



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DA BAHIA

UNIDADE DE ENSINO: SANTO AMARO – BA

CURSO: ELETROMECCÂNICA

DISCIPLINA: REFRIGERAÇÃO

O HISTÓRICO DA REFRIGERAÇÃO

FLUIDOS REFRIGERANTES

OZÔNIO/PROCESSO DE FORMAÇÃO/DESTRUIÇÃO

SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

COMPONENTES DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

APOSTILA ORGANIZADA PELOS PROFESSORES:

FÁBIO FERRAZ

MARCIO GOMES

agosto/2008

O HISTÓRICO DA REFRIGERAÇÃO

O emprego dos meios de refrigeração já era do conhecimento humano mesmo na época das mais antigas civilizações. Pode-se citar a civilização chinesa que, muitos séculos antes do nascimento de Cristo, usava o gelo natural (colhido nas superfícies dos rios e lagos congelados e conservado com grandes cuidados, em poços cobertos com palha e cavados na terra) com a finalidade de conservar o chá que consumiam. As civilizações gregas e romanas que também aproveitavam o gelo colhido no alto das montanhas, a custo do braço escravo, para o preparo de bebidas e alimentos gelados.

Já a civilização egípcia, que devido a sua situação geográfica e ao clima de seu país, não dispunham de gelo natural, refrescavam a água por evaporação, usando vasos de barro, semelhantes às *moringas*¹, tão comuns no interior do Brasil. O barro, sendo poroso, deixa passar um pouco da água contida no seu interior, a evaporação desta para o ambiente faz baixar a temperatura do sistema. Entretanto, durante um longo período de tempo, na realidade muitos séculos, a única utilidade que o homem encontrou para o gelo foi a de refrigerar alimentos e bebidas para melhorar seu paladar.

No final do século XVII, foi inventado o microscópio e, com o auxílio deste instrumento, verificou-se a existência de microorganismos (micróbios e bactérias) invisíveis à vista sem auxílio de um instrumento dotado de grande poder de ampliação. Os micróbios existem em quantidades enormes, espalhados por todas as partes, água, alimentos e organismos vivos.

Estudos realizados por cientistas, entre eles o célebre químico francês Louis Pasteur, demonstraram que alguns tipos de bactérias são responsáveis pela putrefação dos alimentos e por muitos tipos de doenças e epidemias. Ainda através de estudos, ficou comprovado que a contínua reprodução das bactérias podia ser impedida em muitos casos ou pelo menos limitada pela aplicação do frio, isto é, baixando suficientemente a temperatura do ambiente em que os mesmos proliferam. Essas conclusões provocaram, no século XVIII, uma grande expansão da indústria do gelo, que até então se mostrava incipiente.

Antes da descoberta, os alimentos eram deixados no seu estado natural, estragando-se rapidamente. Para conservá-los por maior tempo era necessário submetê-los a certos tratamentos como a salgação, a defumação ou o uso de

¹ *Moringa* é um vaso de barro arredondado, de gargalo estreito para água.

condimentos. Esses tratamentos, na maioria dos casos, diminuían a qualidade do alimento e modificavam o seu sabor. Com a descoberta, abria-se a possibilidade de se conservar os alimentos frescos, com todas as suas qualidades, durante um período de tempo maior.

Contudo, o uso do gelo natural trazia consigo uma série de inconvenientes que prejudicavam seriamente o desenvolvimento da refrigeração, tornando-a de valia relativamente pequena.

Assim, ficava-se na dependência direta da natureza para a obtenção da matéria primordial, isto é, o gelo, que só se formava no inverno e nas regiões de clima bastante frio. O fornecimento, portanto, era bastante irregular e, em se tratando de países mais quentes, era sujeita a um transporte demorado, no qual a maior parte se perdia por derretimento, especialmente porque os meios de conservá-lo durante este transporte eram deficientes. Mesmo nos locais onde o gelo se formava naturalmente, isto é, nas zonas frias, este último tinha grande influência, pois a estocagem era bastante difícil, só podendo ser feita por períodos relativamente curtos.

Por este motivo, engenheiros e pesquisadores voltaram-se para a busca de meios e processos que pennitsem a obtenção artificial de gelo, liberando o homem da dependência da natureza. Em consequência desses estudos, em 1834 foi inventado, nos Estados Unidos, o primeiro sistema mecânico de fabricação de gelo artificial e, que constituiu a base precursora dos atuais sistemas de compressão frigorífica.

Em 1855 surgiu na Alemanha outro tipo de mecanismo para a fabricação do gelo artificial, este, baseado no principio da absorção, descoberto em 1824 pelo fisico e químico inglês Michael Faraday.

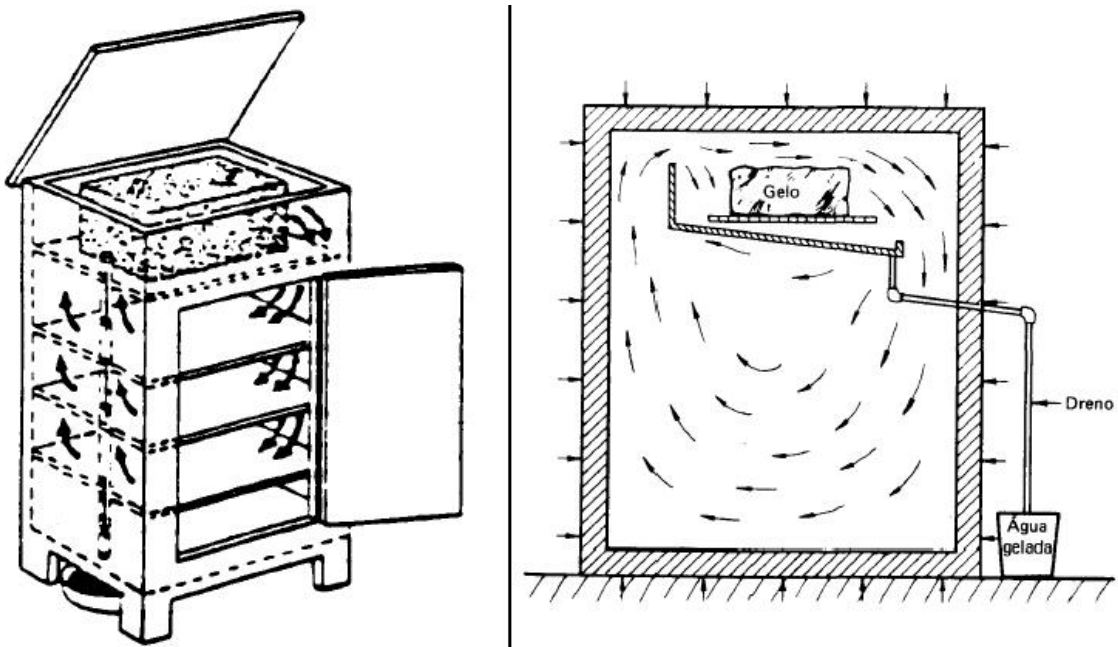
Durante por cerca de meio século os aperfeiçoamentos nos processos de fabricação de gelo artificial foram se acumulando, surgindo sistematicamente melhorias nos sistemas, com maiores rendimentos e melhores condições de trabalho. Entretanto, a produção propriamente dita fez poucos progressos neste período, em consequência da prevenção do público consumidor contra o gelo artificial, pois apesar de todos estarem cientes das vantagens apresentadas pela refrigeração, era crença geral que o gelo produzido pelo homem era prejudicial à saúde humana.

Tal crença é completamente absurda, mas como uma minoria aceitava o gelo artificial, o seu consumo era relativamente pequeno. Todavia, a própria natureza encarregou-se de dar fim a tal situação. Em 1890, o inverno nos Estados Unidos, um dos maiores produtores de gelo natural da época, foi muito fraco. Em consequência,

quase não houve formação de gelo neste ano, naquele país. Como não havia gelo natural, a situação obrigou que se usasse o artificial, quebrando o tabú existente contra este último e mostrando, inclusive, que o mesmo era ainda melhor que o produto natural, por ser feito com água mais pura e poder ser produzido à vontade, conforme as necessidades de consumo.

A utilização do gelo natural levou a criação, no princípio do século XIX, das primeiras geladeiras.

Tais aparelhos eram constituídos simplesmente por um recipiente, quase sempre isolado por meio de placas de cortiça, dentro do qual eram colocadas pedras de gelo e os alimentos a conservar, ver figura abaixo. A fusão do gelo absorvia parte do calor dos alimentos e reduzia, de forma considerável, a temperatura no interior da geladeira.



Surgiu, dessa forma, o impulso que faltava à indústria de produção mecânica de gelo. Uma vez aceito pelo consumidor, a demanda cresceu vertiginosamente e passaram a surgir com rapidez crescente as usinas de fabricação de gelo artificial por todas as partes.

Apesar da plena aceitação do gelo artificial e da disponibilidade da mesma para todas as classes sociais, a sua fabricação continuava a ter de ser feita em instalações especiais, as usinas de gelo, não sendo possível a produção do mesmo na própria casa dos consumidores. Figura típica da época era o geleiro, que, com sua carroça isolada,

percorria os bairros, entregava nas casas dos consumidores, periodicamente, as pedras de gelo que deviam ser colocadas nas primeiras geladeiras.

No alvorecer do século XX, começou a se disseminar outra grande conquista, a eletricidade. Os lares começaram a substituir os candeeiros de óleo e querosene e os lampiões de gases, pelas lâmpadas elétricas, notável invenção de Edison, e a dispor da eletricidade para movimentar pequenas máquinas e motores. Com esta nova fonte de energia, os técnicos buscaram meios de produzir o frio em pequena escala, na própria residência dos usuários. O primeiro refrigerador doméstico surgiu em 1913, mas sua aceitação foi mínima, tendo em vista que o mesmo era constituído de um sistema de operação manual, exigindo atenção constante, muito esforço e apresentando baixo rendimento.

Só em 1918 é que apareceu o primeiro refrigerador automático, movido a eletricidade, e que foi fabricado pela Kelvinator Company, dos Estados Unidos. A partir de 1920, a evolução foi tremenda, com uma produção sempre crescente de refrigeradores mecânicos.

FLUIDOS REFRIGERANTES

Fluido refrigerante é o fluido que absorve calor de uma substância do ambiente a ser resfriado.

Não há um fluido refrigerante que reúna todas as propriedades desejáveis, de modo que, um refrigerante considerado bom para ser aplicado em determinado tipo de instalação frigorífica nem sempre é recomendado para ser utilizado em outra. O bom refrigerante é aquele que reúne o maior número possível de boas qualidades, relativamente a um determinado fim.

As principais propriedades de um bom refrigerante são:

- ✚ Condensar-se a pressões moderadas;
- ✚ Evaporar-se a pressões acima da atmosférica;
- ✚ Ter pequeno volume específico (menor trabalho do compressor);
- ✚ Ter elevado calor latente de vaporização;
- ✚ Ser quimicamente estável (não se altera apesar de suas repetidas mudanças de estado no circuito de refrigeração);
- ✚ Não ser corrosivo;
- ✚ Não ser inflamável;
- ✚ Não ser tóxico;
- ✚ Ser inodoro;
- ✚ Deve permitir fácil localização de vazamentos;
- ✚ Ter miscibilidade com óleo lubrificante e não deve atacá-lo ou ter qualquer efeito indesejável sobre os outros materiais da unidade;
- ✚ Em caso de vazamentos, não deve atacar ou deteriorar os alimentos, não deve contribuir para o aquecimento global e não deve atacar a camada de ozônio.

Tipos de Fluidos Refrigerantes:

1. **CFC** - São moléculas formadas pelos elementos cloro, flúor e carbono. (Exemplos: R-11, R-12, R-502, etc.).

Utilização: ar condicionado automotivo, refrigeração comercial, refrigeração doméstica (refrigeradores e freezers) etc.

Os CFC's destroem a camada de ozônio. A camada de ozônio sendo danificada permite que raios ultravioleta (UV) do sol alcancem a superfície da Terra. As indústrias químicas nacionais cessaram a produção de CFC's e a importação destas substâncias virgens está controlada. Para converter ou substituir um equipamento operado com CFC foram criados dois tipos de refrigerantes alternativos: HCFC's e HFC's.

2. **HCFC** - Alguns átomos de cloro são substituídos por hidrogênio (Exemplos: R-22, R-141b, etc.).

Utilização: ar condicionado de janela, split, self, câmaras frigoríficas, etc.

3. **HFC** - Todos os átomos de cloro são substituídos por hidrogênio (Ex: R-134a, R-404A, R-407C, etc.).

Utilização: ar condicionado automotivo, refrigeração comercial, refrigeração doméstica (refrigeradores e freezers), etc.

O R-134a (Tetrafluoretano) tem propriedades físicas e termodinâmicas similares ao R-12. Pertence ao grupo dos HFC's Fluorcarbonos parcialmente halogenados, com potencial de destruição do ozônio (ODP) igual a zero, devido ao menor tempo de vida na atmosfera, apresenta uma redução no potencial de efeito estufa de 90% comparado ao R-12. Além disso, é não inflamável, não tóxico, possui alta estabilidade térmica e química, tem compatibilidade com os materiais utilizados e tem propriedades físicas e termodinâmicas adequadas.

O R-134a é compatível com todos os metais e ligas normalmente utilizados nos equipamentos de refrigeração. Deve-se evitar o uso de zinco, magnésio, chumbo e ligas de alumínio com mais de 2% de magnésio em massa.

Testes de armazenamento com refrigerante úmido apresentaram boa estabilidade à hidrólise e nenhum ataque corrosivo em metais como aço inoxidável, cobre, latão e alumínio.

O R-134a é isento de cloro e, por isso, apresenta boa compatibilidade com elastômeros.

Na refrigeração a palavra Retrofit (abreviatura da expressão inglesa "retroactive refit" que significa "readaptação posterior") vem sendo empregada para designar as adaptações que são realizadas em equipamentos que trabalham com CFC's para que

esses possam trabalhar com os fluidos alternativos, tornando-os eficientes, modernos e econômicos.

A linha de fluidos alternativos também chamada de “blends” é uma boa alternativa para a conversão de equipamentos que estão em operação no campo, pois exigem mínimas alterações no sistema original e na maioria dos casos não é necessária a substituição do compressor.

Alguns fluidos alternativos substitutos:

R-12: R-401A, R-401B, R-409A e R-413A

- ✚ **R-409A** - Mistura de fluidos refrigerantes tais como R-22, R-142b e R-124, tem propriedades similares ao R-12 e pode ser utilizado com óleo lubrificante mineral, poliolester e aquilbenzeno.
- ✚ **R-413A** - Mistura de fluidos refrigerantes tais como R-218, R-134a e R-600a, é compatível com óleo lubrificante mineral, poliolester e aquilbenzeno, tem performance similar ao R-12.

R-502: R-402A, R-402B, R-408A e R-403A

- ✚ **R-408A** - Mistura de fluidos refrigerantes tais como R-22, R-134a e R-125, possui performance similar ao R-502 e é compatível com óleo lubrificante mineral, poliolester e aquilbenzeno.

R-22: R-407C, R-410A e R-417A

- ✚ **R-407C** - Mistura de fluidos refrigerantes tais como R-134a, R-32 e R-125, possui propriedades e performance similares ao R-22, porém é necessária a mudança do óleo lubrificante.
- ✚ **R-410A** - Mistura de fluidos refrigerantes de alta pressão tais como R-32 e R-125, possui melhor capacidade de resfriamento, porém requer uma reavaliação do projeto do sistema.

A tabela abaixo mostra algumas opções disponíveis no mercado. As seguintes misturas de fluidos refrigerantes foram aprovadas para uso com os compressores Embraco:

REFRIGERANTE (# ASHRAE)	FABRICANTE	COMPOSIÇÃO	APLICAÇÃO RECOMENDADA (SEGUNDO O FABRICANTE)
SUVA MP66 (R 401b)	DuPont	61% R 22 11% R 152a 28% R 124	Temperatura de evaporação menor do que -23°C
SUVA MP39 (R 401a)	DuPont	53% R 22 13% R 152a 34% R 124	Temperatura de evaporação maior do que -23°C
FX56 (R 409a)	Elf Atochem	60% R 22 15% R 142b 25% R 124	Aplicações de média e baixa evaporação
ISCEON - 49 (R 413a)	Rhône Poulenc	88% R 134a 9% R 218 3% R 600a	Aplicações de média e baixa evaporação

Vantagens dos fluidos alternativos:

- ✚ São utilizados nos equipamentos de refrigeração não havendo necessidade de troca de componentes (dispositivo de expansão, compressor, etc.);
- ✚ São compatíveis com óleo mineral, óleo alquilbenzeno e com os materiais existentes. Obs: somente na aplicação do R-407C, deve ser trocado o óleo mineral por óleo Poliolester;
- ✚ A carga de fluido refrigerante do equipamento com fluido alternativo é 80% da carga de fluido original. Obs: A carga do fluido refrigerante deve ser feita somente na forma líquida.

Compatibilidade de alguns fluidos com óleos lubrificantes

	Óleo Mineral	Óleo Alquil-benzeno	Óleo Poliolester		Óleo Mineral	Óleo Alquil-benzeno	Óleo Poliolester
R12	✓	✓	✓	R402A	✗	✓	✓
R134a	✗	✗	✓	R402B	✗	✓	✓
R401A	✗	✓	✓	R408A	✗	✓	✓
R401B	✗	✓	✓	R22	✓	✓	✓
R502	✓	✓	✓	R407C	✗	✗	✓
R409A	✓	✓	✓	R410A	✗	✗	✓
R413A	✓	✓	✓	R404A	✗	✗	✓

Durante os últimos anos, vários refrigerantes alternativos foram avaliados e o R134a, por apresentar propriedades físicas e termodinâmicas relativamente semelhantes às do R12 e por não conter Cloro, tem sido considerado o substituto do R12 nas suas aplicações.

Mais recentemente, outro fator ambiental, não menos importante que a destruição da camada de ozônio, tem sido considerado: *o potencial de aquecimento global*, mais conhecido como efeito estufa.

Dentre os refrigerantes alternativos que atendem ambas características ambientais, estão os hidrocarbonos. Estes refrigerantes não tinham até então sido considerados uma alternativa à substituição do R12, pois são inflamáveis.

Na tabela a seguir são apresentadas as principais propriedades físicas dos refrigerantes hidrocarbonos comparadas às do R12 e R134a.

Propriedades físicas do R12, R134a e refrigerantes hidrocarbonos.

REFRIGERANTE	ESTRUTURA MOLECULAR	PESO MOLECULAR	TEMPERATURA CRÍTICA (°C)	PRESSÃO CRÍTICA (bar)	PONTO DE EBULIÇÃO (°C)
R 12	$\begin{array}{c} \text{F} \\ \\ \text{F} - \text{C} - \text{Cl} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	120,9	111,8	41,8	- 29,8
R 134a	$\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{F} - \text{C} - \text{C} - \text{F} \\ \quad \\ \text{F} \quad \text{H} \end{array}$	102,0	101,2	40,6	- 26,0
PROPANO (R 290)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} - \text{CH}_3 \\ \\ \text{H} \end{array}$	44,1	96,7	42,4	- 41,7
BUTANO (R 600)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	58,1	151,0	37,2	- 0,5
ISOBUTANO (R 600a)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} - \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	58,1	136,1	36,8	- 11,7

Como pode-se verificar na tabela acima, os refrigerantes hidrocarbonos apresentam menor peso molecular quando comparados ao do R12 e R134a. Isto é

devido à ausência de halogêneos como cloro e flúor na sua estrutura molecular, que é composta apenas de carbono e hidrogênio.

Tal característica torna os refrigerantes hidrocarbonos menos agressivos ao meio ambiente, como mostra a tabela abaixo.

Impacto ambiental dos refrigerantes hidrocarbonos, R12 e R134a

REFRIGERANTE	ODP	GWP	TEMPO DE VIDA
R 12	1,00	7100	120 anos
R 134a	0	3200	16 anos
PROPANO (R 290)	0	< 5	meses
BUTANO (R 600)	0	< 5	semanas

ODP – Potencial de Destruição do Ozônio.

GWP – Potencial de Aquecimento Global (comparado ao CO₂).

Observa-se na tabela acima que o refrigerante R134a, não destrói a camada de ozônio (ODP = 0). Tal característica deve-se à ausência de cloro nas suas moléculas. Entretanto os refrigerantes propano e butano exercem efeito desprezível (GWP < 5) sobre o aquecimento da Terra, ao contrário do R12 e R134a. Outro fator ambiental favorável aos refrigerantes propano e butano é seu menor tempo de vida na atmosfera.

Os principais impactos de cada refrigerante hidrocarbono sobre o compressor e o dispositivo de expansão dos sistemas de refrigeração, baseados na análise teórica do ciclo ASHRAE, são resumidos na tabela abaixo.

REFRIGERANTE	CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS EM RELAÇÃO AO R 12	IMPACTO SOBRE O COMPRESSOR E TUBO CAPILAR
PROPANO (R 290)	<ul style="list-style-type: none"> - Menos Deslocamento Volumétrico (- 33%) - Maior Diferença de Pressão (37%) - Maior Vazão Volumétrica no Tubo Capilar (8,7%) 	<ul style="list-style-type: none"> - Reprojeto dos mancais, válvulas e outros componentes do compressor - Redução da resistência ao escoamento de refrigerante no tubo capilar
ISOBUTANO (R 600a)	<ul style="list-style-type: none"> - Maior Deslocamento Volumétrico (90%) - Menor Diferença de Pressão (- 42%) - Similar Vazão Volumétrica no Tubo Capilar (1,5%) 	<ul style="list-style-type: none"> - Reprojeto dos componentes do compressor - Mudanças no tubo capilar parecem desnecessárias
BUTANO (R 600)	<ul style="list-style-type: none"> - Maior Deslocamento Volumétrico (181%) - Menor Diferença de Pressão (- 57%) - Menor Vazão Volumétrica no Tubo Capilar (- 10,4%) 	<ul style="list-style-type: none"> - Reprojeto dos componentes do compressor - Aumento tamanho total do compressor - Aumento da resistência ao escoamento de refrigerante no tubo capilar

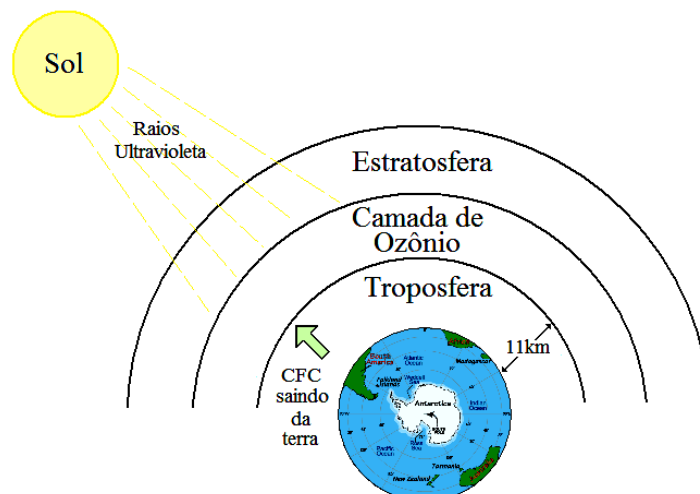
OZÔNIO / PROCESSO DE FORMAÇÃO / DESTRUIÇÃO

O ozônio é formado quando as moléculas de oxigênio absorvem parte da radiação ultravioleta proveniente do sol, ocasionando a separação das moléculas em dois átomos de oxigênio. Estes átomos por sua vez, juntam-se com outras moléculas de oxigênio, formando assim o ozônio (O_3), que contém três átomos de oxigênio.

Aproximadamente 90% do ozônio da terra está localizado em uma camada natural, logo acima da superfície terrestre conhecida como estratosfera. Esta camada natural atua como um escudo protetor contra a radiação ultravioleta.

A primeira preocupação sobre a provável destruição da camada de ozônio pelos CFC's foi levantada com a publicação da teoria de que os átomos de cloro liberados pelos CFC's poderiam migrar até a estratosfera, destruindo as moléculas de ozônio (Molina e Rowland, 1974), conforme mostra a figura abaixo.

Alguns dos CFC's têm um tempo de vida na atmosfera superior a 120 anos, isto é, eles não se dissociam na baixa atmosfera (troposfera). Como resultado, os CFC's migram vagarosamente para a estratosfera onde são atingidos por maiores níveis de radiação, liberando o cloro, que por sua vez livre, liga-se repetidamente com moléculas de ozônio provocando a separação dos átomos de oxigênio da molécula em questão. Com a ocorrência da destruição do ozônio, maiores níveis de radiação tendem a penetrar na superfície terrestre. Além disso, devido ao longo tempo de vida dos CFC's na atmosfera e ao fato de que um átomo de cloro pode destruir repetidamente milhares de moléculas de ozônio, serão necessárias muitas décadas para que a camada de ozônio retorne aos níveis de concentração anteriores, mesmo após a eliminação completa dos CFC's.

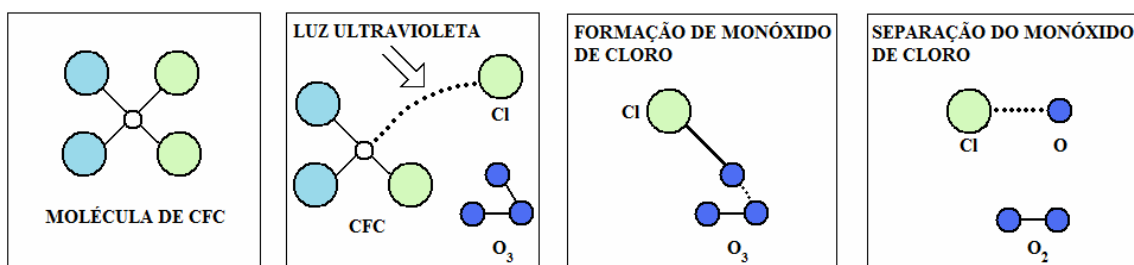


Desde que a teoria de destruição da camada de ozônio foi publicada pela primeira vez, pesquisas científicas têm mostrado uma preocupação geral com o aumento da concentração de cloro na estratosfera, que destruindo o ozônio, tem como resultado danos à saúde e ao meio ambiente, como por exemplo:

- ✚ Aumento dos casos de câncer de pele;
- ✚ Danos aos olhos (aumento dos casos de cataratas);
- ✚ Enfraquecimento do sistema imunológico;
- ✚ Danos às plantações;
- ✚ Danos aos organismos aquáticos (algas marinhas);
- ✚ Aumento da temperatura ambiente.

Como o ozônio é destruído?

Primeiramente, a luz ultravioleta quebra a ligação de um átomo de cloro da molécula de CFC. Em seguida, o átomo de cloro ataca a molécula do ozônio, quebrando a ligação entre os átomos. Forma-se uma molécula de O_2 e uma de monóxido de cloro. O monóxido de cloro é instável, tem sua ligação quebrada e forma-se novamente cloro livre, que vai atacar e destruir outra molécula de ozônio, repetindo-se o processo, ver figura abaixo.



SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

Classificação da Refrigeração

A área de refrigeração cresceu de tal maneira no último século que acabou por ocupar os mais diversos campos. Para conveniência de estudos, as aplicações da refrigeração podem ser classificadas dentro das seguintes categorias: doméstica, comercial, industrial, para transporte e para condicionamento de ar. A refrigeração doméstica abrange principalmente a fabricação de refrigeradores de uso doméstico e de *freezers*. A capacidade dos refrigeradores domésticos varia muito, com temperaturas na faixa de -8°C a -18°C (no compartimento de congelados) e $+2^{\circ}\text{C}$ a $+7^{\circ}\text{C}$ (no compartimento dos produtos resfriados).

A refrigeração comercial abrange os refrigeradores especiais ou de grande porte usados em restaurantes, sorveterias, bares, açougues, laboratórios, etc. As temperaturas de congelamento e estocagem situam-se, geralmente, entre -5°C a -30°C .

Como regra geral, os equipamentos industriais são maiores que os comerciais (em tamanho) e têm como característica marcante o fato de requererem um operador de serviço.

São aplicações típicas industriais as fábricas de gelo, grandes instalações de empacotamento de gêneros alimentícios (carnes, peixes, aves), cervejarias, fábricas de laticínios, de processamento de bebidas concentradas e outras.

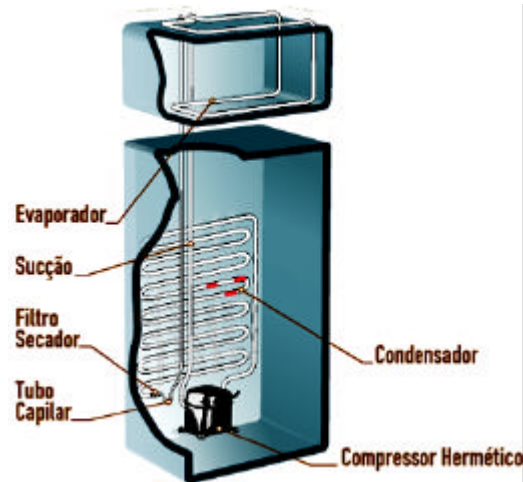
A refrigeração marítima refere-se à refrigeração a bordo de embarcações e inclui, por exemplo, a refrigeração para barcos de pesca e para embarcações de transporte de cargas perecíveis.

A refrigeração de transporte relaciona-se com equipamentos de refrigeração em caminhões e vagões ferroviários refrigerados.

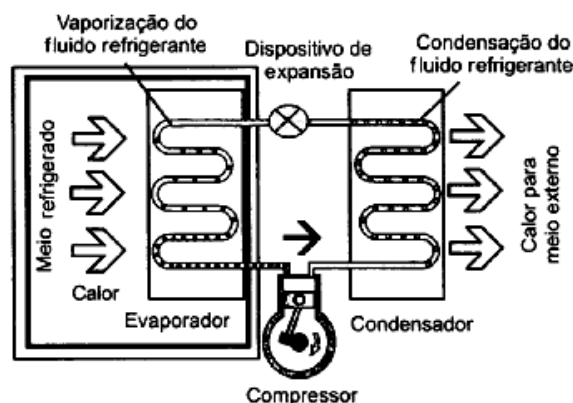
Como podemos observar, as aplicações da refrigeração são as mais variadas, sendo de certa forma bastante difícil estabelecer de forma precisa a fronteira de cada divisão.

Sistema de Compressão Mecânica de Vapor (CMV)

Pode-se entender a lógica de funcionamento dos principais sistemas de refrigeração atuais estudando o funcionamento de um refrigerador doméstico comum, também conhecido como sistema de compressão mecânica de vapor (figura ao lado). Ele funciona a partir da aplicação dos conceitos de calor e trabalho, utilizando-se de um fluido refrigerante. O fluido refrigerante,

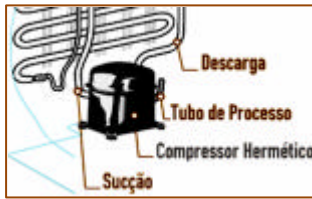


como dito anteriormente, é uma substância que, circulando dentro de um circuito fechado, é capaz de retirar calor de um meio enquanto se vaporiza a baixa pressão. Este fluido entra no evaporador a baixa pressão, na forma de mistura de líquido mais vapor, e retira energia do meio interno refrigerado (energia dos alimentos) enquanto passa para o estado de vapor. O vapor entra no compressor onde é comprimido e bombeado, tornando-se vapor superaquecido e deslocando-se para o condensador, que tem a função de liberar a energia retirada dos alimentos e a resultante do trabalho de compressão para o meio exterior. O fluido, ao liberar energia, passa do estado de vapor superaquecido para líquido (condensação) e finalmente entra no dispositivo de expansão, onde tem sua pressão reduzida, para novamente ingressar no evaporador e repetir-se assim o ciclo. Esse processo é ilustrado através da figura a seguir.

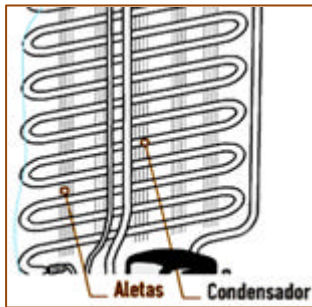


Ciclo de compressão mecânica de vapor

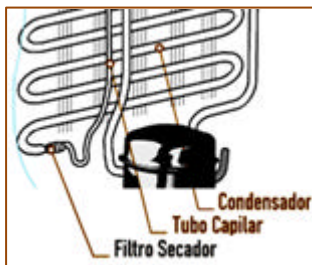
Os detalhes do funcionamento de uma geladeira é descrito a seguir:



COMPRESSOR: sua principal função é succionar o fluido refrigerante a baixa pressão da linha de sucção e comprimí-lo em direção ao condensador a alta pressão e alta temperatura na fase gasosa (*vapor super aquecido*²).



CONDENSADOR: através do condensador e suas aletas, o fluido refrigerante proveniente do compressor a alta temperatura, efetua a troca térmica com o ambiente externo, liberando o calor absorvido no evaporador e no processo de compressão. Nesta fase, ocorre uma transformação de vapor superaquecido para *líquido sub resfriado*³ a alta pressão.

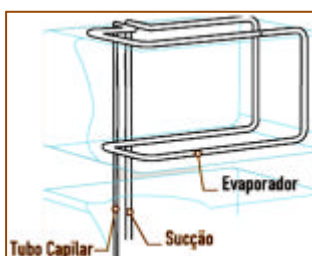


FILTRO SECADOR: exerce duas funções importantes:

A *primeira* é reter partículas sólidas que em circulação no circuito, podem ocasionar obstrução ou danos à partes mecânicas do compressor. A *segunda* é absorver totalmente a umidade residual do circuito que porventura não tenha sido

removida pelo processo de vácuo, evitando danos ao sistema como: formação de ácidos, corrosão, aumento das pressões e obstrução do tubo capilar por congelamento da umidade.

TUBO CAPILAR: é um tubo de cobre com diâmetro reduzido que tem como função receber o fluido refrigerante do condensador e promover a perda de carga do fluido refrigerante separando os lados de alta e de baixa pressão.



EVAPORADOR: recebe o fluido refrigerante proveniente do tubo capilar, no estado líquido a baixa pressão e baixa temperatura. Nesta condição, o fluido evapora absorvendo o calor da superfície da tubulação do evaporador, ocorrendo a transformação de líquido sub resfriado para vapor saturado a

baixa pressão. Este efeito acarreta o abaixamento da temperatura do ambiente interno do refrigerador.

² Vapor superaquecido é quando o vapor está a uma temperatura maior do que a temperatura de saturação, que é a temperatura na qual se dá a vaporização de uma substância pura a uma dada pressão.

³ Líquido sub resfriado é quando a temperatura do líquido é menor do que a temperatura de saturação para a pressão existente. Se a pressão for maior do que a pressão de saturação para a temperatura dada, o líquido é chamado de líquido comprimido.

De maneira similar funcionam também os grandes sistemas de refrigeração, como câmaras frigoríficas. O que difere os sistemas pequenos dos de grande porte é o número de unidades compressoras, evaporadoras, de expansão e condensadoras envolvidas, que nestes últimos podem ser múltiplos, bem como o sistema de controle, que pode alcançar elevada complexidade.

Sistema de Refrigeração por Absorção

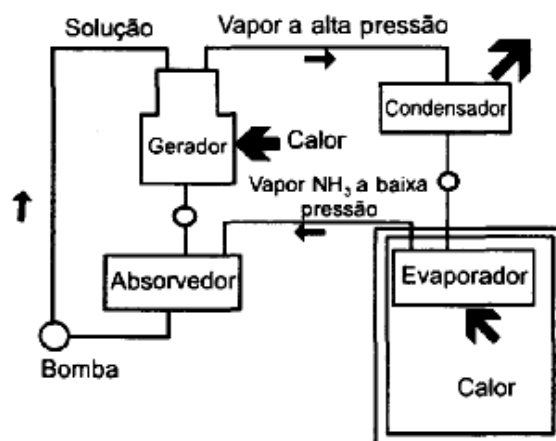
O funcionamento da refrigeração por absorção se baseia no fato de que os vapores de alguns fluidos refrigerantes conhecidos são absorvidos por certos líquidos ou soluções salinas.

Se esta solução formada (vapor de refrigerante mais líquido absorvente), é aquecida verifica-se uma separação entre o líquido e o vapor, onde o vapor pode ser condensado e aproveitado para produção de frio, como nas instalações de compressão a vapor. Na figura a seguir, ilustra-se um sistema de absorção típico.

O sistema de refrigeração por absorção mais comum é aquele que usa amônia (NH_3) como fluido refrigerante e a água como absorvente. Estas máquinas têm a vantagem de utilizar energia térmica em lugares onde a energia elétrica não é disponível ou tem custo elevado.

O sistema por absorção não apresenta partes internas móveis o que lhe garante um funcionamento silencioso e sem vibração, reduzindo assim os gastos com a manutenção.

Para que o sistema funcione, primeiro a solução de amônia e água existente no absorvedor absorve vapor de amônia a baixa pressão vindo do evaporador. O passo seguinte é elevar a pressão do líquido com uma bomba e induzi-lo para o gerador, componente onde a aplicação de energia térmica garante a separação da água e da amônia, que segue para o condensador. A água retorna para o absorvedor após ter sua pressão reduzida. Ao passar pelo condensador a amônia transforma-se da fase de vapor para líquida, liberando energia para o meio externo. Logo após sair do condensador a amônia tem sua pressão reduzida para ingressar no evaporador e retirar energia do meio interno que desejamos resfriar. Neste processo a amônia passa do estado líquido para vapor, que será absorvido pela solução do absorvedor, reiniciando todo o ciclo.



Esquema típico de um sistema de absorção

Observamos que a figura acima é apenas uma simplificação do processo. Há por exemplo a necessidade de resfriamento do absorvedor durante a absorção do vapor, garantindo que o processo não cesse. Isto pode acontecer com resfriamento a ar ou a água.

Para fins domésticos os sistemas de refrigeração por absorção sofrem algumas alterações que simplificam seu funcionamento. O sistema do refrigerador por absorção se processa por meio de vasos de aço e tubos, soldados em conjunto para a formação de um sistema hermeticamente vedado. Todos os espaços do sistema estão em comunicação, de modo que todas as partes estão à mesma pressão total. A carcaça inclui uma solução de água e amônia com poder de aproximadamente 30% de concentração (amônia em peso) e hidrogênio.

Os elementos do sistema incluem um gerador (às vezes chamado caldeira ou alambique), um condensador e absorvedor. Há três circuitos distintos de fluidos no sistema: um circuito de amônia, incluindo gerador, o condensador, o evaporador e o absorvedor; e um circuito de solução, incluindo o gerador e o absorvedor. O calor é aplicado por meio de um queimador de gás ou outra fonte de calor, para expulsar a amônia da solução. O vapor de amônia, assim gerado, flui para o condensador. No caminho do fluxo de amônia, do gerador para o condensador, tem-se um analisador e um retificador.

O efeito da introdução de uma atmosfera de hidrogênio acima de amônia líquida no evaporador é o de reduzir a pressão parcial do vapor de amônia, de acordo com a Lei de Dalton das Pressões Parciais. Conforme a Lei de Dalton, a pressão total de uma mistura gasosa é igual à soma das pressões parciais dos gases isolados. Conseqüentemente, no evaporador a pressão parcial do vapor de amônia é menor que a

pressão total dada pelo valor da pressão parcial do hidrogênio, o que proporciona a circulação natural da amônia dentro do sistema.

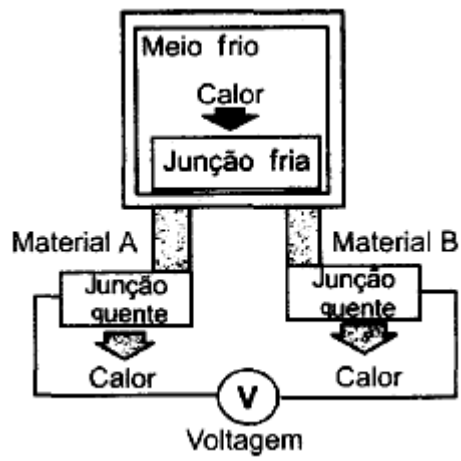
Refrigeração Termoelétrica

Em 1821, Seebeck observou que, em um circuito fechado constituído por dois metais diferentes, uma corrente elétrica circula, sempre que as junções sejam mantidas a temperaturas diferentes. Em 1834, Peltier observou o efeito inverso. Isto é, fazendo-se circular uma corrente elétrica na mesma direção da F.E.M. gerada pelo efeito Seebeck, verifica-se o esfriamento do ponto de junção, e vice-versa. Em 1857, Willian Tomphson (Lord Kelvin) descobriu que um condutor simples, submetido a um gradiente de temperatura sofre uma concentração de elétrons em uma de suas extremidades, e uma carência dos mesmos na outra.

A aplicação da termoeletricidade se restringiu, durante muito tempo, quase que exclusivamente à mensuração de temperaturas através dos chamados termopares. As primeiras considerações objetivas a respeito da aplicação do efeito Peltier à refrigeração foram feitas pelo cientista alemão Alternkirch, que demonstrou que o material termoelétrico é qualitativamente bom quando apresenta um alto coeficiente Seebeck (ou poder termoelétrico), alta condutividade elétrica e uma baixa condutividade térmica. Infelizmente, até 1949, não existiam materiais termoelétricos adequados. A partir de 1949, com o desenvolvimento da técnica dos semicondutores, que apresentam um coeficiente Seebeck bastante superior ao dos metais, é que a refrigeração termoelétrica tomou um grande impulso, permitindo criar maiores gradientes de temperaturas entre a fonte quente e a fonte fria.

O refrigerador termoelétrico utiliza-se de dois materiais diferentes, como os pares termoelétricos convencionais. Há duas junções entre esses dois materiais em um refrigerador termoelétrico. Uma está localizada no espaço refrigerado e outra no meio ambiente.

Quando uma diferença de potencial é aplicada, a temperatura da junção localizada no espaço refrigerado decresce e a temperatura da outra junção cresce. Operando em regime permanente, haverá transmissão de calor do espaço refrigerado para a junção fria. A outra junção estará a uma temperatura acima da ambiente e haverá então a transmissão de calor para o local, conforme mostra a figura a seguir.



Esquema de um sistema de refrigeração termoelétrica

COMPONENTES DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

COMPRESSORES

Finalidade e Aplicações

Os compressores são da família das máquinas operatrizes de fluxo compressível, assim como os ventiladores. São utilizados para proporcionar a elevação da pressão de um gás ou escoamento gasoso. Nos processos industriais, a elevação de pressão requerida pode variar desde cerca de 1 atm até centenas de ou milhares de atmosferas.

Inúmeras são as aplicações dos compressores, conforme será explicado mais adiante. Algumas delas seriam as seguintes: serviços de jateamento, limpeza, soprador de ar de forno (em refinarias), sistemas de refrigeração, etc.

Classificação

- ✚ Compressores de ar para serviços ordinários: produzidos em série para baixos custos, destinam-se a serviços de jateamento, limpeza, pintura, acionamento de pequenas máquinas pneumáticas, etc.
- ✚ Compressores de ar para serviço industriais: destinam-se às centrais encarregadas do suprimento de ar em unidades industriais. As condições de operação de dessas máquinas costumam variar pouco de um sistema para outro.
- ✚ Compressores de gás ou de processo: são requeridos para as mais variadas condições de operação. Incluem nessa categoria certos sistemas de compressão de ar com características anormais. Como exemplo, citamos o soprador de ar do forno de craqueamento catalítico das refinarias de petróleo. Trata-se de uma máquina de enorme vazão e potência, que exige uma concepção análoga à de um compressor de gás.
- ✚ Compressores de refrigeração: são desenvolvidas para esta aplicação. Operam com fluídos bastante específicos e em condições de sucção e descarga pouco variáveis, possibilitando a fabricação em série.
- ✚ Compressores para serviço de vácuo (ou bombas de vácuo): são máquinas que trabalham em condições bem peculiares. A pressão de sucção é subatmosférica, a pressão de descarga é quase sempre atmosférica e o fluído de trabalho normalmente é o ar. Face à anormalidade dessas condições de serviço, foi desenvolvida uma tecnologia

toda própria, fazendo com que as máquinas pertencentes a essa categoria apresentem características bastante próprias.

Dois são os princípios conceptivos no qual se fundamentam todas as espécies de compressores de uso industrial: volumétrico (ou de deslocamento positivo) e dinâmico.

Volumétricos	Alternativos	
	Rotativos	<i>Palhetas</i>
		<i>Parafusos</i>
	<i>Lóbulos</i>	
Dinâmicos	Centrífugos	
	Axiais	

Compressores Volumétricos

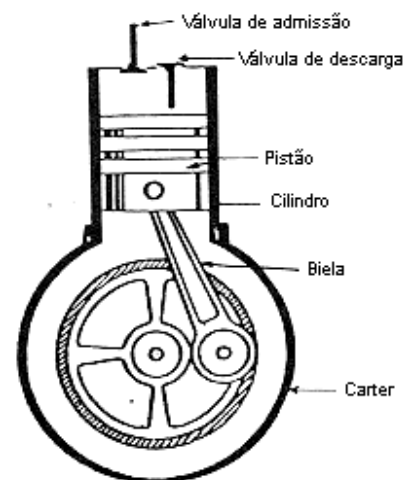
Nos compressores volumétricos ou de deslocamento positivo, a elevação de pressão é conseguida através da redução do volume ocupado pelo gás. Na operação dessas máquinas podem ser identificadas diversas fases, que constituem o ciclo de funcionamento: inicialmente, uma certa quantidade de gás é admitida no interior de uma câmara de compressão, que então é cerrada e sofre redução de volume. Finalmente, a câmara é aberta e o gás liberado para consumo. Trata-se de um processo intermitente, no qual a compressão é efetuada em sistema fechado, isto é, sem qualquer contato com a sucção e a descarga.

Classificação dos compressores Volumétricos:

1-Compressores alternativos

Esse tipo de máquina se utiliza de um sistema biela-manivela para converter o movimento rotativo de um eixo no movimento translacional de um pistão ou êmbolo.

O funcionamento de um compressor alternativo está relacionado ao comportamento das válvulas. Elas possuem um elemento móvel, denominado obturador, que compara as pressões internas e externa ao cilindro. O obturador da válvula de sucção se abre para dentro



Compressor Alternativo

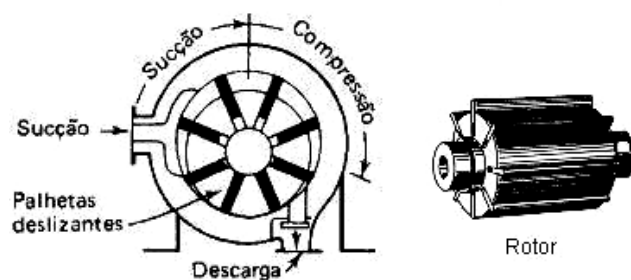
do cilindro quando a pressão na tubulação de sucção supera a pressão interna do cilindro, e se mantém fechado em caso contrário. O inverso ocorre quando a pressão interna supera a pressão na tubulação de descarga.

Na etapa de admissão há uma tendência de depressão no interior do cilindro que propicia a abertura da válvula de sucção. O gás é então aspirado. Ao inverter-se o sentido de movimentação do pistão, a válvula de sucção se fecha e o gás é comprimido até que a pressão interna do cilindro seja suficiente para promover a abertura da válvula de descarga. Isso caracteriza a etapa de compressão. Quando a válvula de descarga se abre, a movimentação do pistão faz com que o gás seja expulso do interior do cilindro. Essa situação corresponde à etapa de descarga e dura até que o pistão encerre o seu movimento no sentido do cabeçote. Nesse momento, a válvula de descarga se fecha, mas a de admissão só se abrirá quando a pressão interna cair o suficiente para permitir a nova abertura da válvula. Essa etapa, em que as válvulas estão bloqueadas e o pistão se movimenta em sentido inverso ao do cabeçote, se denomina etapa de expansão, e precede a etapa de admissão de um novo ciclo.

Podemos concluir que o compressor alternativo aspira e descarrega o gás respectivamente nas pressões instantaneamente reinantes na tubulação de sucção e na tubulação de descarga.

2-Compressores rotativos

a) Compressores de palhetas: possui um rotor ou tambor central que gira excentricamente em relação à carcaça. Esse tambor possui rasgos radiais que se prolongam por todo o seu comprimento e nos quais são inseridas palhetas retangulares, conforme figura ao lado.

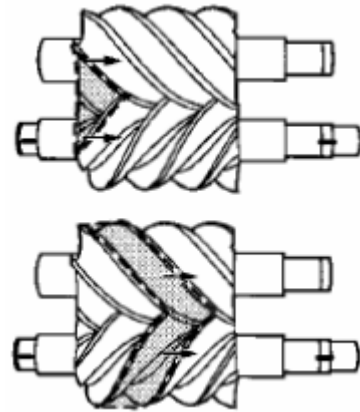


Compressor de palhetas

Quando o tambor gira, as palhetas deslocam-se radialmente sob a ação da força centrífuga e se mantêm em contato com a carcaça. O gás penetra pela abertura de sucção e ocupa os espaços definidos entre as palhetas. Devido a excentricidade do rotor as posições das aberturas de sucção e descarga, os espaços constituídos entre as palhetas vão se reduzindo de modo a provocar a compressão progressiva do gás. A variação do volume contido entre duas palhetas vizinhas, desde o fim da admissão até o início da descarga, define uma relação de compressão interna fixa para a máquina. Assim, a

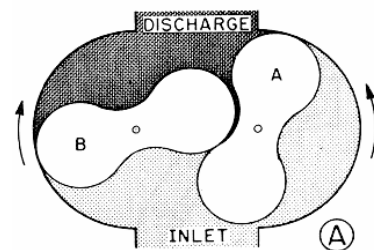
pressão do gás no momento em que é aberta a comunicação com a descarga poderá ser diferente da pressão reinante nessa região. O equilíbrio é, no entanto, quase instantaneamente atingido e o gás descarregado.

b) Compressores de parafusos: este tipo de compressor contém dois rotores em forma de parafusos que giram em sentido contrário, mantendo entre si uma condição de engrenamento. A conexão do compressor com o sistema se faz através das aberturas de sucção e descarga, diametralmente opostas. O gás penetra pela abertura de sucção e ocupa os intervalos entre os filetes dos rotores. A partir do momento em que há engrenamento de um determinado filete, o gás nele contido fica encerrado entre o rotor e as paredes da carcaça. A rotação faz então com que o ponto de engrenamento vá se deslocando para frente, reduzindo o espaço disponível para o gás provocando a sua compressão. Finalmente, é alcançada a abertura de descarga e o gás é liberado.



Compressor de parafuso

c) Compressores de lóbulos: esse compressor possui dois rotores que giram em sentido contrário, mantendo uma folga muito pequena no ponto de tangência entre si e com relação à carcaça. O gás penetra pela abertura de sucção e ocupa a câmara de compressão, sendo conduzido até a abertura de descarga pelos rotores. O compressor de lóbulos, embora sendo classificado



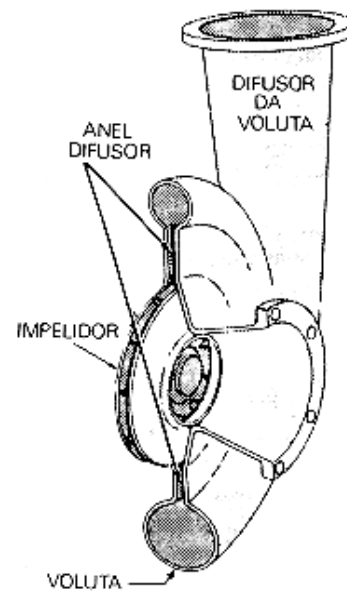
Compressor de lóbulos

como volumétrico, não possui compressão interna. Os rotores apenas deslocam o gás de uma região de baixa pressão para uma região de alta pressão.

Essa máquina, conhecida originalmente como soprador "Roots", é um exemplo típico do que se pode caracterizar como um soprador, uma vez que é oferecida para elevações muito pequenas de pressão. Raramente empregado com fins industriais, é, no entanto, um equipamento de baixo custo e que pode suportar longa duração de funcionamento sem cuidados de manutenção.

Compressores dinâmicos

Os compressores dinâmicos ou turbocompressores possuem dois órgãos principais: impelidor e difusor. O impelidor é um órgão rotativo munido de pás que transfere ao gás a energia recebida de um acionador. Essa transferência de energia se faz em parte na forma cinética e em outra parte na forma de entalpia. Posteriormente, o escoamento estabelecido no impelidor é recebido por um órgão fixo denominado difusor, cuja função é promover a transformação da energia cinética do gás em entalpia, com o conseqüente ganho de pressão. Os compressores dinâmicos efetuam o processo de compressão de maneira contínua, e portanto, correspondem exatamente ao que se denomina, em termodinâmica, um volume de controle.



Compressor centrífugo

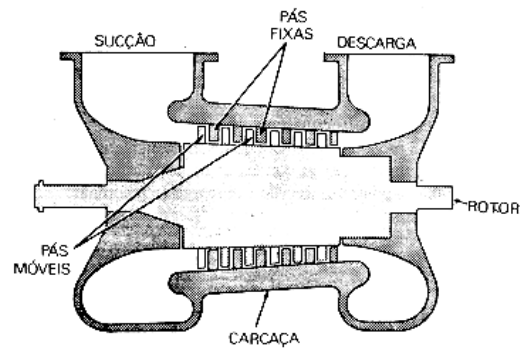
Classificação dos compressores dinâmicos:

1- Compressores Centrífugos: o gás é aspirado continuamente pela abertura central do impelidor e descarregado pela periferia do mesmo, num movimento provocado pela força centrífuga que surge devido à rotação. O fluído descarregado passa então a descrever uma trajetória em forma espiral através do espaço anular que envolve o impelidor e que recebe o nome de difusor radial ou difusor em anel. Esse movimento leva à desaceleração do fluído e conseqüente elevação de pressão. Prosseguindo em seu deslocamento, o gás é recolhido em uma caixa espiral denominada voluta e conduzindo à descarga do compressor. Antes de ser descarregado, o escoamento passa por um bocal divergente, o difusor de voluta, onde ocorre um suplementar processo de difusão.

Operando em fluxo contínuo, os compressores centrífugos aspiram e descarregam o gás exatamente nas pressões externas, ou seja, há uma permanente coincidência entre a relação de compressão interna e a relação de compressão externa.

Essa máquina é incapaz de proporcionar grandes elevações de pressão, de modo que os compressores dessa espécie normalmente utilizados em processos industriais são de múltiplos estágios.

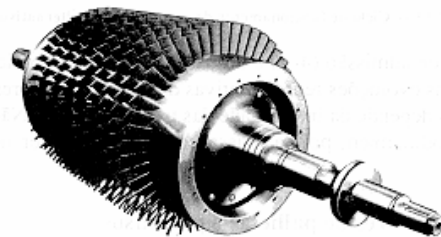
2- Compressores axiais: esse é um tipo de turbocompressor de projeto, construção e operação das mais sofisticadas. Os compressores axiais são dotados de um tambor rotativo em cuja periferia são dispostas séries de palhetas em arranjos circulares igualmente espaçados, conforme mostra a foto abaixo. Quando o rotor é



Compressor axial

posicionado na máquina, essas rodas de palhetas ficam intercaladas por arranjos semelhantes fixados circunferencialmente ao longo da carcaça. Cada par formado por um conjunto de palhetas móveis e outro de palhetas fixas se constitui num estágio de compressão. As palhetas móveis possuem uma conformação capaz de transmitir ao gás a energia proveniente do acionador, acarretando ganhos de velocidade e entalpia do escoamento. As palhetas fixas, por sua vez, são projetadas de modo a produzir uma deflexão no escoamento que forçará a ocorrência de um processo de difusão.

Com a elevação de pressão obtida num estágio axial é bastante pequena, os compressores dessa espécie são sempre dotados de vários estágios. O escoamento se desenvolve através dos estágios segundo uma trajetória hélico-axial envolvendo o tambor.



Rotor de um compressor axial

CONDENSADORES

Condensadores são os elementos do sistema de refrigeração que têm a função de transformar o gás quente, que é descarregado do compressor a alta pressão, em líquido. Para isso, rejeita o calor contido no fluido refrigerante para alguma fonte de resfriamento.

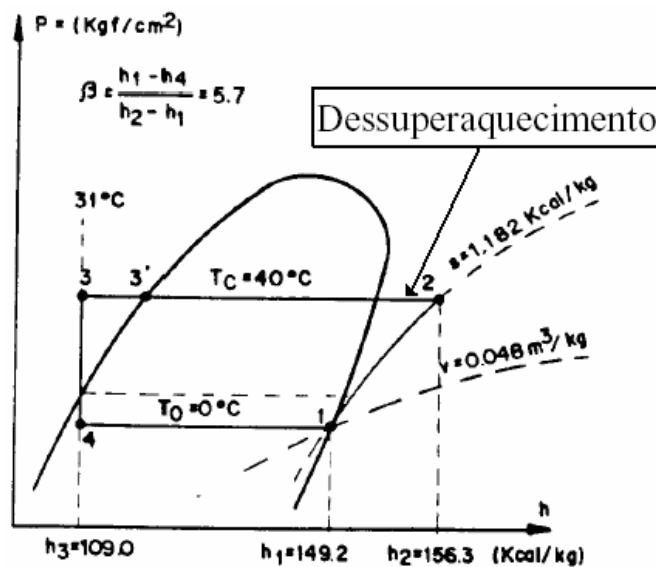
PROCESSO DE CONDENSAÇÃO

Ao ser admitido no condensador, o fluido refrigerante está no mesmo estado que na descarga do compressor, ou seja, gás quente a alta pressão. Como em um sistema de refrigeração o objetivo é evaporar o refrigerante (para resfriar retirar calor de um ambiente e/ou produto), o refrigerante no estado gasoso deve ser condensado antes de retomar ao evaporador.

O processo de condensação do fluido refrigerante se dá ao longo de um trocador de calor, denominado condensador, em três fases distintas que são: Dessuperaquecimento, Condensação e Sub-Resfriamento.

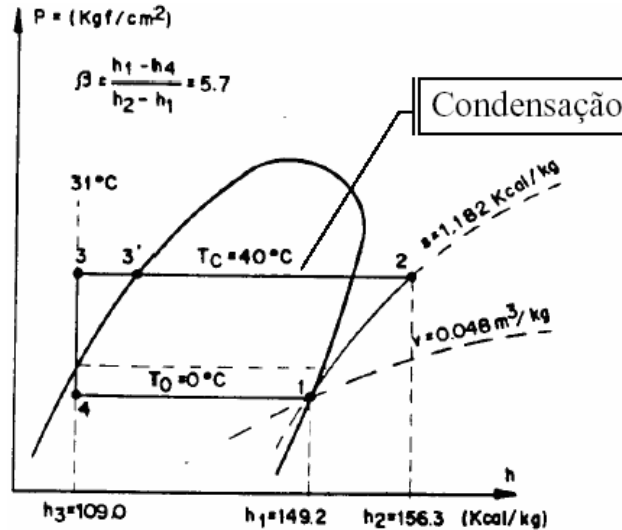
Dessuperaquecimento

O gás, quando é descarregado do compressor, está a alta temperatura. O processo inicial, então, consiste em abaixar esta temperatura, retirando calor sensível do refrigerante, ainda no estado gasoso, até ele atingir a temperatura de condensação, ver figura abaixo.



Condensação

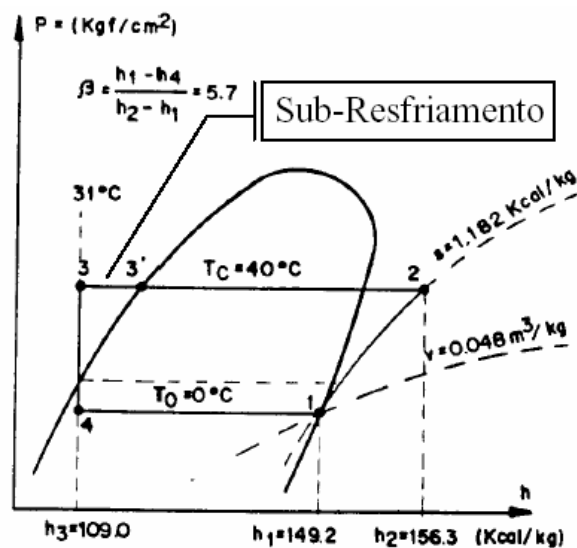
Quando o gás atinge a temperatura de condensação, ele começa um processo de mudança de estado. Neste processo retira-se calor latente do refrigerante, isto é, a temperatura deste mantém-se constante durante todo o processo, ver figura abaixo.



Sub-resfriamento

Após a condensação o refrigerante, agora no estado líquido (líquido saturado), é resfriado de mais alguns graus, utilizando-se para isso um trocador de calor intermediário. Na figura abaixo pode-se visualizar o sub-resfriamento indicado em um diagrama de Mollier.

É no condensador que toda a energia absorvida pelo sistema de refrigeração, mais o equivalente em calor da energia mecânica necessária ao funcionamento do sistema devem ser eliminados.



TIPOS DE CONDENSADORES

- ✚ Condensadores resfriados a ar;
- ✚ Condensadores resfriados a água.
 - Condensador duplo tubo;
 - Condensador Carcaça e Serpentina (Shell and Coil);
 - Condensador Carcaça e Tubo (Shell and Tube);
 - Condensador de Placa;
 - Condensadores Evaporativos.

Condensadores Resfriados a Ar

Para a seleção de condensadores resfriados a ar devem ser levados em consideração diversos fatores, tais como: consumo de energia, instalação, disponibilidade, nível de ruído, etc.

Os condensadores resfriados a ar são normalmente utilizados com parte integrante de unidades produzidas em fábricas (unidades condensadoras) de pequena ou média capacidade. Grandes condensadores a ar também podem ser aplicados onde não é econômica a utilização de sistemas resfriados a água, devido ao alto custo ou indisponibilidade da água. A faixa de capacidades mais comum destes condensadores, cobre a gama de valores de 1 a 100 TR (1TR = 3,5 kW), porém é usual a sua montagem em paralelo, atingindo capacidades bastante superiores.



Para um determinado compressor e para uma determinada temperatura do ar de resfriamento que entra no condensador, aumenta-se a pressão de condensação e diminui-se a capacidade frigorífica com a diminuição do tamanho do condensador. Um aumento da temperatura do ar de resfriamento também resulta nos mesmos efeitos acima, para um determinado condensador.

Os condensadores a ar devem ser instalados elevados, com relação ao nível do solo, para prevenir acumulação de sujeira sobre as serpentinas. Deve-se sempre garantir que existam aberturas adequadas e livres de qualquer obstrução para entrada de ar frio e para a saída do ar quente. As entradas de ar devem ser localizadas longe do lado de descarga do ar para evitar a aspiração de ar quente pelos ventiladores (curto-circuito do ar).

Devido à grande quantidade de ar manejada por estes condensadores eles geralmente são bastante barulhentos. Assim, quando da sua instalação devem ser levadas em consideração às normas locais, que definem os níveis máximos de ruído permitidos. Em algumas situações, especialmente dentro de zonas residências em centros urbanos, deverão ser empregados sistemas para controle da rotação dos ventiladores (motores de duas velocidades ou inversores de frequência), os quais atuariam no período noturno, reduzindo a rotação dos ventiladores, e conseqüentemente o ruído emitido por estes condensadores.

Condensadores Resfriados a Água

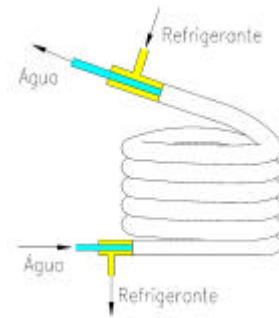
Condensadores resfriados a água, quando limpos e corretamente dimensionados, operam de forma mais eficiente que os condensadores resfriados a ar, especialmente em períodos de elevada temperatura ambiente. Normalmente estes condensadores utilizam água proveniente de uma torre de resfriamento, sendo que usualmente utiliza-se, para a condição de projeto do sistema, o valor de 29,5 °C para a temperatura da água que deixa a torre. A temperatura de condensação, por sua vez, deve ser fixada em um valor entre 5,0 °C e 8,0 °C maior que a temperatura da água que entra no condensador, isto é, da água que deixa a torre. Alguns tipos de condensadores resfriados a água são discutidos a seguir, considerando aspectos relacionados com sua aplicação e economia.

Valores Típicos para o Coeficiente de Transferência de Calor por Convecção

Processo	h (W/m²·K)
Convecção natural (livre)	
Gases	2-25
Líquidos	50-1.000
Convecção forçada	
Gases	25-250
Líquidos	50-20.000
Convecção com mudança de fase Ebulição ou condensação	2.500-100.000

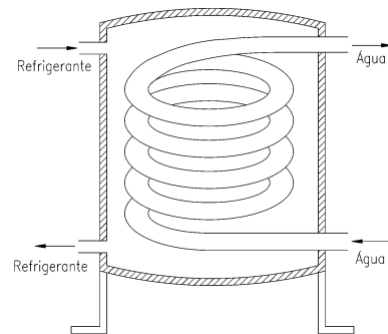
Condensador duplo tubo

Estes condensadores são formados por dois tubos concêntricos, geralmente 1 ¼” para o tubo interno e 2” para o externo. O tubo por onde circula a água é montado dentro do tubo de maior diâmetro. O fluido frigorífico, por sua vez, circula em contracorrente no espaço anular formado pelos dois tubos, sendo resfriado ao mesmo tempo pela água e pelo ar que está em contato com a superfície externa do tubo de maior diâmetro. Estes condensadores são normalmente utilizados em unidades de pequena capacidade, ou como condensadores auxiliares operando em paralelo com condensadores a ar, somente nos períodos de carga térmica muito elevada. Esses condensadores são difíceis de se limpar e não fornecem espaço suficiente para a separação de gás e líquido.



Condensador Carcaça e Serpentina

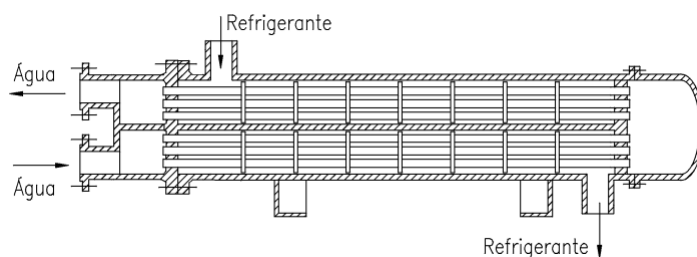
Os Condensadores Carcaça e Serpentina (Shell and Coil) são constituídos por um ou mais tubos, enrolados em forma de serpentina, que são montados dentro de uma carcaça fechada. A água de resfriamento flui por dentro dos tubos, enquanto o refrigerante a ser condensado escoo pela carcaça. Embora, sejam de fácil fabricação, a limpeza destes condensadores é mais complicada, sendo efetuada por meio de produtos químicos (solução com 25% de HCl em água, com inibidor). São usados em unidades de pequena e média capacidade, tipicamente até 15 TR.



Condensador Carcaça e Tubo

Os condensadores Carcaça e Tubo (Shell and Tube) são constituídos de uma carcaça cilíndrica, na qual é instalada uma determinada

quantidade de tubos horizontais e paralelos, conectados a duas placas dispostas em ambas as extremidades. A água de resfriamento circula por dentro dos tubos e o refrigerante escoo dentro da carcaça, em volta dos tubos. Os tubos são de cobre e os espelhos de aço para hidrocarbonetos halogenados e, para amônia, tanto os tubos como



os espelhos devem ser aço. São de fácil limpeza (por varetamento) e manutenção. São fabricados para uma vasta gama de capacidades, sendo amplamente utilizados em pequenos e grandes sistemas de refrigeração.

A velocidade ótima da água em um condensador Shell and Tube deve ser da ordem de 1,0 a 2,0 m/s, e nunca deve ultrapassar os de 2,5 m/s. O fluxo de água deve ser de cerca de 0,10 a 0,15 l/s por tonelada de refrigeração. Este fluxo de água deve ser distribuído entre os tubos, de forma a não exceder as velocidades indicadas acima. Para a seleção econômica destes condensadores devem ser considerados os fatores listados abaixo, pois os mesmos afetam os custos iniciais e operacionais do sistema.

a) Aumentando-se o tamanho de um condensador, aumenta-se a eficiência do compressor, mas ao mesmo tempo o seu custo inicial também aumentará.

b) Aumentando o fluxo de água de resfriamento aumenta-se a capacidade de condensador, porém também aumenta-se o custo de bombeamento da água e o seu consumo.

c) Reduzindo-se o diâmetro da carcaça e aumentando-se o comprimento dos tubos reduz-se o custo inicial do condensador, mas aumenta-se a perda de carga no circuito de água.

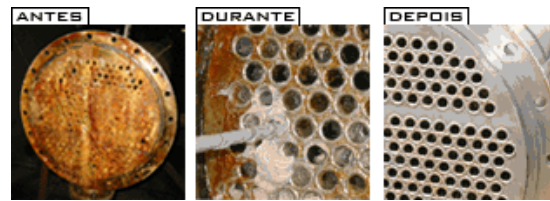
d) O fator incrustação, que está associado a uma resistência térmica adicional devido à formação de incrustações, depende da qualidade de água. Geralmente, para condensadores novos que operarão com água de boa qualidade, considera-se um fator de incrustação da ordem de $0,000044 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$.

Aumento da superfície de transferência para compensar o fator de incrustação.

Fator de Incrustação [m ² .K/W]	Espessura Média da Incrustação [mm]	Aumento de Área Necessário da Área de Transferência de Calor [%]
Tubos Limpos	0,0000	0%
0,00004	0,1524	45%
0,00017	0,3048	85%
0,00035	0,5558	170%
0,00052	0,9144	250%

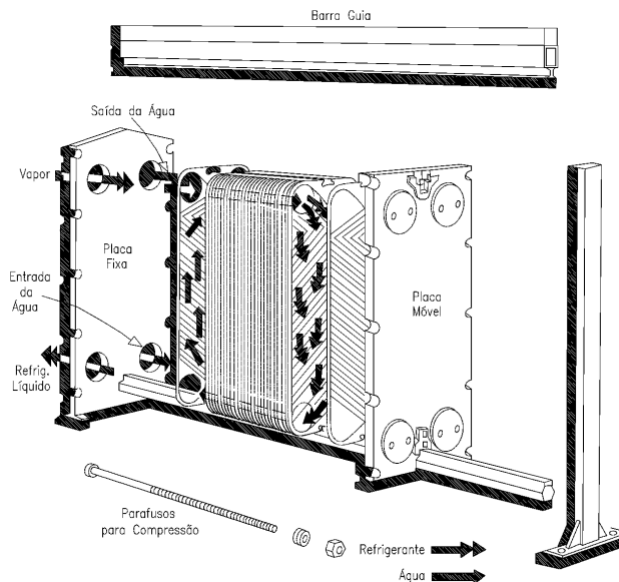
Para sistemas com baixa qualidade da água de resfriamento (grande quantidade de sais dissolvidos ou compostos orgânicos) deve ser considerado um fator de incrustação ainda mais elevado. Os condensadores selecionados para um fator de incrustação mais elevado serão mais caros, isto pode ser observado na Tabela acima, onde é mostrado de quanto deve ser aumentada a superfície de transferência de calor, para compensar o aumento do fator de incrustação, para uma mesma taxa de

transferência de calor. A figura ao lado mostra as etapas de limpeza de um trocador de calor de carcaça e tubo por varetamento.



Condensador de Placa

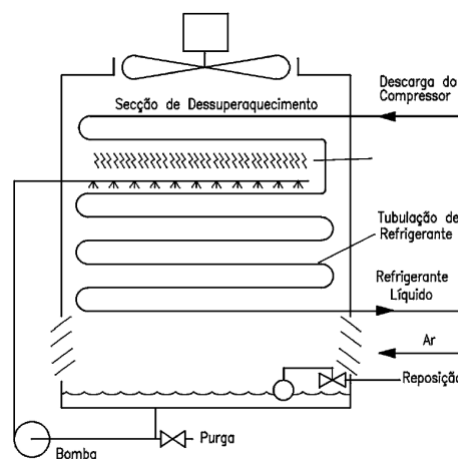
São geralmente constituídos de placas de aço inox ou de outro material, de pequena espessura (0,4 a 0,8 mm). As placas são montadas paralelamente umas as outras, com um pequeno afastamento (1,5 a 3,0 mm). A água de resfriamento e o fluido frigorífico circulam entre espaços alternados, formados pelas placas. Estes trocadores de calor começam a ser utilizados cada vez



mais, devido ao seu elevado coeficiente global de transferência de calor (2500 a 4500 W/m².°C), porém seu uso ainda é restrito na refrigeração industrial. Apresentam-se em dois tipos: *placas soldadas*, empregados para refrigerantes halogenados (família química dos halogênicos: cloro, flúor ou bromo), e *placas duplas soldadas a laser*, montadas em estrutura metálica, os quais são empregados para amônia. Estes últimos apresentam ainda a vantagem da facilidade de aumento de sua capacidade, pela simples inclusão de placas.

Condensadores Evaporativos

Os condensadores evaporativos são formados por uma espécie de torre de resfriamento de tiragem mecânica, no interior da qual é instalada uma série de tubos, por onde escoo o fluido frigorífico figura ao lado. No topo destes condensadores são instalados bicos injetores que pulverizam água sobre a tubulação



de refrigerante. A água escoar, em contracorrente com o ar, em direção a bacia do condensador. O contato da água com a tubulação por onde escoar o refrigerante provoca a sua condensação. Ao mesmo tempo uma parcela da água evapora e, num mecanismo combinado de transferência de calor e massa entre a água e o ar, esta última é também resfriada. A água que chega à bacia do condensador é recirculada por uma bomba, e a quantidade de água é mantida através de um controle de nível (válvula de bóia), acoplado a uma tubulação de reposição.

O consumo total de água nestes condensadores (por evaporação, arraste e drenagem) é da ordem de 8,8 a 12,1 l/h por tonelada de refrigeração. Geralmente, os condensadores evaporativos são selecionados com base em uma diferença de 10 a 15 °C, entre a temperatura de condensação e a temperatura de bulbo úmido do ar que entra no condensador. As menores diferenças de temperatura resultarão em menor consumo de potência, uma vez que a temperatura de condensação será mais baixa.

O contato da água com as regiões de elevada temperatura da serpentina, onde o fluido frigorífico ainda se encontra superaquecido, pode provocar a formação excessiva de incrustações sobre a superfície dos tubos. Assim, em alguns condensadores evaporativos, instala-se uma primeira serpentina, acima da região onde a água é borrifada. Esta serpentina é chamada de dessuperaquecedor, e tem a função de reduzir a temperatura do refrigerante pela troca de calor com o ar saturado que deixa o condensador, o que reduz a formação de incrustações na região onde há água.

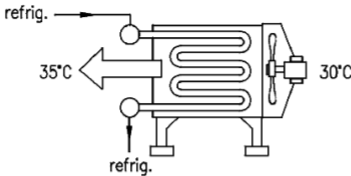
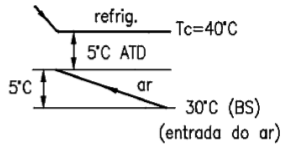
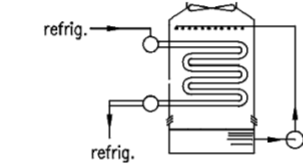
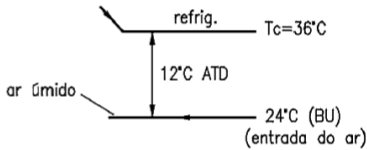
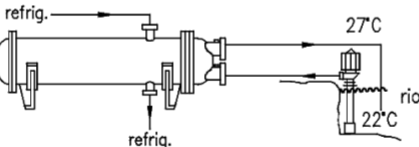
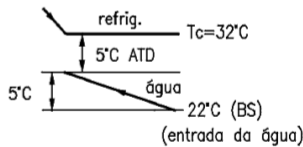
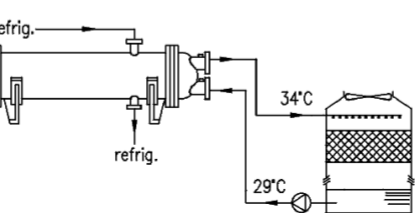
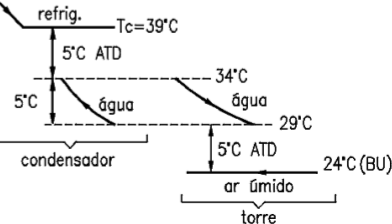
Em alguns condensadores evaporativos, é adicionada ainda uma serpentina para promover o sub-resfriamento do refrigerante líquido, a uma temperatura inferior à temperatura de condensação. Embora o sub-resfriamento do líquido aumente a capacidade de refrigeração total, seu principal benefício é a redução da possibilidade de formação de vapor na linha de líquido, devido à queda de pressão nesta linha.

COMPARAÇÃO ENTRE OS TIPOS DE CONDENSADORES

Por último, cabe efetuar uma análise das temperaturas de condensação típicas, resultantes da utilização de condensadores resfriados a ar, água e evaporativos. Como pode ser observado na Figura a seguir, a utilização de condensadores a água em sistema aberto, isto é, utilizando-se água proveniente, por exemplo, de um rio, resulta em menores temperaturas de condensação. No entanto, estes sistemas estão sujeitos à intensa formação de incrustações e da disponibilidade de água, a qual, na grande maioria das vezes, não existe. Considerando uma ordem crescente de temperaturas de

condensação, aparecem em seguida os condensadores evaporativos, os resfriados a água em sistema fechado e os resfriados a ar, sendo estes os mais empregados para sistemas com capacidades inferiores a 100 kW.

Comparando-se os sistemas com condensadores evaporativos e com condensadores resfriados a água em sistema fechado, isto é, com torre de resfriamento, observa-se que os evaporativos resultam em menores temperaturas de evaporação, em decorrência da existência de somente um diferencial de temperatura. Uma vantagem adicional dos condensadores evaporativos é que a bomba de água destes condensadores é de menor capacidade que a requerida pelos condensadores resfriados a água, o que resulta em menor consumo de energia. No entanto, os condensadores evaporativos devem estar localizados próximos dos compressores, para se evitar longas linhas de descarga (conexão entre o compressor e o condensador).

Tipo de Condensador	Arranjo Esquemático	Temp. de Condensação Típica (T_c)
Resfriado a Ar		
Evaporativo		
Resfriado a Água (sistema aberto)		
Resfriado a Água (sistema fechado)		

EVAPORADORES

O evaporador é um dos componentes principais de um sistema de refrigeração, e tem a finalidade de extrair calor do meio a ser resfriado, isto é, extrair calor do ar, água ou outras substâncias. É a parte do sistema de refrigeração onde o fluido refrigerante sofre uma mudança de estado, saindo da fase líquida para a fase gasosa. É chamado, às vezes, de serpentina de resfriamento, resfriador da unidade, serpentina de congelamento, congelador, etc.

Embora o evaporador seja às vezes um dispositivo muito simples, ele é realmente a parte mais importante do sistema. Qualquer sistema de refrigeração é projetado, instalado e operado com o único fim de retirar calor de alguma substância. Como esse calor tem que ser absorvido pelo evaporador, a eficiência do sistema depende do projeto e da operação adequada do mesmo.

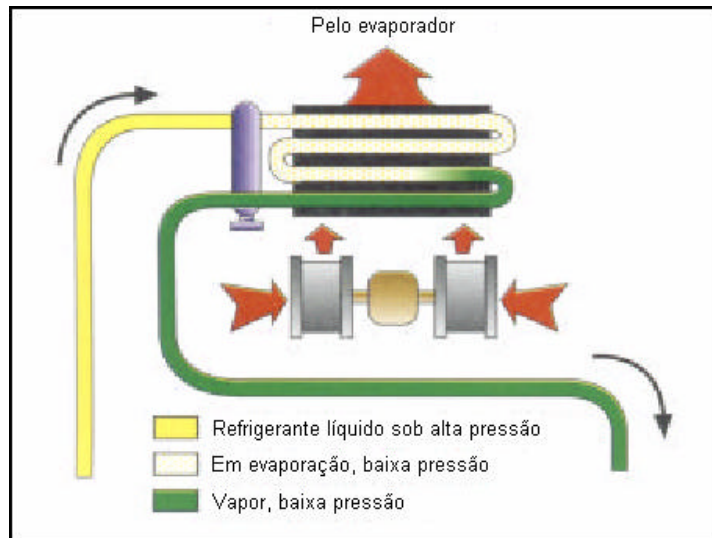
A eficiência do evaporador em um sistema de refrigeração depende de três principais requisitos, que devem ser considerados no projeto e seleção do mesmo:

1. Ter uma superfície suficiente para absorver a carga de calor necessária, sem uma diferença excessiva de temperatura entre o refrigerante e a substância a resfriar.
2. Deve apresentar espaço suficiente para o refrigerante líquido e também espaço adequado para que o vapor do refrigerante se separe do líquido.
3. Ter espaço suficiente para a circulação do refrigerante sem queda de pressão excessiva entre a entrada e a saída.

O PROCESSO DE EVAPORAÇÃO

Após passar pela válvula de expansão (ou tubo capilar), o fluido refrigerante é admitido no evaporador na forma líquida. Como a pressão no evaporador é baixa, o fluido refrigerante se evapora com uma temperatura baixa. No lado externo do evaporador há um fluxo de fluido a ser refrigerado (água, solução de etileno-glicol, ar, etc.), ver figura a seguir.

Como a temperatura desse fluido é maior que a do refrigerante, este se evapora. Após todo o refrigerante se evaporar, ele sofrerá um acréscimo de temperatura denominado superaquecimento.

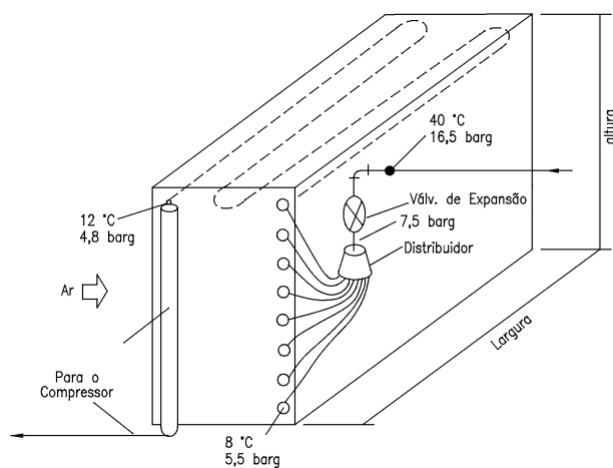


CLASSIFICAÇÃO DOS EVAPORADORES QUANTO AO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO.

Quanto ao seu sistema de alimentação, os evaporadores podem ser classificados em *evaporadores secos* e *inundados*.

Evaporadores Secos (ou de Expansão Direta)

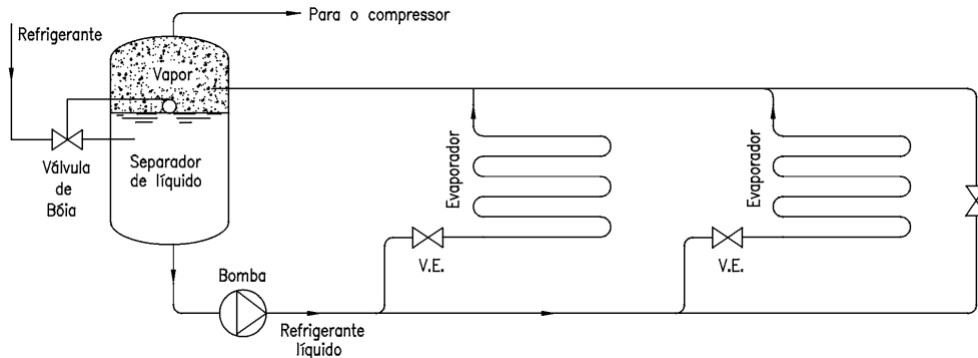
Nestes evaporadores o refrigerante entra no evaporador, de forma intermitente, através de uma válvula de expansão, geralmente do tipo termostática, sendo completamente vaporizado e superaquecido ao ganhar calor em seu escoamento pelo interior dos tubos. Assim, em uma parte do



evaporador existe fluido frigorífico saturado (líquido + vapor) e na outra parte fluido superaquecido. Estes evaporadores são bastante utilizados com fluidos frigoríficos halogenados, especialmente em instalações de capacidades não muito elevadas. A principal desvantagem deste tipo de evaporador está relacionada com o seu, relativamente baixo, coeficiente global de transferência de calor, resultante da dificuldade de se manter a superfície dos tubos molhadas com refrigerante e da superfície necessária para promover o superaquecimento.

Evaporadores Inundados

Nos evaporadores inundados, o líquido, após ser admitido por uma válvula de expansão do tipo bóia, escoar através dos tubos da serpentina, removendo calor do meio a ser resfriado. Ao receber calor no evaporador, uma parte do refrigerante evapora, formando uma mistura de líquido e vapor, a qual, ao sair do evaporador, é conduzida até um separador de líquido. Este separador, como o próprio nome diz, tem a função de separar a fase vapor da fase líquida. O refrigerante no estado de vapor saturado é aspirado pelo compressor, enquanto o líquido retorna para o evaporador, à medida que se faz necessário. Como existe líquido em contato com toda a superfície dos tubos, este tipo de evaporador usa de forma efetiva toda a sua superfície de transferência de calor, resultando em elevados coeficientes globais de transferência de calor.



Evaporadores inundados com recirculação de líquido (por bomba).

Estes evaporadores são muito usados em sistemas frigoríficos que utilizam amônia como refrigerante, porém seu emprego é limitado em sistemas com refrigerantes halogenados devido à dificuldade de se promover o retorno do óleo ao cárter do compressor. Exigem grandes quantidades de refrigerante e também possuem um maior custo inicial. Os evaporadores inundados podem ser ainda ter sua alimentação classificada em:

- ✚ **Alimentação por gravidade:** nestes sistemas os separadores de líquido, que podem ser individuais, parciais ou único, alimentam por gravidade todos os evaporadores da instalação.
- ✚ **Recirculação de Líquido:** nestes sistemas os evaporadores são alimentados com fluido frigorífico líquido, geralmente por meio de uma bomba, em uma vazão maior que a taxa de vaporização, portanto o interior destes evaporadores também sempre contém fluido frigorífico líquido (figura acima). A relação entre a quantidade de refrigerante que entra no evaporador e a quantidade de

refrigerante que se evaporaria devido à carga aplicada, é conhecida com taxa de recirculação (n).

$$n = \frac{\text{vazão de refrigerante}}{\text{vazão evaporada}}$$

Alguns valores típicos da taxa de recirculação são mostrados na tabela abaixo.

Taxas de recirculação típicas.

Fluido Frigorífico - Alimentação	Taxa de Recirculação
Amônia -Alimentação por cima e tubos de grande diâmetro	6 a 7
Amônia - Alimentação normal e tubos de pequeno diâmetro	2 a 4
R12, R134a, R502.	2
R22 - Alimentação por cima	3

CLASSIFICAÇÃO DOS EVAPORADORES QUANTO AO FLUÍDO A RESFRIAR

Conforme mencionado anteriormente, o evaporador é um dos quatro componentes principais de um sistema de refrigeração, e tem a finalidade de extrair calor do meio a ser resfriado, isto é, extrair calor do ar, água ou outras substâncias. Assim, de acordo com a substância ou meio a ser resfriado, os evaporadores podem ser classificados em:

- ✚ Evaporadores para ar.
- ✚ Evaporadores para líquidos.
- ✚ Evaporadores de contato.

Evaporadores para o resfriamento de ar

Em um evaporador para resfriamento de ar, o fluido frigorífico ao vaporizar no interior de tubos, aletados ou não, resfria diretamente o ar que escoar pela superfície externa do trocador de calor. O ar frio é então utilizado para resfriar os produtos contidos em uma câmara, balcão frigorífico, sala climatizada, etc.

Quanto à circulação do ar, estes evaporadores podem ainda ser classificados em evaporadores com circulação natural e evaporadores com circulação forçada.

Evaporadores com circulação natural do ar (convecção natural)

Os evaporadores com circulação natural do ar podem ser constituídos tanto de tubos lisos quanto de tubos aletados, tendo sido bastante utilizados em situações onde se desejava baixa velocidade do ar e elevada umidade relativa no ambiente refrigerado. Com a evolução dos sistemas de controle e de distribuição do ar nas câmaras frigoríficas, estes evaporadores são atualmente pouco empregados.

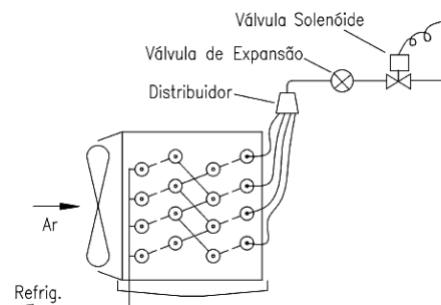
Os coeficientes de transmissão de calor destes evaporadores são baixos, o que exige grandes áreas de troca de calor. Porém, por questões de limitação dos valores de perda de carga, não devem ser usados tubos muito longos, o que requer o emprego de tubos paralelos. Quanto ao formato de como são dobrados os tubos, há bastante variação entre fabricantes, sendo os principais dobramentos em forma de espiral cilíndrica, trombone, hélice, zig-zag, etc.

Quanto aos materiais empregados em sua construção, os evaporadores de circulação natural podem ser construídos com tubos de cobre, aço ou até mesmo alumínio. E em casos especiais, quando o meio onde estão instalados é corrosivo, pode ser utilizado aço inoxidável. No caso de evaporadores aletados, as aletas podem ser de alumínio, cobre ou aço inoxidável, também para aplicações especiais.

Estes evaporadores devem ser colocados na parte superior da câmara, junto ao teto, e devem ser instaladas bandejas para a coleta de condensado sob os mesmos, evitando o gotejamento de água sobre os produtos. Quando, por questões de espaço, não for possível a instalação somente no teto, podem também ser utilizadas as paredes, desde que os evaporadores sejam montados de forma a facilitar as correntes de convecção natural do ar no interior da câmara.

Evaporadores com circulação forçada do ar

O evaporador com circulação forçada (frigodifusor), é atualmente o tipo de evaporador mais utilizado em câmaras frigoríficas, salas de processamento e túneis de congelamento, sendo constituídos, basicamente, por uma serpentina aletada e ventiladores, montados em um gabinete compacto. Quanto à posição do ventilador em relação à serpentina aletada, estes evaporadores podem ser classificados em:



- ✚ *Ventilador succionando*: esta configuração permite maior alcance do fluxo de ar frio, porém o calor dissipado pelo motor do ventilador não é retirado imediatamente.
- ✚ *Ventilador soprando*: embora o alcance desta configuração seja menor, o calor dissipado pelo motor do ventilador é retirado do ar imediatamente após a sua liberação.

Um dos artifícios utilizados para melhorar o coeficiente de transmissão de calor de um evaporador seria o de molhar a sua superfície externa, pela aspersão de um líquido na forma de spray ou chuva, dando origem aos chamados “evaporadores de superfície úmida”.

A aspersão de líquido, além de manter a serpentina sempre limpa, também apresentam as seguintes finalidades:

- ✚ Aumentar a umidade relativa do ambiente, para temperaturas acima de 0 °C. Utiliza-se a aspersão de água.
- ✚ Eliminar a formação de gelo e, conseqüentemente, e reduzir o tempo e perda de energia no degelo. Utiliza-se a aspersão de glicol ou salmoura.

Quando não há aspersão de líquido sobre a superfície externa do evaporador, este é dito “de superfície seca”. Isto não significa que a superfície esteja sempre seca. Na verdade, ela pode estar molhada com vapor de água condensado, para temperaturas positivas, ou pode ter gelo, para temperaturas negativas. O que significa é que não existe qualquer aspersão intencional de líquido sobre o evaporador.

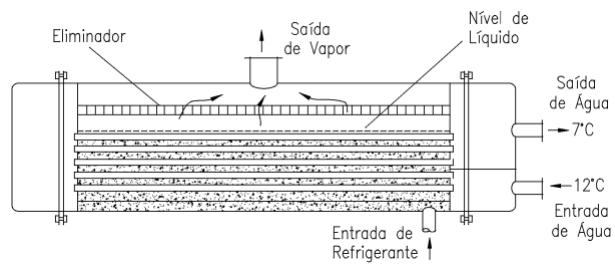
Evaporadores para o resfriamento de líquidos

Em um evaporador para líquido, este é resfriado até uma determinada temperatura e então bombeado para equipamentos remotos, tais como serpentinas de câmaras frigoríficas, de fan-coils, etc., onde será utilizado para o resfriamento de uma outra substância ou meio.

Os principais tipos de evaporadores para líquidos são: *Carcaça e tubo (shell and tube)*, *Carcaça e serpentina (shell and coil)*, *Cascata ou Baudelot*, *Evaporadores de placas* e *Evaporadores de contato*. A seguir é descrito cada um deles.

Carcaça e tubo (Shell and tube)

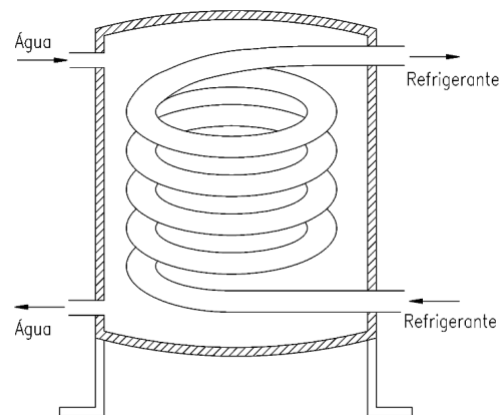
Este tipo de evaporador é um dos mais utilizados na indústria de refrigeração para o resfriamento de líquidos. São fabricados em uma vasta gama de capacidades, podendo ser do tipo inundado, com alimentação por gravidade, onde o refrigerante evapora por fora dos tubos e o líquido a resfriar escoar por dentro dos tubos, ou de expansão direta ou de recirculação por bomba, onde o refrigerante escoar por dentro dos tubos e o líquido a resfriar na parte de fora dos tubos.



São fabricados em chapas calandradas com cabeçotes fundidos, espelhos de aço e tubos de cobre ou aço, com aletas ou não. Podem conter vários passes (ou passagens) de modo a manter a velocidade do líquido no interior dos tubos dentro de limites aceitáveis, evitando-se perdas de carga excessivas. Podem conter ainda chicanas (ou baffles) no espaço entre os tubos e a carcaça, que ajudam a posicionar os tubos e direcionam o escoamento, para que o líquido escoar perpendicularmente aos tubos.

Carcaça e serpentina (Shell and coil)

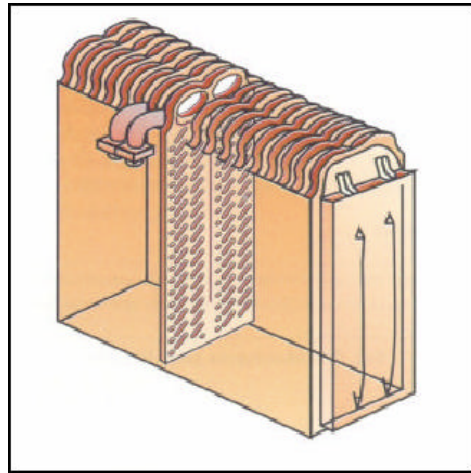
Nestes evaporadores o fluido frigorífico escoar por dentro do tubo, que é dobrado em forma de serpentina, e o líquido circula por fora do mesmo. Pelas dificuldades de limpeza da serpentina, bem como devido ao baixo coeficiente global de transferência de calor, este tipo de evaporador não é muito utilizado, se restringindo à instalações com refrigerantes halogenados de pequena capacidade, ou nos resfriadores intermediários fechados dos sistemas de duplo estágio.



Cascata ou Baudelot

Estes evaporadores são utilizados para o resfriamento de líquidos, normalmente água para processo, até uma temperatura em torno de 0,5 °C acima do seu ponto de congelamento. E são projetados de forma que não sejam danificados se houver congelamento do líquido. Os modelos mais antigos destes evaporadores eram

constituídos de uma série de tubos, montados uns por cima dos outros, sobre os quais o líquido a resfriar escorre, numa fina película, sendo que o refrigerante circula por dentro deles. Os modelos mais recentes utilizam chapas estampadas e corrugadas de aço inoxidável, com as ondulações servindo de passagem para o refrigerante. A superfície contínua permite melhor controle da distribuição do líquido e o aço inoxidável oferece uma superfície higiênica e de fácil limpeza.

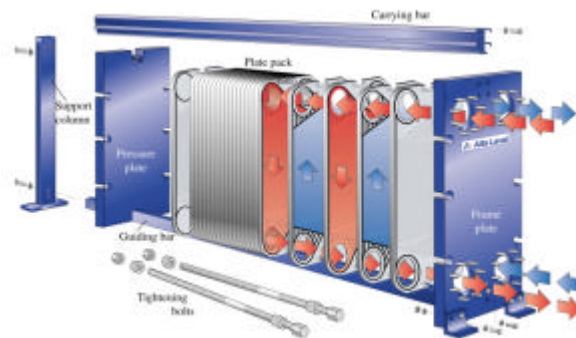


Evaporador de Baudelot

Estes evaporadores também são muito utilizados na indústria de bebidas (cervejarias), bem como para o resfriamento de leite.

Evaporadores de Placas

Da mesma forma que no caso dos condensadores, este tipo de evaporador está sendo utilizado cada vez mais, devido ao seu elevado coeficiente de transmissão de calor. Pode ser usado com alimentação por gravidade, recirculação por bomba, o por expansão direta (válvulas termostáticas).



Estes evaporadores são construídos a partir de lâminas planas de metal interligadas por curvas de tubo soldadas a placas contíguas. Pode ser feita também de placas rebaixadas ou ranhuras e soldadas entre si, de modo que as ranhuras formem uma trajetória determinada ao fluxo do refrigerante.

Evaporadores de contato

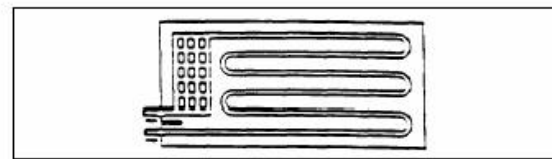
Os evaporadores de contato formam um caso particular dos evaporadores de placas, sendo muito utilizados para o congelamento de produtos sólidos, pastosos ou líquidos. Atualmente são construídos em chapas de alumínio (liga especial), porém no passado foram utilizados principalmente o cobre e o aço. A sua alimentação pode ser por gravidade, recirculação por bomba ou expansão direta.

São mais comumente utilizadas como serpentinas de prateleiras em congeladores. O refrigerante circula através dos canais e o produto a congelar é colocado entre as placas. Esse tipo de evaporador pode ainda ser produzido pelo sistema Roll-Bond, onde são tomadas duas chapas de alumínio, e sobre as quais são impressos canais em grafite com o formato desejado. Faz-se então a união das chapas por



Evaporadores de Placas Conformadas

caldeamento a 500°C (o caldeamento não ocorre nos pontos onde há grafite). Por último os canais são expandidos sob uma pressão de até 150 bar, retirando o grafite e deixando o formato dos canais.



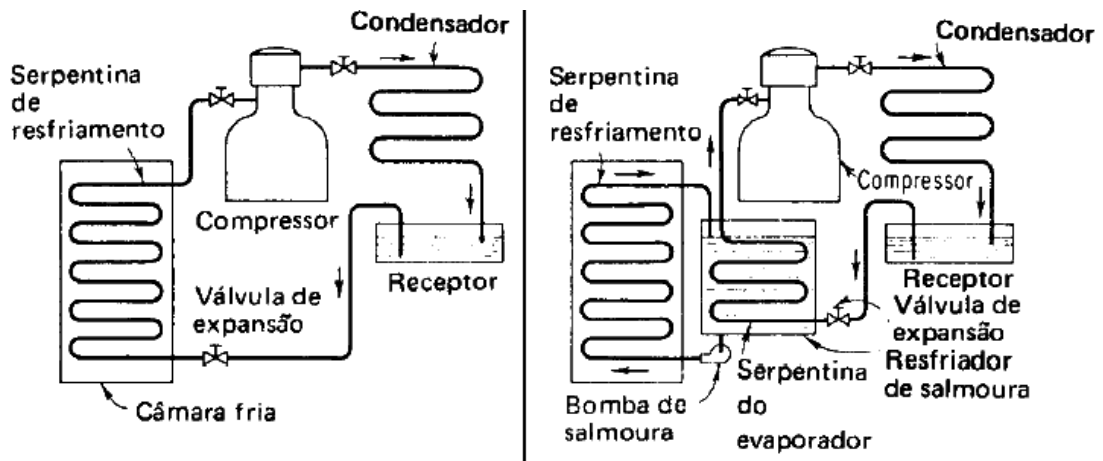
Evaporador Roll-Bond com acumulador de sucção

SISTEMAS DE EXPANSÃO DIRETO E INDIRETO

Um sistema de serpentina de expansão direta é um método direto de refrigeração em que o evaporador está em contato direto com o material ou espaço a refrigerar ou se localiza em passagens de circulação de ar que se comunicam com esse espaço. O evaporador de um sistema direto pode incluir qualquer tipo de trocador de calor, como serpentinas de tubos, resfriadores tubulares, serpentinas aletadas ou qualquer dispositivo no qual um refrigerante primário, como amônia, Freon ou dióxido de carbono, seja circulado e evaporado com a finalidade de resfriar qualquer material em contato direto com a superfície oposta do trocador de calor.

Ao contrário desse sistema, está o sistema indireto: o refrigerante é evaporado na serpentina do evaporador, que está imerso em um tanque de salmoura. A salmoura, um refrigerante secundário, é então circulada para as serpentinas das câmaras frigoríficas para resfriá-las, em lugar da serpentina que contém o refrigerante primário.

A distinção entre um sistema de expansão direta e outro sistema qualquer não está no tamanho ou formato do equipamento de transferência de calor, mas no processo de transferência empregado: ou pelo processo de calor latente, através da evaporação do refrigerante primário, ou pelo processo do calor sensível, com um refrigerante secundário (figura a seguir).



Comparação do sistema de expansão direta com o indireto

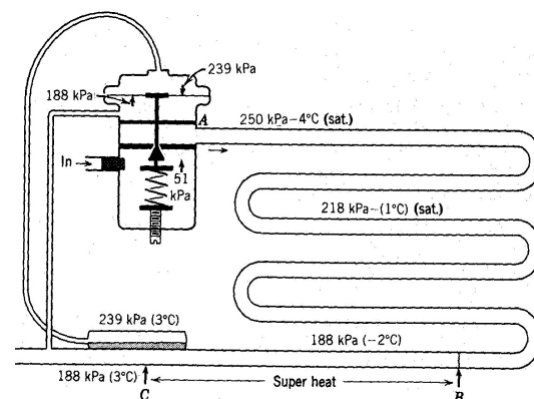
DISPOSITIVOS DE EXPANSÃO E ACESSÓRIOS

Em um sistema de refrigeração, o dispositivo de expansão tem a função de reduzir a pressão do refrigerante desde a pressão de condensação até a pressão de vaporização. Ao mesmo tempo, este dispositivo deve regular a vazão de refrigerante que chega ao evaporador, de modo a satisfazer a carga térmica aplicada ao mesmo. Nesta apostila serão considerados alguns dos principais de tipos de dispositivos de expansão, entre eles: válvula de expansão termostática, válvulas de expansão eletrônicas, válvulas de bóia, válvula de expansão de pressão constante e tubos capilares.

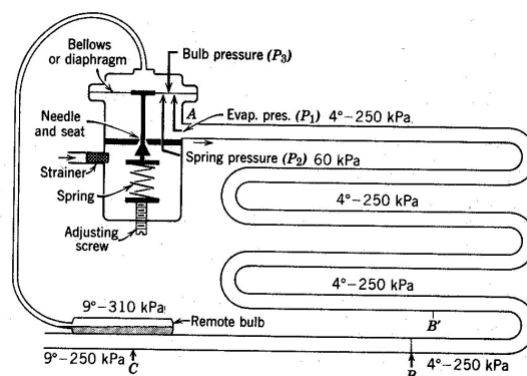
1 – Válvula de Expansão Termostática

Devido a sua alta eficiência e sua pronta adaptação a qualquer tipo de aplicação, as válvulas de expansão termostáticas (VET) são os dispositivos de expansão mais utilizados em sistemas de refrigeração de expansão direta. São usadas para regular o fluxo do refrigerante a fim de garantir que ele evapore totalmente na serpentina, para garantir a redução da pressão do sistema e ainda para manter um superaquecimento constante do vapor que deixa a serpentina. Elas podem ser do tipo equalização externa e equalização interna.

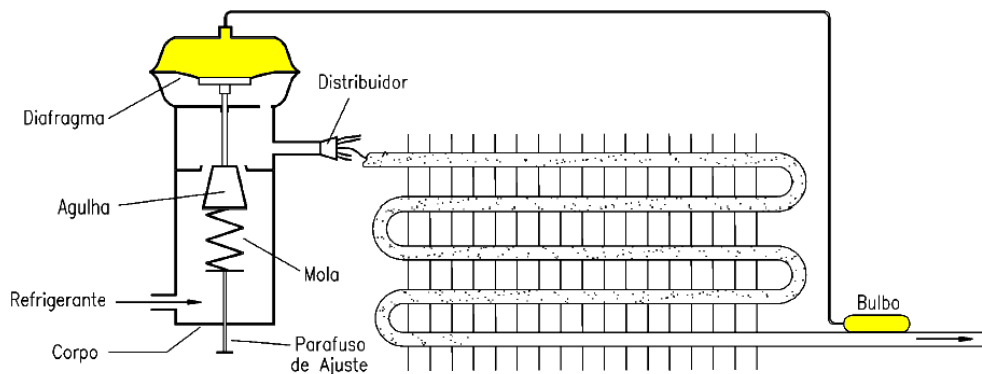
As válvulas de expansão termostáticas com equalização externa de pressão são utilizadas quando, ao fluir através do evaporador, o fluido sofre uma queda de pressão elevada devido ao atrito. Dessa forma, sua temperatura de saturação é sempre mais baixa na saída do que na entrada. Como exemplo, considere a válvula com equalização externa de pressão, ilustrada na figura acima, montada em um sistema com perda de carga no evaporador de 62kPa.



Esquema de funcionamento de uma válvula com equalização interna de pressão.



Esquema de funcionamento de uma válvula com equalização externa de pressão.



A figura acima mostra o esquema de uma válvula de expansão termostática, conectada a uma serpentina de expansão direta. Estas válvulas são constituídas de corpo, mola, diafragma, parafuso de ajuste e bulbo sensível. O bulbo, que contém em seu interior fluido frigorífico saturado, é conectado com a parte superior do diafragma através de um tubo capilar e deve ser posicionado em contato com a tubulação de saída do evaporador, bem próximo a este. A saída da VET é conectada com a tubulação de entrada do evaporador e, caso este seja de múltiplos circuitos, deve-se utilizar um distribuidor de líquido.

Quando o bulbo da válvula contém refrigerante do mesmo tipo que o utilizado no sistema frigorífico, diz-se que a válvula é de carga normal.

Se o tipo de refrigerante do bulbo da válvula é diferente daquele utilizado na instalação, diz-se que a válvula é de carga cruzada. O objetivo principal destas válvulas é manter um grau de superaquecimento aproximadamente constante para toda a gama de temperaturas de evaporação do sistema frigorífico, o que pode não acontecer para as VET de carga normal.

Quando o refrigerante passa através do orifício da válvula a sua pressão é reduzida até a pressão de vaporização. O refrigerante líquido escoar através do distribuidor e dos tubos do evaporador, se vaporizando a medida que recebe calor. Em uma determinada posição ao longo do comprimento dos tubos, todo o refrigerante líquido já se vaporizou e, a partir deste ponto, qualquer fluxo adicional de calor provocará um aumento da temperatura do refrigerante (calor sensível). Assim, quando o refrigerante alcança a saída do evaporador ele apresenta um pequeno grau de superaquecimento, com relação à temperatura de saturação, para a pressão de vaporização.

Se a carga térmica aumenta, mais refrigerante se vaporiza. Isto causa aumento do superaquecimento do refrigerante, o que está associado a um aumento de

temperatura na região onde está instalado o bulbo da válvula. Como dentro do bulbo existe refrigerante saturado, este aumento de temperatura provoca um aumento de pressão no interior do mesmo e na parte superior do diafragma, o que move a agulha obturadora para baixo, abrindo a válvula e aumentando a vazão de refrigerante. Assim, mais líquido entra no evaporador de forma a satisfazer a carga térmica.

Se ocorrer diminuição da carga térmica, o superaquecimento do refrigerante na saída do evaporador tende a diminuir, o que provoca o fechamento da válvula, diminuição da vazão de fluido frigorífico e aumento da diferença de pressão entre entrada e saída da válvula.

O grau de superaquecimento pode ser ajustado pela variação da tensão impressa à mola da válvula. Maiores tensões na mola, exigirão maiores pressões no bulbo para a abertura da válvula o que implica em maiores superaquecimentos.

Em algumas situações, podem ocorrer instabilidades na operação da VET, resultando em ciclos de superalimentação e subalimentação do evaporador, sendo este fenômeno conhecido como *hunting* da válvula. O *hunting* causa flutuações de pressão e temperatura e pode reduzir a capacidade do sistema frigorífico.

O intervalo de tempo necessário para o escoamento do refrigerante desde a entrada do evaporador até o ponto onde está instalado o bulbo pode levar, em determinadas condições, a uma abertura excessiva da válvula, o que alimenta o evaporador com um excesso de refrigerante líquido.

Algumas gotas deste líquido podem ser transportadas até a saída do evaporador, resfriando rapidamente a parede do tubo onde está instalado o bulbo, e reduzindo subitamente a alimentação de refrigerante pela válvula, a qual passa a operar em ciclos rápidos de superalimentação e subalimentação, isto é, em *hunting*.

O *hunting* de uma válvula de expansão termostática é determinado pelos seguintes fatores:

- ✚ **Tamanho da Válvula** - uma válvula superdimensionada pode levar ao *hunting*.
- ✚ **Grau de Superaquecimento** - quanto menor o grau de superaquecimento, maior as chances da válvula entrar em *hunting*.
- ✚ **Posição do bulbo** - a correta seleção da posição do bulbo freqüentemente minimize o *hunting*. O bulbo deve ser instalado na parte lateral (a 45°) de uma secção horizontal da tubulação, localizada imediatamente na saída do evaporador.

2 – Válvulas de Expansão Eletrônicas

As válvulas de expansão elétricas, ou mais precisamente as eletrônicas, são capazes de promover um controle mais preciso e eficiente do fluxo de refrigerante, resultando numa economia de energia.

O fechamento repentino da válvula pode causar golpes de líquido na linha de refrigerante que alimenta a válvula, gerando vibração excessiva. A introdução de um amortecimento, onde o refrigerante líquido é forçado acima ou abaixo do êmbolo da válvula, por uma pequena passagem pode ser uma forma efetiva de reduzir a velocidade de abertura e fechamento.

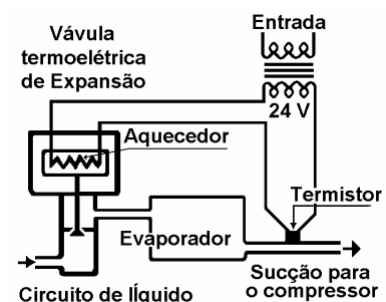
Ao invés de abrir ou fechar completamente a válvula, pode-se utilizar uma válvula analógica e variar a intensidade do campo magnético aplicado à sua bobina, de forma que a agulha da válvula (ou êmbolo) pare em várias posições intermediárias.

Comparadas com as válvulas de expansão termostática, as principais vantagens das válvulas eletrônicas são:

- ✚ Promovem um controle mais preciso da temperatura.
- ✚ Promovem um controle consistente do superaquecimento, mesmo em condições de pressão variável.
- ✚ São capazes de operar com menores pressões de condensação. Isto é especialmente importante quando se tem baixa temperatura ambiente.
- ✚ Podem resultar em economia de energia de 10% (ou mais).

O sinal para controle das válvulas eletrônicas pode ser gerado a partir de um termistor (semicondutores sensíveis à variação de temperatura), instalado na saída do evaporador, e que pode detectar a presença de refrigerante líquido. Quando não ocorre a presença de líquido, a temperatura do termistor se eleva,

o que reduz sua resistência elétrica, esta variação de resistência pode ser analisada por um circuito, que enviará o sinal digital para posicionamento da agulha da válvula.



Tipos de termistores:

- ✚ **NTC** (do inglês Negative Temperature Coefficient): a resistência diminui com o aumento da temperatura;

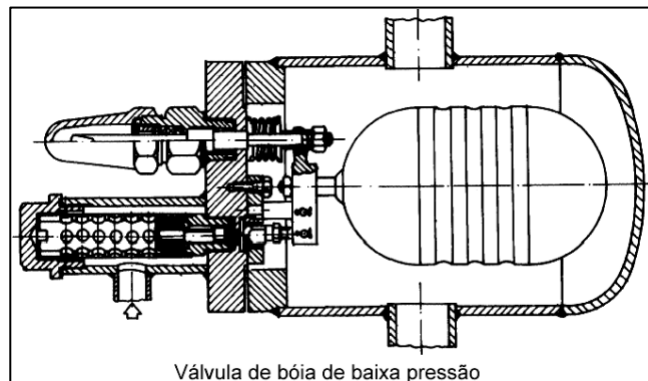
✚ **PTC** (do inglês Positive Temperature Coefficient): a resistência aumenta com o aumento da temperatura.

3 – Válvulas de Bóia

A válvula de bóia é um tipo de válvula de expansão que mantém constante o nível de líquido em um recipiente, diretamente no evaporador ou nos separadores de líquido. Existem dois tipos de válvulas de bóia para sistemas de refrigeração: as de alta pressão e as de baixa pressão.

Válvula de bóia do lado de Baixa Pressão

Essencialmente, a válvula de bóia do lado de baixa pressão é um recipiente oco, esférico ou com outro formato, ligado por alavancas e articulações a uma válvula de agulha, figura ao lado. Ela mantém o líquido no evaporador a um nível predeterminado. Quando o refrigerante é evaporado, o nível de líquido se reduz, baixando a bóia. A articulação de ligação abre a válvula, admitindo mais refrigerante. Então, quando o nível de líquido sobe até o ponto necessário, a bóia é erguida, fechando a válvula de agulha. Esse tipo de válvula de expansão oferece um controle muito bom, mantendo o nível adequado de refrigerante independentemente de variações de carga, períodos sem carga, condições da carga e outras variáveis de operação. Qualquer número de evaporadores pode funcionar em um mesmo sistema, pois cada válvula flui apenas a quantidade de refrigerante necessária para o seu próprio evaporador. As válvulas de bóia devem ser escolhidas em função do refrigerante específico que vai ser usado, devido à diferença de densidade entre os diversos refrigerantes. Uma válvula dimensionada para um dos refrigerantes mais pesados, como R-12 ou R-22, precisaria ter uma bóia menor e mais pesada do que a de uma válvula construída para amônia. Além disso, as pressões no sistema durante o descongelamento têm que ser consideradas, pois altas pressões podem levar à implosão da própria bóia.

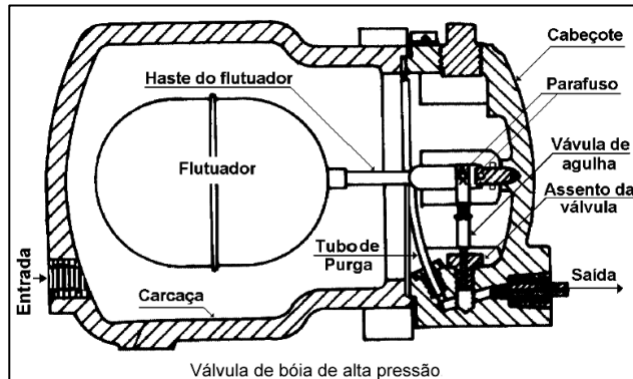


Tem como principais problemas, vazamentos devidos à corrosão ou falha nas juntas soldadas. A bóia pode implodir em razão de altas pressões, como dito

anteriormente. A agulha, o assento ou ambos podem desgastar-se, permitindo o vazamento contínuo de refrigerante. Em ambos os casos, ela permitirá a passagem do refrigerante continuamente e o seu retorno ao compressor. A bóia pode operar de maneira incorreta, devido à ebulição do refrigerante. Nestes casos, o conjunto da bóia é localizado em uma câmara separada.

Válvula de Bóia do lado de Alta Pressão

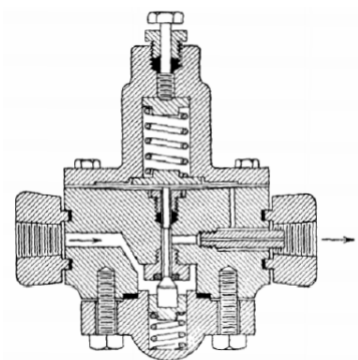
A válvula de bóia do lado de alta pressão, figura ao lado, contém os mesmos elementos da do lado de baixa pressão: a bóia, a transmissão articulada e a válvula de agulha. A diferença em relação à de baixa pressão está em sua localização no



lado de alta pressão do sistema e no fato de que a válvula é aberta quando o nível de líquido aumenta. Ela é instalada abaixo do condensador e transfere o refrigerante líquido para o evaporador tão logo ele é condensado, mas não permite a passagem de vapor não condensado. Isto requer que a maior parte da carga de refrigerante no sistema se localize no evaporador. Como a válvula de bóia do lado de alta pressão normalmente dá passagem a todo o refrigerante líquido que chega a ela, não seria praticável instalar essa bóia em um sistema de evaporador com circuitos múltiplos em paralelo, pois não haveria maneira de assegurar distribuição adequada do refrigerante.

4 – Válvula de Expansão de Pressão Constante

A válvula de expansão de pressão constante, mantém uma pressão constante na sua saída, inundando mais ou menos o evaporador, em função das mudanças de carga térmica do sistema. A pressão constante, característica da válvula, resulta da interação de duas forças opostas: pressão do fluido frigorífico no evaporador e da pressão de mola, como mostrado na figura. A pressão do fluido frigorífico



exercida sobre um lado do diafragma age para mover a agulha na direção de fechamento do orifício da válvula, enquanto a pressão de mola, agindo sobre o lado oposto do diafragma, move a agulha da válvula na direção de abertura do orifício.

É importante observar que as características de operação da válvula de expansão de pressão constante são tais que esta fechará suavemente quando o compressor é desligado e permanecerá fechada até que o compressor volte a ser ligado. Por questões ligadas ao seu princípio de operação, as válvulas de expansão de pressão constante se adaptam melhor a aplicações onde a carga térmica é aproximadamente constante, por conseguinte, elas têm de uso limitado.

Sua utilidade principal é em aplicações onde a temperatura de vaporização deve ser mantida constante, em um determinado valor, para controlar a umidade em câmaras frigoríficas ou evitar o congelamento em resfriadores de água. Elas também podem ser vantajosas quando é necessária proteção contra sobrecarga do compressor. A principal desvantagem deste tipo de válvula é sua eficiência relativamente baixa, quando comparada com os outros tipos de controle de fluxo, especialmente em condições de carga térmica variável.

5 – Tubos Capilares

O tubo capilar é um tubo simples de cobre, de diâmetro muito pequeno, que une a linha de alta pressão à de baixa pressão.

Nos sistemas de pequena capacidade (geladeiras, aparelhos de ar condicionado de janela, freezers, etc.) o dispositivo de expansão mais utilizado é o tubo capilar, o qual nada mais é que um tubo de pequeno diâmetro, com determinado comprimento, que conecta a saída do condensador com a entrada do evaporador.

O diâmetro interno de tubos capilares varia de 0,5 a 2,0 mm, com comprimentos desde 1,5 até 3,5 m e pelo menos 1,2 m do comprimento total devem ser soldados na linha de aspiração a fim de se obter um resfriamento às custas dos vapores frios provenientes do evaporador (troca de calor).

Para refrigerantes halogenados os capilares geralmente são de cobre. Nos últimos anos, observa-se uma tendência da utilização de capilares mais curtos, onde a relação L/D_i é da ordem de 3 a 20. Estes capilares mais curtos têm sido fabricados de latão ou outras ligas a base de cobre.

Quando se utiliza tubo capilar em um sistema de refrigeração, devem ser tomados cuidados adicionais com a instalação. A presença de umidade, resíduos sólidos ou o estrangulamento do componente por dobramento, poderão ocasionar obstrução parcial ou total na passagem do refrigerante através do capilar, prejudicando o desempenho do equipamento. Também pode ser utilizado um filtro de tela metálica antes do capilar, o qual tem a função de reter impurezas e materiais estranhos, evitando o entupimento do mesmo.

O tubo capilar difere de outros dispositivos de expansão também pelo fato de não obstruir o fluxo de refrigerante para o evaporador quando o sistema está desligado. Quando o compressor é desligado, ocorre equalização entre as pressões dos lados de alta e baixa através do tubo capilar, e o líquido residual do condensador passa para o evaporador. Estando este líquido residual à temperatura de condensação, se a sua quantidade for demasiadamente grande provocar-se-á o degelo do evaporador e/ou ciclagem curta do compressor. Além disso, há ainda o risco de que, ao se ligar o compressor, algum líquido passe do evaporador para o compressor.

Por estas razões, a carga de refrigerante em um sistema que usa tubo capilar é crítica, não sendo empregado nenhum tanque coletor entre o condensador e o tubo capilar. A carga de refrigerante deve ser a mínima possível para satisfazer os requisitos do evaporador e ao mesmo tempo manter uma vedação, com refrigerante líquido, da entrada do tubo capilar no condensador.

Qualquer refrigerante em excesso somente irá estagnar-se no condensador com as seguintes conseqüências:

- ✚ Durante a operação, haverá uma elevação da pressão de condensação, reduzindo-se assim a eficiência do sistema;
- ✚ Haverá também uma tendência a uma maior vazão de refrigerante através do capilar, com uma conseqüente variação da capacidade frigorífica;
- ✚ Pode haver sobrecarga do motor do compressor;
- ✚ Durante o tempo em que o sistema está desligado, todo o líquido excedente passará do condensador para o evaporador com as conseqüências já vistas acima.

Devido à carga crítica de refrigerante, um tubo capilar nunca deve ser empregado em conjunto com um compressor do tipo aberto. As fugas de refrigerante ao redor da vedação do eixo poderiam tornar o sistema inoperante dentro de um curto

espaço de tempo. O uso de tubos capilares em sistemas divididos, onde o compressor está localizado a uma certa distância do evaporador, também deve ser evitado, pois são difíceis de se carregar com exatidão, as longas linhas de sucção e de líquido requerem uma grande carga de refrigerante, o qual se concentraria no evaporador quando o sistema estivesse desligado.

Com relação aos condensadores projetados para operar com tubos capilares, devem ser observados os seguintes requisitos:

- ✚ O líquido deve ser capaz de fluir livremente para o evaporador durante quando o sistema está desligado. Caso contrário, haverá vaporização do líquido no condensador e condensação no evaporador, acelerando ainda mais o degelo.
- ✚ Os tubos devem ter o menor diâmetro possível de modo a se conseguir uma pressão de condensação adequada com uma quantidade mínima de refrigerante.

Com relação ao evaporador, deve-se prever um dispositivo para acúmulo de líquido na sua descarga a fim de evitar que este passe para o compressor durante a partida. O líquido se vaporiza no acumulador e chega ao compressor somente sob a forma de vapor. A troca de calor entre o tubo capilar e a linha de sucção do compressor garante um maior subresfriamento do líquido e minimiza a formação de vapor no interior do capilar. Assim, previne-se a redução da vazão de refrigerante.

Vantagens dos Tubos Capilares:

- ✚ Simplicidade (não apresentam partes móveis);
- ✚ Baixo custo;
- ✚ Permitem a equalização das pressões do sistema durante as paradas (motor de acionamento do compressor pode ser de baixo torque de partida);
- ✚ Redução da quantidade e custo do refrigerante e eliminação da necessidade de um tanque coletor.

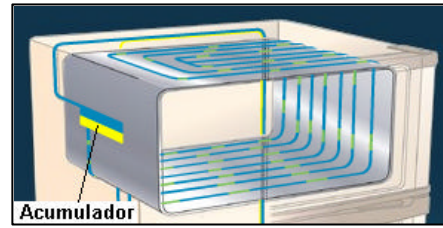
Desvantagens dos Tubos Capilares:

- ✚ Impossibilidade de regulagem para satisfazer distintas condições de carga;
- ✚ Risco de obstrução por matéria estranha;
- ✚ Exigência de uma carga de refrigerante dentro de limites estreitos;
- ✚ Redução da eficiência operacional para qualquer variação da carga térmica ou da temperatura de condensação.

6 – Outros acessórios

Acumulador de sucção

Em alguns evaporadores a ação do dispositivo de expansão não é suficientemente rápida para acompanhar as variações de carga. Algum líquido pode escapar do evaporador pela



linha de sucção e provocar danos ao compressor. O acumulador é uma espécie de armadilha destinada a apanhar este líquido, antes que ele atinja o compressor. O acumulador de sucção consiste num recipiente que acumula e evapora o refrigerante líquido.

Visor de líquido

São peças com visores para verificar a passagem de líquido e a presença de umidade. São colocados na saída do reservatório de líquido ou na entrada do



evaporador, permitindo verificar se a carga de refrigeração está completa e se existe umidade no sistema.

As seguintes cores são utilizadas para indicar a quantidade de umidade no sistema:

- ✚ Verde - Ausência de umidade;
- ✚ Amarelo - Presença de umidade;
- ✚ Marrom - Contaminação total do sistema.

Separador de óleo

A finalidade do separador de óleo (figura ao lado) é reduzir a quantidade de óleo em circulação no sistema e deste modo aumentar a sua eficiência. A quantidade de óleo em circulação pode afetar a transferência de calor do evaporador, criar uma falsa ação de flutuação ou mesmo afetar o funcionamento da válvula de expansão. Nestes casos, um separador de óleo reduzindo a circulação de óleo dentro do sistema pode melhorar a eficiência do evaporador.



No separador, a mistura de óleo e fluido refrigerante quente vindo do compressor entra e atravessa um tubo perfurado. A mistura bate contra a tela onde o óleo geralmente se separa do vapor. O óleo é drenado pela parte inferior da tela para um pequeno reservatório no separador. O vapor passa através da tela e deixa o separador pela parte superior. Quando o nível do óleo sobe no reservatório, a bóia do flutuador também sobe e o óleo volta ao compressor através de um orifício.

Esses equipamentos são muito eficientes, deixando apenas uma quantidade mínima de óleo escoar o longo do ciclo.

São comumente usados em instalações de grande porte.

As partes principais de um separador de óleo são:

- ✚ Tanque ou cilindro externo revestido por um isolamento térmico de maneira a impedir a condensação do vapor;
- ✚ Filtros que coletam o óleo;
- ✚ Válvula de agulha controlada por bóia;
- ✚ Linha de retorno do óleo ao compressor.

Filtros secadores

O filtro secador pode ser considerado um dos cinco componentes básicos de um sistema de refrigeração. Sua principal função é reter resíduos de umidade e eventuais partículas sólidas existentes no interior da unidade selada.



A importância do uso de um filtro secador de boa qualidade é evidente quando se analisam os diversos aspectos das unidades seladas. Dificilmente se consegue retirar totalmente a umidade dos sistemas de refrigeração, até mesmo quando se faz vácuo por longo tempo com bombas de alto vácuo.

Os melhores processos de fabricação, de manuseio de fluido refrigerante e dos óleos lubrificantes não são totalmente perfeitos. Por esse motivo, a presença de traços de umidade é considerada normal nesses componentes e o mesmo acontece com os compressores.

Numa operação normal de carga do fluido refrigerante, por exemplo, uma pequena quantidade de ar úmido se infiltra na unidade selada. Geralmente, esses resíduos de umidade só se despreendem ao longo do tempo. Assim, para evitar que os

resíduos de umidade provoquem obstruções parciais ou totais do tubo capilar, deve-se utilizar um filtro secador de boa qualidade, sempre que – por qualquer motivo – a unidade selada for aberta.

Um grande número de usuários de sistemas de refrigeração faz reclamações do tipo: “Meu refrigerador (ou freezer, bebedouro, etc.) não é mais o mesmo depois que foi trocado o compressor”. O mais provável, nesses casos, é que o refrigerista não tenha trocado o filtro secador por um novo, ou tenha instalado um filtro secador muito pequeno ou de má qualidade. Ou, ainda, pode ter deixado o sistema aberto por um tempo excessivamente longo. Quando a umidade entope o tubo capilar totalmente, o sistema deixa de funcionar e o defeito é facilmente identificado. Quando a obstrução do capilar é parcial, o rendimento do sistema cai e o consumo aumenta. Nesse caso, a identificação do problema exige uma análise um pouco mais detalhada. Os sintomas são semelhantes à falta de gás ou falta de compressão (baixa capacidade do compressor). Geralmente os técnicos mal informados atribuem a culpa da falta de rendimento ao compressor ou à falta de gás. Nesses casos, porém, a substituição do compressor ou da carga de gás resultará em perda de tempo e dinheiro, pois o verdadeiro problema não será resolvido.

Os filtros com Molecular Sieves (MS) como dessecante são normalmente os mais utilizados em pequenos sistemas de refrigeração, ver tabela a seguir.

MS indicado para os fluidos refrigerantes mais comuns

Refrigerante	Filtro secador recomendado - Molecular Sieves
R 12	XH5, XH6 ou Universal (MS594)
R 134a	XH7 , XH9 ou Universal (MS594)
R 600a	XH5, XH6 ou Universal (MS594)
R 22 e R 502	XH6, XH7,XH9 ou Universal (MS594)
Blends(Misturas) - R 401A(Suva MP39) - R 401B (Suva MP66) - R 409A (FX56) - R 413A (ISCEON-49) - R 404A (HP62) - R 407C	XH9 ou Universal (MS595)

Os dessecantes para filtros secadores em sistemas de refrigeração devem ter as seguintes características:

- ✚ **Estabilidade mecânica** – o dessecante deve ser resistente ao desgaste para evitar que os choques entre as esferas soltem partículas (pó), que podem obstruir o tubo capilar, penetrar entre outras partes móveis do compressor, provocando desgastes.
- ✚ **Estabilidade Química** – o dessecante deve ser quimicamente estável, não pode reagir com o fluido refrigerante, com o óleo lubrificante do compressor ou com outros materiais do sistema de refrigeração.
- ✚ **Quantidade adequada** – o filtro secador deve conter a quantidade adequada de MS em relação ao volume interno do corpo do filtro. Se existirem espaços vazios, o fluxo do fluido refrigerante poderá causar movimento das esferas de MS, o que aumentará o risco da liberação de partículas (pó de MS).

É muito importante estar atento à posição do filtro secador. Ele deve ser instalado de maneira a evitar a movimentação das esferas de MS. Conseqüentemente, o fluxo do fluido refrigerante deve se dar sempre no sentido da força da gravidade.

Devido a uma série de pequenas anomalias, é sempre possível que na saída do condensador, além do fluido refrigerante em fase líquida, exista uma certa quantidade em estado gasoso. Instalado na horizontal (B), o líquido fica na parte de baixo e o gás preenche a parte superior da pequena câmara, que contém uma rede e o dessecante que formam o elemento filtrante (ver figura a seguir).

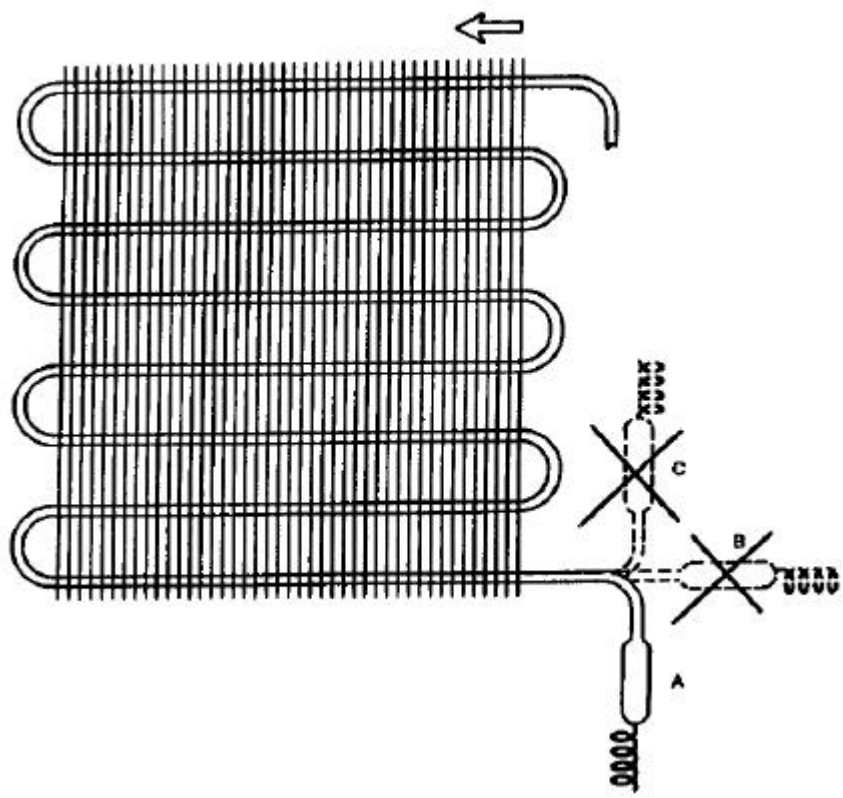
Na vertical (C), a situação seria pior, pois a porção do refrigerante em fase de gás tende a escapar “borbulhando” o material dessecante e encurtando a vida do filtro.

Tanto na posição (A) como na (B) o refrigerante entra apenas em fase líquida, o que equaliza as pressões no menor tempo possível. As instabilidades de funcionamento também são reduzidas pela entrada exclusiva da fase líquida do fluido refrigerante, sem que haja uma variação constante entre líquido e gás.

Entretanto, a posição (B) ainda permite um borbulhamento, mesmo que parcial, e por isso não é recomendada.

A posição correta de instalação (A) – que garante a equalização ideal de pressões – também reduz o desgaste do dessecante pelo atrito. Nessa posição, o líquido refrigerante flui, é claro, no sentido da gravidade e pressiona o dessecante contra a rede, mantendo-o estável. O eventual desprendimento de resíduos do dessecante, que ocorre

nas posições (B) e (C), pode obstruir o tubo capilar ou provocar desgaste nos componentes internos do compressor.



BIBLIOGRAFIA

- 1°. Aleksandro Guedes de Lima e Márcio Gomes da Silva. *Introdução à Refrigeração Doméstica*. CEFET-PB;
- 2°. Silva, J. G. *Introdução à Tecnologia da Refrigeração e da Climatização*. 1ª edição. Editora Artliber, São Paulo, 2003;
- 3°. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – Faculdade de Engenharia. Departamento de Engenharia Mecânica e Mecatrônica – *Compressores*;
- 4°. *Refrigeração e ar condicionado – Parte I*. Prof. Dr. Marcelo José Pirani – UFBA;
- 5°. *Refrigeração e ar condicionado – Parte I e Parte II*. Prof. Luiz Carlos Martinelli Jr. – UNIJUÍ;
- 6°. Carlos A. Lauand. *Manual Prático de Geladeiras - Refrigeração Industrial e Residencial*. Editora Hemus, 2004;
- 7°. *Revista Bola Preta* – Embraco, nº 71, junho/2002, disponível em: www.bolapreta.com.br;
- 8°. *Revista Bola Preta* – Embraco, nº 83, junho/2006, disponível em: www.bolapreta.com.br;
- 9°. *Revista Fic Frio* – Tecumseh, nº 70, agosto/2006, disponível em: www.tecumseh.com.br;
- 10°. Informativo técnico da Embraco - *Refrigerantes hidrocarbonos como substitutos ao R-12*. Código 93650, ago/95 - revisão nº 00, página 03 de 03;
- 11°. *eLearningFull* – Software da Tecumseh, disponível em: www.tecumseh.com.br.