatos fica sendo em função da temperatura. Um aumento de temperatura resultará na diminuição da resistência.

O visor de líquido indica a presença vapor não condensado antes da válvula de expansão (borbulhas). A cor *verde* significa ausência de umidade, a cor *amarela* indica a presença de umidade e a cor *marrom* indica a presença da contaminação total no ciclo.

Os manômetros são instrumentos para medir pressão de fluidos (gasosos ou líquidos) em recipientes fechados. Os mais comuns são de tubo de *Bourdon*, que funcionam através de um tubo metálico curvado de forma elíptica, que tende a se endireitar quando há pressão do fluido no tubo e a se contrair quando a pressão diminui. Qualquer alteração é transmitida para um ponteiro indicador através de um sistema de engrenagens. Na Figura 3.8, ilustra-se um manômetro de Bourdon em duas posições de pressões. Observa-se que, quanto maior a pressão, mais o tubo curvo se alonga.

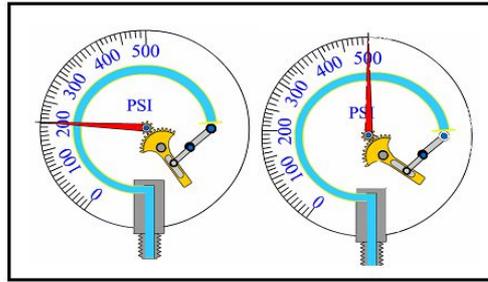


Figura 3.8- Ilustração do funcionamento de um manômetro de Bourdon.

Na figura 3.9, ilustra-se um equipamento chamado *manifold*, muito utilizado pelos profissionais da área.

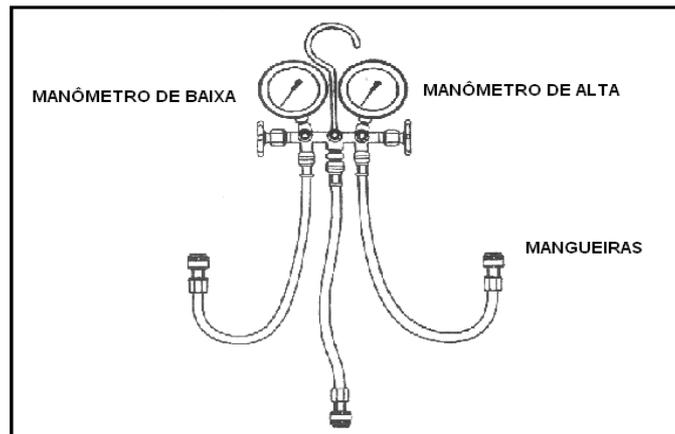


Figura 3.9- *Manifold* utilizado em refrigeração e ar condicionado.

Toda umidade que entra no sistema deve ser retirada. Um método de removê-la é o uso do filtro secador, ilustrado na Figura 8.5. Esse acessório consiste de um invólucro através do qual o líquido refrigerante passará. Dentro deste invólucro, existe um material que se chama dessecante. Quando o refrigerante carregado de umidade passa através do secador, o dessecante retém uma quantidade desta. Cada passagem através do secador retira uma quantidade adicional de umidade até que o fluido refrigerante esteja suficientemente seco ou o secador atinja sua capacidade de absorção de umidade. Quando isso acontece, este deve ser substituído. O filtro secador também realiza um segundo trabalho, que é a filtragem de quaisquer partículas sólidas que vêm no fluxo do refrigerante líquido.

O filtro secador é quase sempre encontrado na linha de líquido do sistema de refrigeração, uma vez que o volume do líquido é muito menor que o de vapor e um secador menor pode ser utilizado, o que resulta numa redução de custo. Além disso, o dispositivo de expansão é protegido das partículas sólidas quando o filtro está nessa posição.

Quando ocorre queima do compressor hermético, para eliminar os compostos ácidos decorrentes da decomposição parcial do refrigerante com o óleo, é utilizado um filtro descartável ou com núcleo recarregável na linha de sucção.

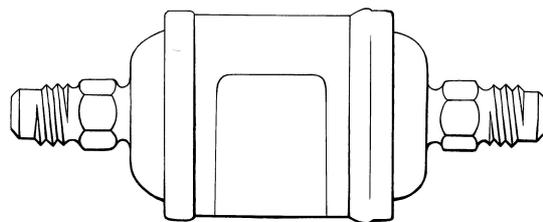


Figura 3.10- Ilustração de um filtro secador.

A válvula de serviço fecha determinada parte do ciclo para execução de um serviço de manutenção, como recolhimento e carga de refrigerante, processamento de limpeza e vácuo, conexão de manômetros.

A válvula de segurança protege o sistema de refrigeração, impedindo-o de atingir uma pressão anormalmente alta. Ela opera descarregando o fluido refrigerante se a pressão ultrapassar um dado valor.

A válvula solenóide destina-se a bloquear o refrigerante na linha de líquido antes da válvula de expansão, para evitar migração de refrigerante ao evaporador por ocasião de uma parada do compressor causada pelo controle de temperatura, falha do ciclo ou desligamento do aparelho. Isso evita problemas de lubrificação e golpes de líquido no compressor durante a partida.

Os pressostatos são interruptores elétricos comandados por pressão. O ajuste da pressão de corte se faz por meio de um parafuso. Em alguns modelos, o diferencial de pressão entre pressão de desarme e rearme é regulável. O rearme pode ser automático ou manual. O pressostato de alta corta a operação do equipamento quando a pressão de descarga atinge um valor elevado. O pressostato de baixa corta a operação quando a pressão de sucção torna-se menor que um determinado valor. O de alta e baixa tem igual ação combinada com operação independente do contato, que é acionado pela diferença de pressão.

Para compressores que utilizam bomba de lubrificação, qualquer diminuição da pressão do óleo de lubrificação pode provocar uma lubrificação inadequada dos componentes do compressor e causar sérios danos ao sistema. Na partida do compressor, a bomba de lubrificação, que é normalmente acionada pelo eixo do compressor, está também parada; logo, o diferencial de pressão é nulo. Assim, o compressor permanece desligado, pois o diferencial de pressão do óleo é nulo no instante da partida. Para evitar esse problema, o pressostato é dotado de um mecanismo de tempo, que permite ligar o compressor não interrompendo o circuito de fornecimento de energia elétrica até que a pressão do óleo lubrificante aumente, dentro de um determinado intervalo de tempo. O pressostato de óleo, empregado nos compressores com lubrificação forçada, baseia-se no diferencial entre as pressões de óleo e de sucção. Quando a pressão de óleo diminui torna o diferencial menor. Se esse valor for abaixo do estabelecido, após um intervalo de tempo, ocorre o corte da energia elétrica do equipamento.