

PEDRO ADRIANO BERBEL GARCIA DA COSTA

N. CLASS.....
CUTTER.....
ANO/EDIÇÃO.....

**COMPRESSOR SCROLL E ALTERNATIVO EM ULTRACONGELADORES
PROFISSIONAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para a obtenção do grau de bacharel, com orientação do Prof. Me. Luiz Carlos Vieira Guedes.

**Varginha
2013**

FEPESMIG

PEDRO ADRIANO BERBEL GARCIA DA COSTA

**COMPRESSOR SCROLL E ALTERNATIVO EM ULTRACONGELADORES
PROFISSIONAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para a obtenção do grau de bacharel pela banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: ___/___/___

Prof. Me. Luiz Carlos Vieira Guedes

Profa. Esp. Luciene de Oliveira Prospero

Prof. Esp.

OBS.:

Dedico este trabalho aos meus pais, irmãos e colegas, e agradeço por todo apoio e motivação que me deram. Este momento de felicidade e conquista não seria possível se não fosse por vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu Orientador Luiz Carlos Vieira Guedes e corpo docente pelo auxílio. Aos amigos que estiveram ao meu lado durante todos esses anos. A toda minha família que foi fonte de conhecimento e inspiração para a realização deste trabalho.

Grupo Educacional UNIS

RESUMO

Este trabalho tem como objeto de estudo os ultracongeladores profissionais que atendem ao setor de alimentação. O setor de fast food divulgou que, em 2012, aproximadamente 27 milhões de brasileiros gastaram 30% da renda mensal em refeições externas. Com isso a utilização dos ultracongeladores para produção de alimentos congelados e conservação dos mesmo tem aumentado e exigindo maior qualidade e ultracongeladores mais eficientes. Com o objetivo de apresentar resultados da comparação dos compressores scroll com os compressores alternativos com estudo para um ultracongelador para 50Kg de pão massa por hora. Este trabalho objetiva justificar a troca do compressor alternativo pelo compressor scroll visando economia e melhor eficiência. O trabalho aponta que o compressor scroll possui menor consumo e eficiência compatível desde que para uso em ultracongeladores garantindo uma melhoria no projeto.

Palavras chaves: Ultracongeladores Profissionais. Compressor. Consumo. Eficiência.

ABSTRACT

This work aims to study the ultracongeladores professionals serving the food industry. The fast food sector reported that in 2012, approximately 27 million Brazilians spent 30 % of monthly income on meals outside . Thus the use of ultracongeladores for production and storage of frozen food has increased and even demanding higher quality and more efficient ultracongeladores. In order to present results of the comparison of scroll compressors with reciprocating compressors to study for ultracongelador to 50Kg bread dough per hour. This paper aims to justify the replacement of reciprocating compressor scroll compressor aimed at economy and better efficiency .The paper points out that the scroll compressor has lower consumption and efficiency compatible since ultracongeladores for use in ensuring an improvement in the project.

Keywords: Ultracongeladores Professionals. Compressor. Consumption. Efficiency.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Circuito básico de refrigeração.....	14
Figura 02 - Tipos de condensador: a) ar; b) água tipo carcaça tubos; c) água tipo placas; d) evaporativo.....	15
Figura 03 - Dessuperaquecimento em um ciclo de refrigeração.....	16
Figura 04 - Condensação em um ciclo de refrigeração.....	17
Figura 05 - Subresfriamento em um ciclo de refrigeração.....	18
Figura 06 - Válvula termostática.....	19
Figura 07 - Tubo capilar.....	19
Figura 08 - Tubo capilar dimensionado inadequadamente.....	20
Figura 09 - Tubo capilar dimensionado corretamente.....	20
Figura 10 - Evaporador trabalhando inundado.....	23
Figura 11 - Evaporador trabalhando seco.....	24
Figura 12 - Evaporador de superfície primaria.....	24
Figura 13 - Evaporador de superfície estendida.....	25
Figura 14 - Evaporador de placas.....	26
Figura 15 - Evaporador tubular.....	26
Figura 16 - Evaporador de baudelot.....	27
Figura 17 - Tipos de compressores.....	28
Figura 18 - Compressor parafuso.....	29
Figura 19 - Engrenagens helicoidais do compressor parafuso.....	29
Figura 20 - Compressor de palheta simples.....	30
Figura 21 - Compressor de múltiplas palhetas.....	30
Figura 22 - Compressor centrífugo.....	31
Figura 23 - Compressor alternativo.....	32
Figura 24 - Ciclos do pistão do compressor alternativo.....	32
Figura 25 - Compressor scroll.....	33
Figura 26 - Espirais do compressor scroll.....	34
Figura 27 - Ultracongelador e resfriador rápido.....	35
Figura 28 - Envelope genérico de operação do compressor.....	37
Figura 29 - Gráfico genérico de cap. frigorífica (kW) x temp. de evaporação (°C).....	37
Figura 30 - Gráfico de temp. de evap. (°C) x Pot. (kW) x trabalho de comp. (kJ/kg).....	38

Figura 31 - Envelope compressor alternativo modelo NTZ.....	39
Figura 32 - Envelope compressor scroll modelo ZF.....	39
Figura 33 - Cap. e pot. x temp. de evap. condensando a 45°C comp. alternativo NTZ.....	41
Figura 34 - Cap. e pot. x temp. de evap. condensando a 45°C comp. scroll ZF.....	41
Figura 35 - Dimensões do compressor alternativo NTZ 136	43
Figura 36 - Dimensões do compressor scroll ZF 15.....	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 HISTÓRICO DE REFRIGERAÇÃO	14
3 CICLO DE REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL.....	15
3.1 Componentes do ciclo de refrigeração.....	16
3.1.1 Condensadores	16
3.1.2 Dispositivos de Expansão	19
3.1.3 Evaporadores.....	25
3.1.4 Compressores.....	29
3.1.4.1 Compressor parafuso	30
3.1.4.2 Compressor de palheta.....	32
3.1.4.3 Compressor centrífugo	33
3.1.4.4 Compressor alternativo.....	33
3.1.4.5 Compressores scroll	35
4 ULTRACONGELADORES PROFISSIONAIS	37
5 HIPÓTESE.....	39
6 MATERIAIS ANALÍTICOS.....	40
7 RESULTADOS E ANÁLISES.....	42
7.1 Envelope de operação.....	42
7.2 Capacidade conforme evaporação e potência	44
7.3 Dimensão da carcaça.....	45
8 CONCLUSÃO.....	48
REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

Neste estudo será analisado o diferente comportamento dos compressores scroll e alternativo, quando aplicados em ultracongelador profissionais.

Os ultracongeladores profissionais são equipamentos de pequeno porte destinados a congelamento e resfriamento rápido na indústria alimentícia. Com o mercado de fast food em ascensão a utilização desses equipamentos tem se tornado cada vez mais constante e necessária. Juntamente com essa utilização começa a se torna mais necessário a busca de uma melhor eficiência, baixo consumo, economia de espaço, entre outras preocupações que o mercado alvo destes equipamento se preocupam cada vez mais, visto todas essas exigências neste estudo será analisado qual a melhor opção de compressor, alternativo ou scroll, irá atender melhor.

Para se ter sucesso na análise das melhorias de cada modelo estudado, será analisado diversos pontos importantes para que possa ter uma avaliação correta e conclusiva para o melhor modelo a ser aplicado.

De forma geral a seguir serão expostos estudos conclusivos sobre qual modelo de compressor apresenta melhores resultado quando aplicados em ultracongelador profissionais, levando em consideração o ambiente que este equipamento será utilizado, espaço físico ocupado, rendimento energético, entre outros pontos fundamentais para um fabricante e para o consumidor final.

2 HISTÓRICO DE REFRIGERAÇÃO

Os primeiros sistemas de compressão surgiram no Egito em 1500 A.C., eram os foles de compressão de ar acionados pelos pés, e permaneceram ativos por cerca de 2000 anos.

Em 1762 John Smeaton registrou a patente de um compressor de ar movido por uma roda d'água.

Os primeiros sistemas e compressores de refrigeração foram desenvolvidos por volta de 1860 a 1875. Os princípios de refrigeração continuam os mesmos, no entanto devido exigências do mercado houve inúmeras melhorias construtivas. A aplicação de diferentes tipos de fluidos em sistemas de refrigeração marcou como uma das principais melhorias.

Os Refrigerantes são substâncias químicas responsáveis pelo transporte de energia em um ciclo de refrigeração, onde o calor absorvido pelo refrigerante em um local é rejeitado em outro (KOCH E SAUER NETO, 2009).

Para esse estudo estaremos analisando os compressores recíprocos e scrolls no sistema de refrigeração, os scrolls, devido sua estrutura e princípio de funcionamento apresenta algumas particularidades positivas em relação aos recíprocos. A substituição dos compressores recíprocos pelos scrolls tem a finalidade de apontar melhorias nos equipamentos de refrigeração do setor alimentícios dando maior diferencial de mercado para o equipo.

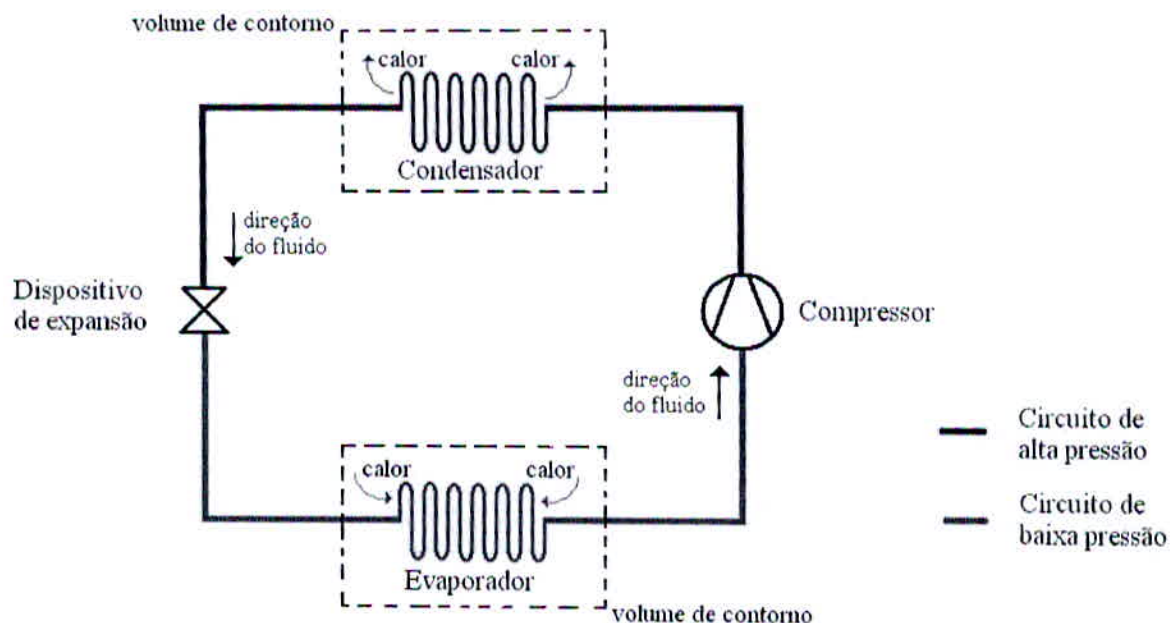
Os compressores representam uma função de grande importância na indústria alimentícia em alguns casos para conservação de alimentos, melhor aproveitamento de mercadorias e garantir melhor qualidade ao produto final para o consumidor. Para sistemas de refrigeração e equipamento ao qual o compressor é destinado existe uma gama infinita de tipos e faixas de operação a ser escolhida, sendo determinado de acordo com aplicação que o compressor será submetido pode ser ela: resfriamento, congelamento, resfriamento rápido, congelamento rápido ou até mesmo condicionamento de ar ambiente.

3 CICLO DE REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL

Pode-se dizer que os ciclos de refrigeração tendem a reagir com o meio ambiente, a maioria se encontra de diferentes maneiras devido à evaporação proporcionada pela temperatura exigida pelo produto e à condensação proporcionada pela temperatura e umidade do ambiente externo, em consequência, na busca de se manter com o mais alto nível de durabilidade dos componentes, o mesmo reage com o produto e/ou meio (fig. 01) fazendo a troca de temperatura, que na maioria das vezes causa como resultado a variação das pressões do sistema, com a maior eficiência possível e melhor dimensionamento de rejeição e absorção de calor possível.

Pode-se chamar de Ciclo de Refrigeração, uma situação onde, em circuito fechado, o gás refrigerante, transformando-se sucessivamente em líquido e vapor, possa absorver calor a baixa temperatura e pressão pela sua evaporação e rejeitar calor a alta temperatura e pressão pela condensação. (MARTINELLI JUNIOR, 2008).

Figura 01 – Circuito básico de refrigeração



Fonte: (HENKLEIN, 2006, p.23).

Os ciclos de refrigeração requerem de diversos ajustes e dimensionamentos cuidadosos para que se evite sobrecarga em quaisquer componentes que possa levar o mesmo ao baixo rendimento e desgaste precoce.

3.1 Componentes do ciclo de refrigeração

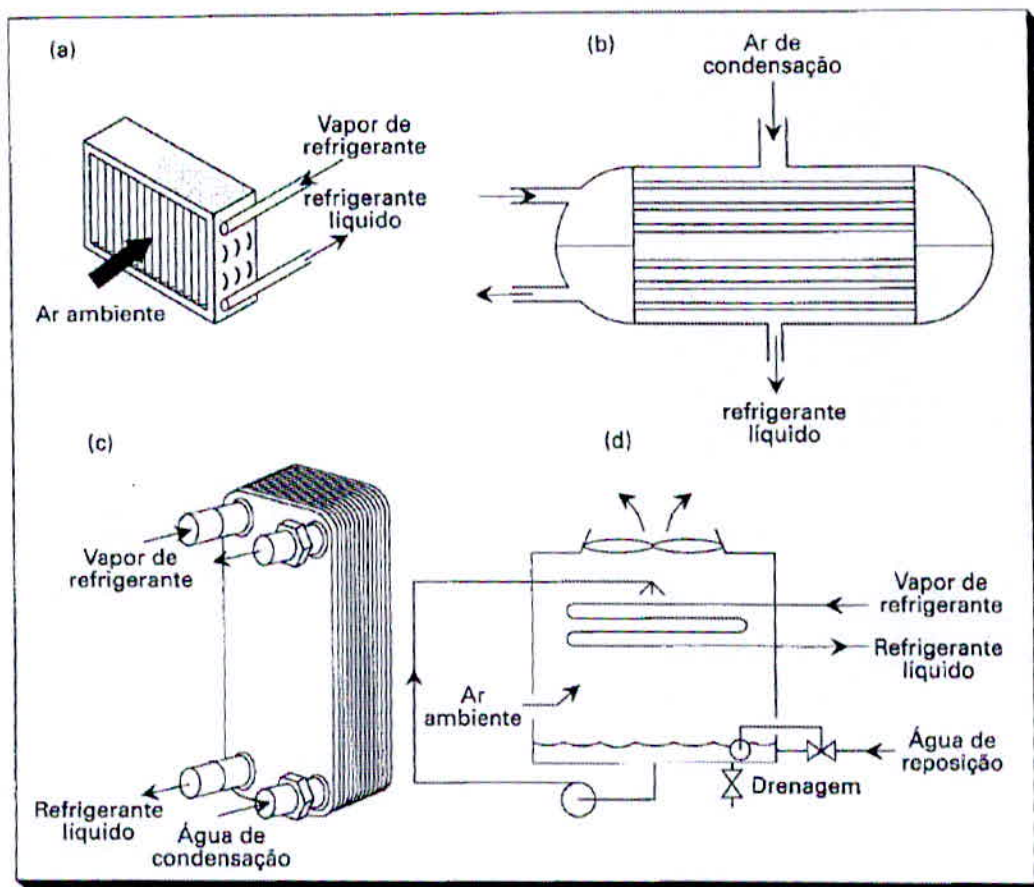
O ciclo de refrigeração é formado basicamente por quatro componentes principais aos quais sem eles não há existência do mesmo. Esses componentes são: compressor, condensador, dispositivo de expansão e evaporador (fig. 01). Cada componente possui uma função diferente e fundamental permitindo que o fluido refrigerante altere suas propriedades térmicas de acordo com a pressão no instante e o componente que o mesmo está transitando, desta forma transportando calor de um local para outro e fazendo a troca para que então o ciclo esteja em pleno funcionamento e cumprindo com o objetivo principal.

3.1.1 Condensadores

Os condensadores são componentes responsabilizados pela transformação do Fluido de vapor superaquecido para líquido saturado. Esta transformação pode ocorrer de diversas maneiras de acordo com a variação do tipo de condensador utilizado (fig. 02). Na refrigeração industrial existem basicamente três tipos de condensador:

- a) Resfriado a ar;
- b) Resfriado a água;
- c) Evaporativos.

Figura 02 – Tipos de condensador: a) ar; b) água tipo carcaça tubos; c) água tipo placas; d) evaporativo.



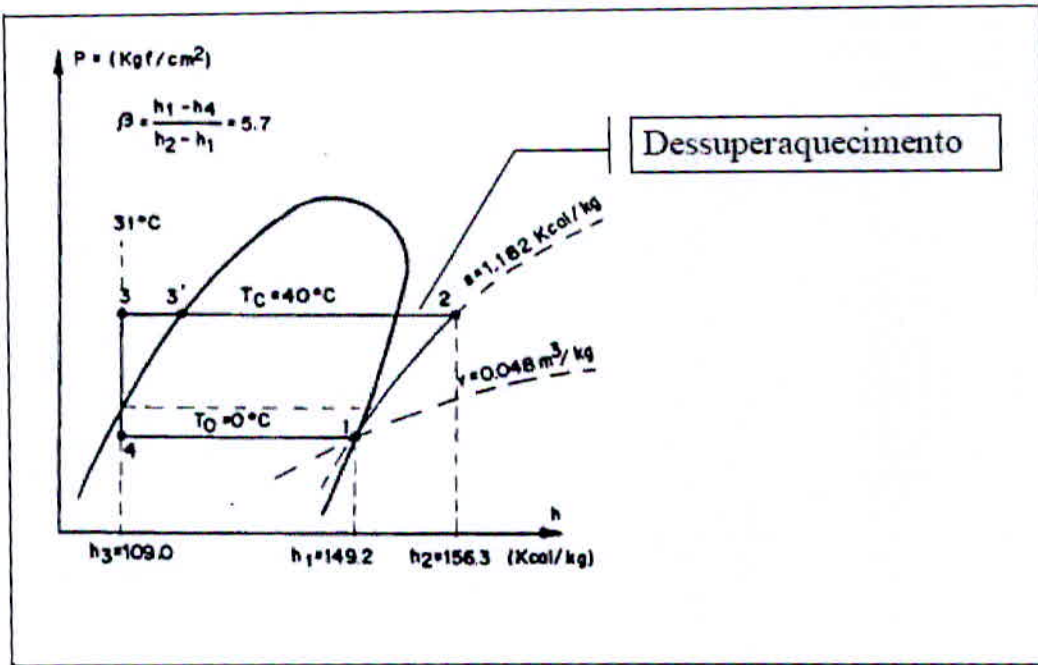
Fonte:(STOECKER, 2002, p.189).

O processo de transformação de estado do fluido refrigerante deve se a um longo período de três tratativas do Fluido:

- Dessuperaquecimento;
- Condensação;
- Sub-resfriamento.

A tratativa inicial feita no condensador é o dessuperaquecimento, que trata-se de baixar a temperatura do vapor saturado em alta temperatura comprimido pelo compressor até que o mesmo atinja a temperatura de mudança de estado do fluido (fig. 03).

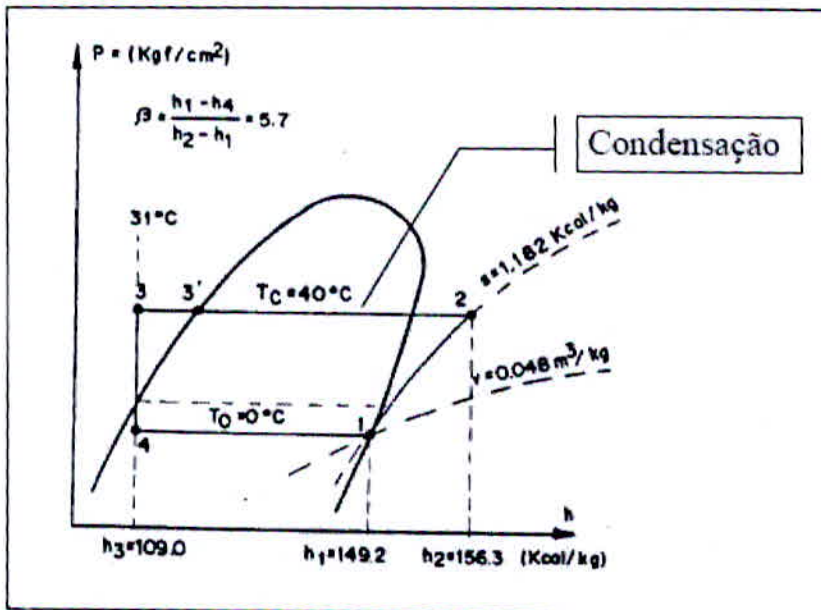
Figura 03 – Dessuperaquecimento em um ciclo de refrigeração.



Fonte: (MARTINELLI, 2008, p.64).

A segunda tratativa no condensador é o processo de condensação do fluido transformando o vapor em líquido na temperatura de calor latente do mesmo para que ocorra a mudança de estado (fig. 04).

Figura 04 – Condensação em um ciclo de refrigeração.

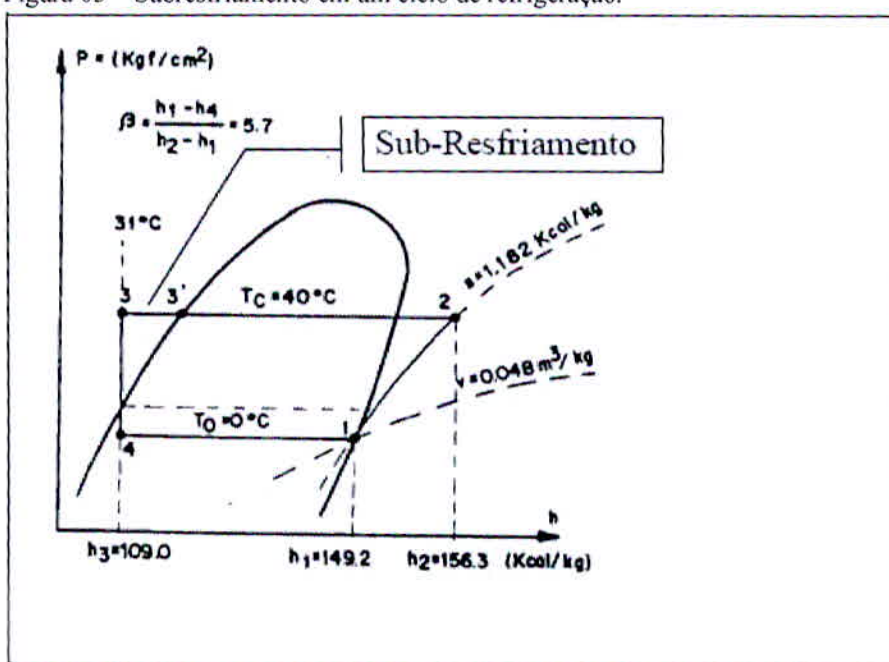


Fonte: (MARTINELLI, 2008, p.65).

E por último a tratativa do sub-resfriamento (fig. 05) que se trata de baixar a temperatura do fluido além da temperatura de calor latente para que o mesmo mantenha seu estado como líquido na transição através da tubulação. O processo de sub-resfriamento é um processo de grande importância, pois garante que chegue 100% de líquido no dispositivo de expansão assegurando um melhor rendimento e aproveitamento do sistema.

O sub-resfriamento é a condição em que o líquido refrigerante está mais frio que a temperatura mínima (temperatura de saturação) necessária para evitar que entre em ebulição e, portanto, a mudança do líquido para uma fase de gasosa. A quantidade de sub-resfriamento, em uma determinada condição, é a diferença entre sua temperatura de saturação e a temperatura real do líquido refrigerante. (MIPAL INDÚSTRIA DE EVAPORADORES).

Figura 05 – Subresfriamento em um ciclo de refrigeração.



Fonte: (MARTINELLI, 2008, p.65).

3.1.2 Dispositivos de expansão

Os dispositivos de expansão são responsáveis por reduzir a temperatura do fluido líquido liberado pelo condensador próximo a temperatura de evaporação para que o mesmo possa evaporar no evaporador realizando a troca de calor com o produto/ambiente. Estes dispositivos devem ser corretamente dimensionados pois são eles juntamente com o compressor que determinam basicamente toda capacidade frigorífica do sistema.

Existem dois dispositivos que podem ser utilizados:

- a) Válvula de Expansão;

b) Tubo Capilar.

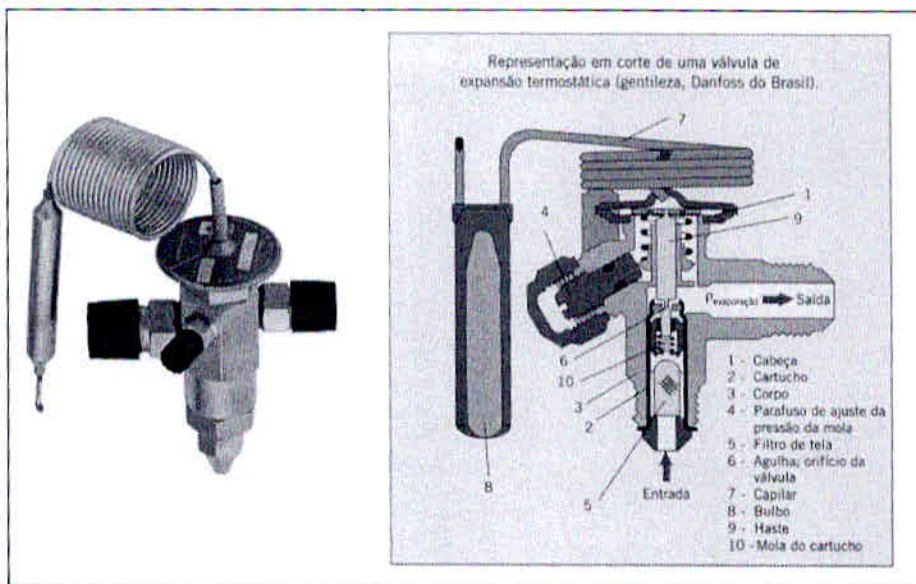
As válvulas de expansão de expansão são classificadas basicamente como manuais e automáticas. Na maioria dos sistemas de refrigeração industrial ou comercial utilizam-se válvulas automáticas ou tubo capilar para expansão do fluido.

As válvulas de expansão geralmente são munidas de um dispositivo medidor para regulagem da passagem do fluido de acordo com a necessidade exigida pelo evaporador.

Válvulas como as termostáticas (fig. 06) são de grandes utilidades em refrigeração industrial, pois possuem uma boa precisão de regulagem, porém sem descartar o bom dimensionamento que deve ser feito.

A válvula de Expansão Termostática (também conhecida por Válvula de Expansão Térmica e Válvula de Superaquecimento) é, basicamente, uma válvula de expansão automática com a característica adicional de ter um dispositivo que corrige a quantidade de líquido a ser evaporado na serpentina de modo que esta corresponda à carga no evaporador. (MARTINELLI JUNIOR, 2008).

Figura 06 – Válvula termostática.



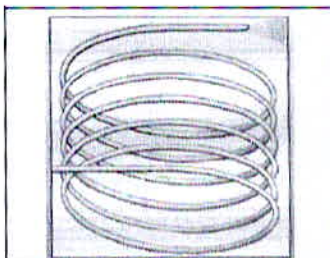
Fonte: (MARTINELLI JUNIOR, 2008, p.91).

Os tubos capilares (fig. 07) são dispositivos de expansão utilizados em sistemas de refrigeração industriais de pequeno porte onde se pode ter uma expansão constante sem necessidade de regulagem, onde as válvulas podem ser consideradas um ponto negativo devido, custo, tamanho, dimensionamento, manutenção e possíveis falhas.

O capilar, Figura 55, é um dispositivo de expansão e, como tal, tem duas finalidades: reduzir a pressão do refrigerante líquido e regular a quantidade (vazão) da mistura líquido/gás que entrará no evaporador, baseado no princípio de que uma massa de

refrigerante no estado líquido passará mais facilmente através de um capilar que a mesma massa de refrigerante no estado gasoso. (MARTINELLI JUNIOR, 2008).

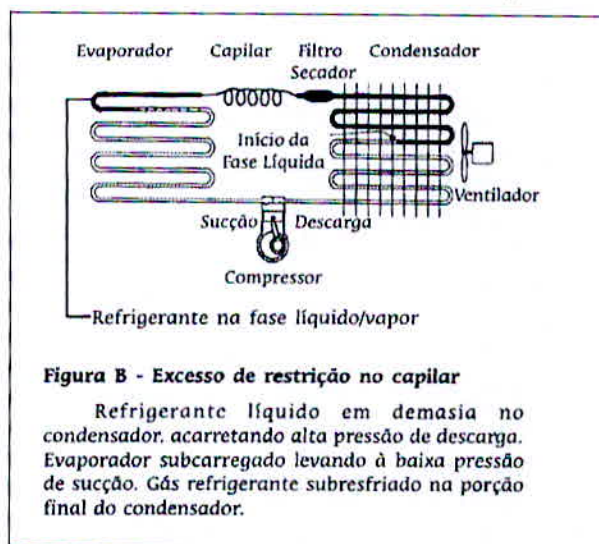
Figura 07 – Tubo Capilar.



Fonte: (MARTINELLI JUNIOR, 2008, p.81).

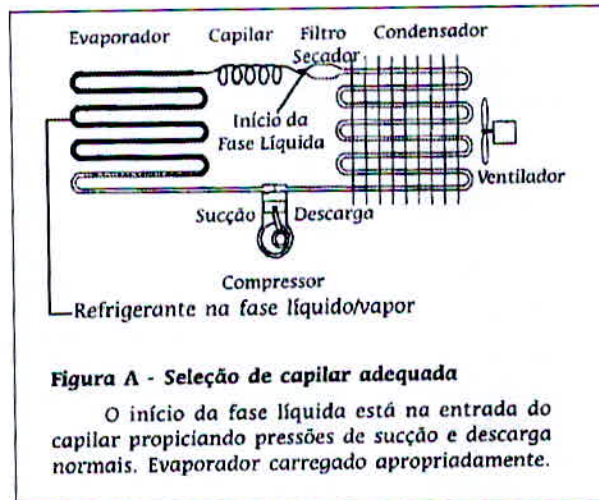
Os tubos capilares devem ser dimensionados de acordo com seu diâmetro e comprimento para a carga que será exigida pelo evaporador e logo pela carga a ser refrigerada, este dimensionamento deve ser o mais correto possível (fig. 08 e fig. 09), pois o mesmo não se auto ajustará para garantir o melhor aproveitamento como as válvulas automáticas.

Figura 08 – Tubo Capilar dimensionado inadequadamente.



Fonte: (MARTINELLI JUNIOR, 2008, p.83).

Figura 09 – Tubo Capilar dimensionado corretamente



Fonte: (MARTINELLI JUNIOR, 2008, p.82).

Os tubos capilares por manterem uma mesma capacidade de expansão devido a falta de possibilidade de ajuste possuem tabelas para ajudar no dimensionamento, com tamanho e espessura de acordo com capacidade exigida pela carga (tab. 01; tab. 02; tab. 03 e tab. 04).

Tabela 01 – Dimensionamento para tubo capilar com gás refrigerante R 12.

Capacidade (BTU/h)	Temperatura de Evaporação (°C)						Capacidade (BTU/h)	Temperatura de Evaporação (°C)					
	+7,2		-6,7		-23,3			+7,2		-6,7		-23,3	
	L	D	L	D	L	D		L	D	L	D	L	D
200-300	-	-	-	-	3,0	0,6	1500-1600	4,9	1,2	4,7	1,2	3,6	1,2
300-400	-	-	-	-	2,8	0,6		4,6	1,2	4,2	1,2	3,3	1,2
400-500	-	-	3,6	0,7	1,8	0,6	1600-1700	4,3	1,2	4,0	1,2	3,1	1,2
500-600	-	-	3,4	0,7	2,6	0,7		3,9	1,2	3,7	1,2	2,9	1,2
600-700	-	-	3,9	0,8	3,2	0,8	1700-1800	3,9	1,2	3,6	1,2	2,8	1,2
700-800	-	-	3,6	0,8	2,8	0,8		3,6	1,2	3,4	1,2	2,6	1,2
800-900	2,9	0,8	2,4	0,8	1,8	0,8	1800-1900	3,5	1,2	3,3	1,2	2,5	1,2
900-1000	2,4	0,8	2,2	0,8	4,9	1,0		3,2	1,2	3,0	1,2	2,3	1,2
1000-1100	2,2	0,8	1,8	0,8	4,6	1,0	1900-2000	3,1	1,2	2,9	1,2	2,2	1,2
1100-1200	5,0	1,0	4,7	1,0	4,3	1,0		2,8	1,2	2,4	1,2	2,0	1,2
1200-1300	4,8	1,0	4,5	1,0	3,8	1,0	2000-2500	2,6	1,2	2,2	1,2	1,8	1,2
1300-1400	4,4	1,0	4,1	1,0	3,1	1,0		5,3	1,5	4,8	1,5	3,9	1,5
1400-1500	4,2	1,0	3,9	1,0	3,0	1,0	2500-3000	5,1	1,5	4,6	1,5	3,7	1,5
	3,6	1,0	3,4	1,0	2,6	1,0		3,6	1,5	3,4	1,5	2,4	1,5
	3,4	1,0	3,2	1,0	2,4	1,0	3000-4000	3,4	1,5	3,2	1,5	2,3	1,5
	3,1	1,0	2,9	1,0	5,0	1,2		2,2	1,5	4,8	1,8	3,7	1,8
	3,0	1,0	2,7	1,0	4,8	1,2	4000-5000	2,0	1,5	4,6	1,8	3,5	1,8
	2,6	1,0	2,2	1,0	4,3	1,2		3,4	1,8	3,2	1,8	4,2	2,0
	2,4	1,0	5,4	1,2	4,1	1,2	5000-6000	3,2	1,8	3,0	1,8	-	-
	5,2	1,2	4,9	1,2	3,7	1,2		3,6	2,0	2,2	1,8	-	-
							7000	2,8	2,0	2,4	2,0	-	-
							8000	2,9	2,2	2,7	2,2	-	-
							9000	2,4	2,2	2,2	2,2	-	-
							10000	3,6	2,5	3,0	2,5	-	-
							11000	2,8	2,5	2,4	2,5	-	-

Fonte: (MARTINELLI, 2008, p.83 e p.84).

L – comprimento em metros

D – diâmetro em mm

Considerações:

Temperatura de condensação 54°C

Comprimento de troca de calor entre capilar e sucção 1,2m

Tabela 02 – Dimensionamento para tubo capilar com gás refrigerante R 22

Capacidade (BTU/h)	Temperatura de Evaporação (°C)			
	+7,2		-6,7	
	L	D	L	D
1400-1600	-	-	5,0	1,0
			4,6	1,0
1600-1800	-	-	4,5	1,0
			3,9	1,0
1800-2000	-	-	3,6	1,0
			3,0	1,0
2000-3000	3,6	1,0	2,8	1,0
	4,2	1,2	3,5	1,2
3000-4000	4,0	1,2	3,3	1,2
	2,3	1,2	5,4	1,5
4000-5000	2,1	1,2	5,2	1,5
	3,6	1,5	3,2	1,5
5000-6000	3,4	1,5	3,0	1,5
	2,4	1,5	2,1	1,5
7000	3,9	1,8	3,3	1,8
8000	2,4	1,8	3,4	2,0
9000	3,3	2,0	-	-
10000	2,4	2,0	-	-
12000	3,6	2,2	-	-
14000	2,2	2,2	-	-
16000	3,0	2,5	-	-
18000	2,1	2,5	-	-

Fonte: (MARTINELLI, 2008, p.85).

L – comprimento em metros

D – diâmetro em mm

Considerações:

Temperatura de condensação 54°C

Comprimento de troca de calor entre capilar e sucção 1,2m

Tabela 03 – Dimensionamento para tubo capilar com gás refrigerante R 502

Capacidade (BTU/h)	Temperatura de Evaporação (°C)	
	-23,3	
	L	D
1000-2000	3,5	1,2
	2,8	1,2
2000-3000	3,0	1,6
	2,3	1,6
3000-4000	3,0	1,8
	2,0	1,8
4000-5000	3,5	2,0
	3,0	2,0

Fonte: (MARTINELLI, 2008, p.85 e p.86).

L – comprimento em metros (m)

D – diâmetro em milímetros (mm)

Considerações:

Temperatura de condensação 54°C

Comprimento de troca de calor entre capilar e sucção 1,2m

3.1.3 Evaporadores

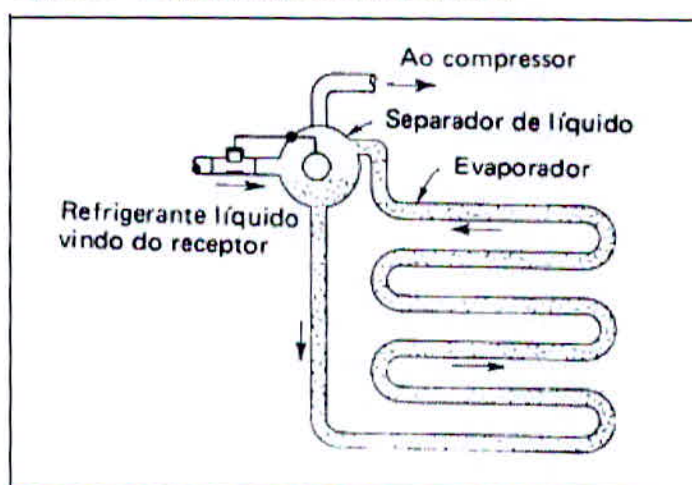
Os Evaporadores são componentes responsabilizados pela transformação do Fluido de “vapor + líquido” para vapor superaquecido. Esta transformação pode ocorrer de diversas maneiras de acordo com a variação da classificação do evaporador e tipo de evaporadores utilizados. Na refrigeração industrial existe basicamente duas classificação de evaporador:

O evaporador é o agente direto de resfriamento, constituindo a interface entre o processo e o circuito frigorífico. (STOECKER E JABARDO, 2002).

- a) Tipo de alimentação de líquido;
- b) Superfície de troca de calor.

Os tipos de alimentação podem ser “inundados” ou “secos”. Os inundados (fig. 10) possuem um reservatório de líquido que garante que não falte fluido no evaporador para a troca com produto / ambiente.

Figura 10 – Evaporador trabalhando inundado.

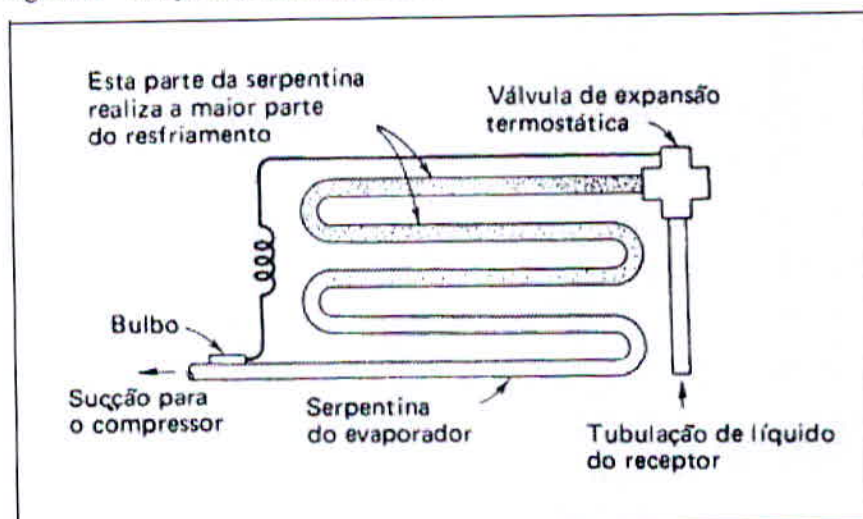


Fonte: (MARTINELLI, 2008, p.74).

Os evaporadores secos (fig. 11) contam com apenas o dispositivo de expansão que ajusta o nível de líquido para alimentar o mesmo. Sendo assim se o dispositivo de expansão

for mal dimensionado o risco para falta de líquido no evaporador é maior e podendo comprometer o máximo aproveitamento do sistema frigorífico.

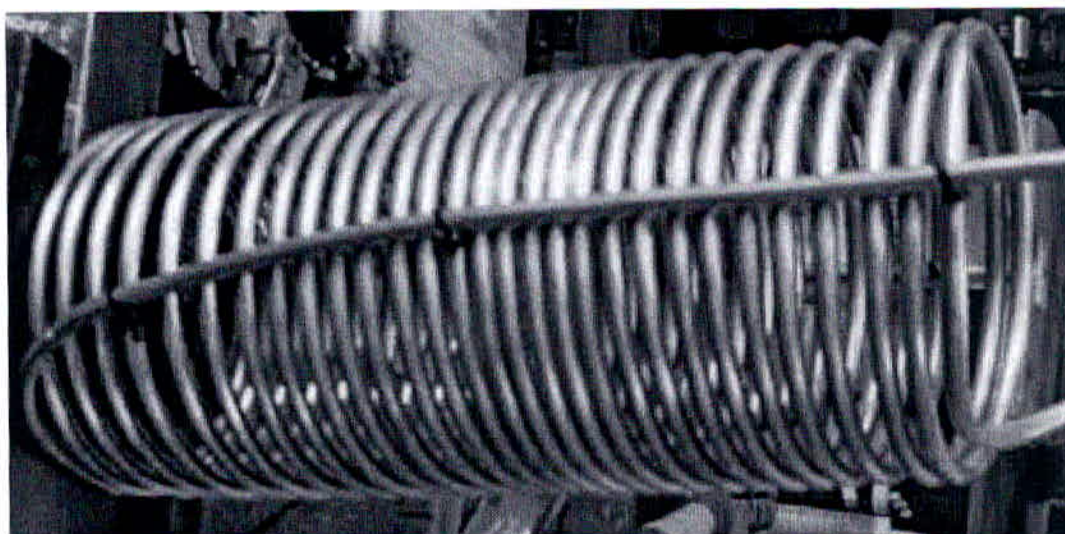
Figura 11 – Evaporador trabalhando seco



Fonte: (MARTINELLI, 2008, p.75).

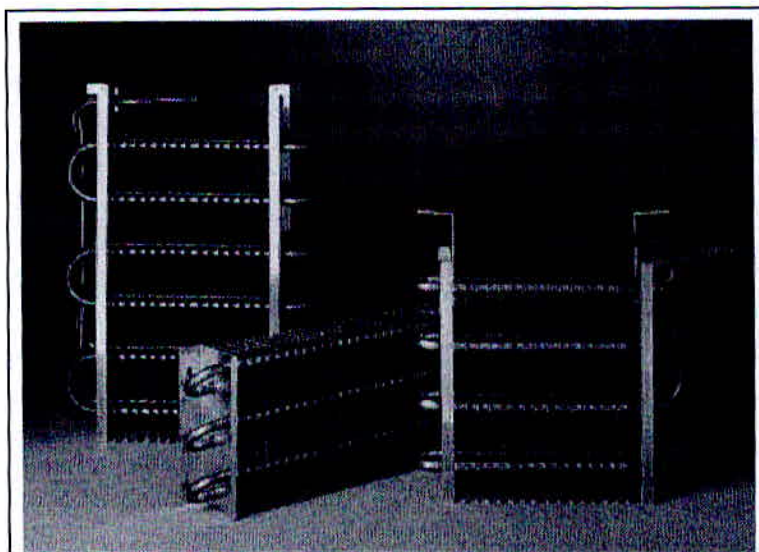
Os evaporadores podem ser de troca por superfície primária (fig. 12) onde a troca é feita por tubos ou canos lisos, ou de troca por superfície estendida (fig. 13) onde a troca é realizada por tubos ou canos que são distribuídos entre placas ou chapas.

Figura 12 – Evaporador de superfície primária



Fonte: (REFRIGERA, 2013, p.1).

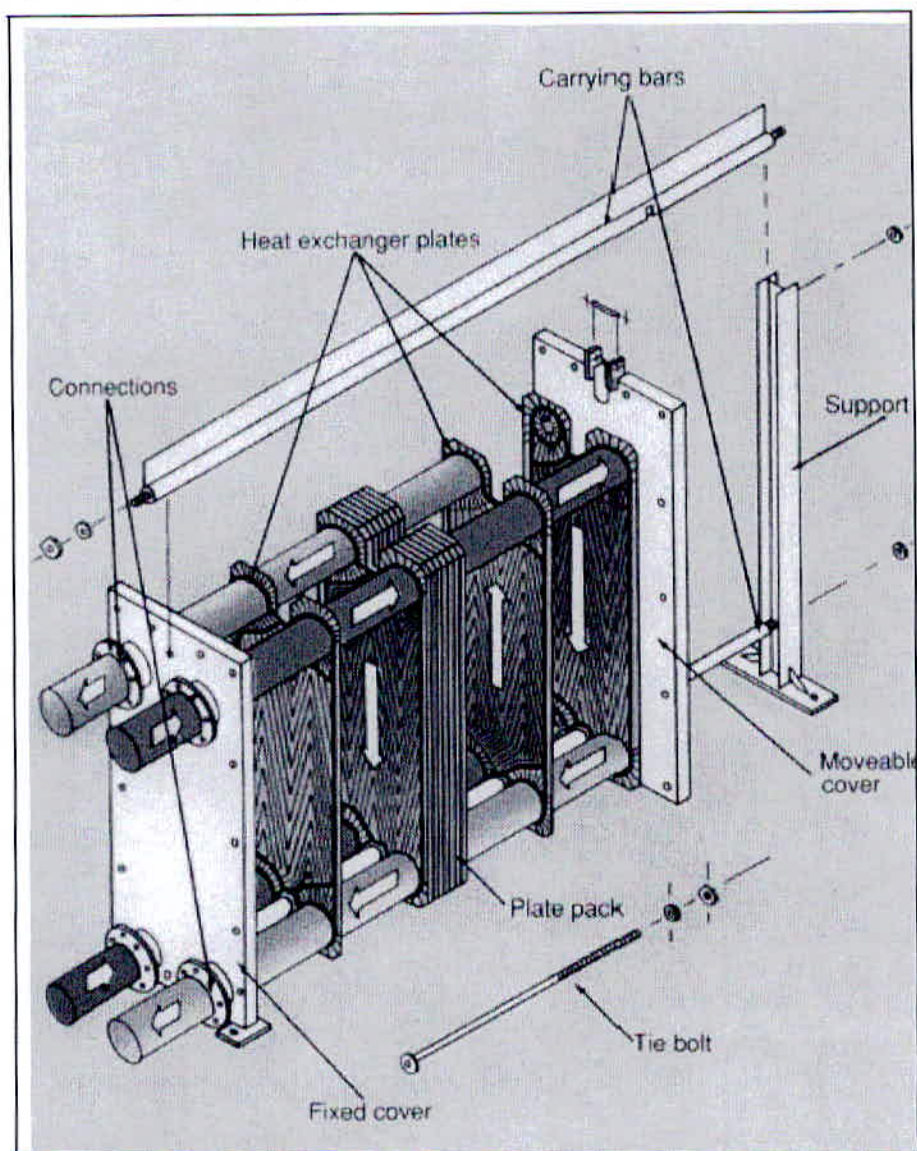
Figura 13 – Evaporador de superfície estendida.



Fonte: (MARTINELLI, 2008, p.76).

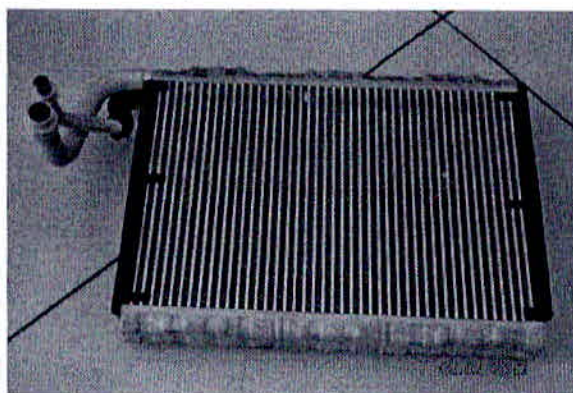
Os evaporadores ainda podem ser classificados pelo tipo de construção sendo evaporador de serpentina de placas (fig. 14) que são formados por placas de alto potencial de troca de calor com ranhuras entres elas por onde permite a circulação do fluido para a troca, evaporador de tubular (fig. 15) que é próximo ao condensador tubular por troca a ar com tubos e geralmente com chapas para aumentar a capacidade de troca e o ultimo tipo o evaporador Baudelot (fig. 16) este evaporador se parece com os evaporadores por placa no entanto o fluido é resfriado próximo ao ponto de congelamento e geralmente a carcaça deste evaporador é de inox com ranhuras por onde corre o fluido.

Figura 14 – Evaporador de placas.



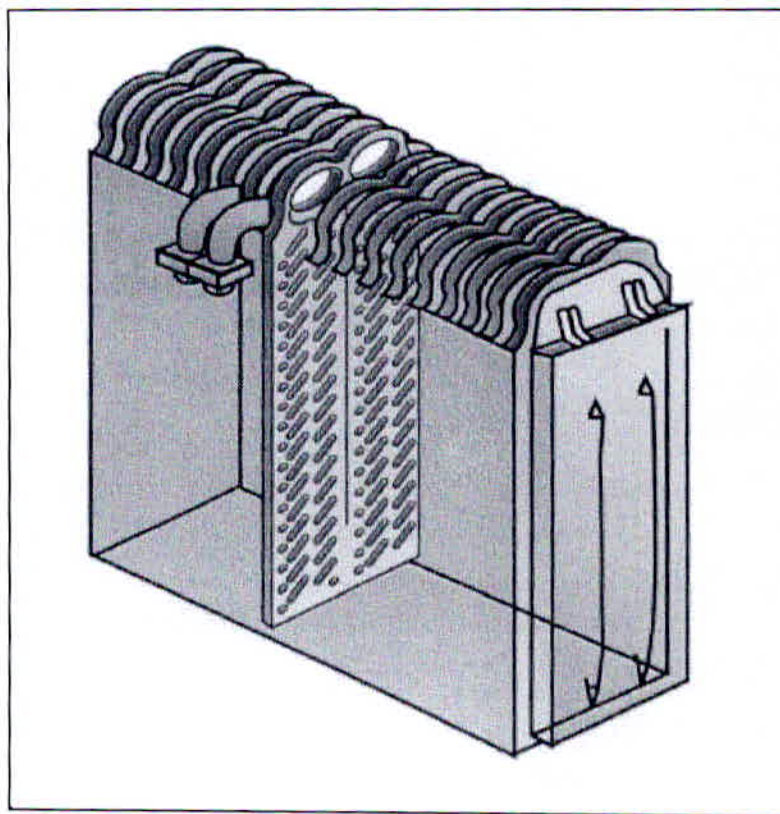
Fonte: (MARTINELLI, 2008, p.78).

Figura 15 – Evaporador tubular.



Fonte: (SOM, 2013, p.1).

Figura 16 – Evaporador de baudelot.



Fonte: (MARTINELLI, 2008, p.79).

3.1.4 Compressores

Os compressores são os principais componentes do ciclo de refrigeração. São responsáveis pela compressão do fluido refrigerante aumentando a pressão e a temperatura do mesmo. Os compressores podem ser classificados em diversos tipos de acordo com o método de compressão do fluido.

Para se seleccionar o compressor a ser utilizado devem-se ter informações como faixa de temperatura de trabalho, pressão e volume de deslocamento do fluido, tipo do fluido refrigerante e capacidade frigorífica exigida pelo sistema.

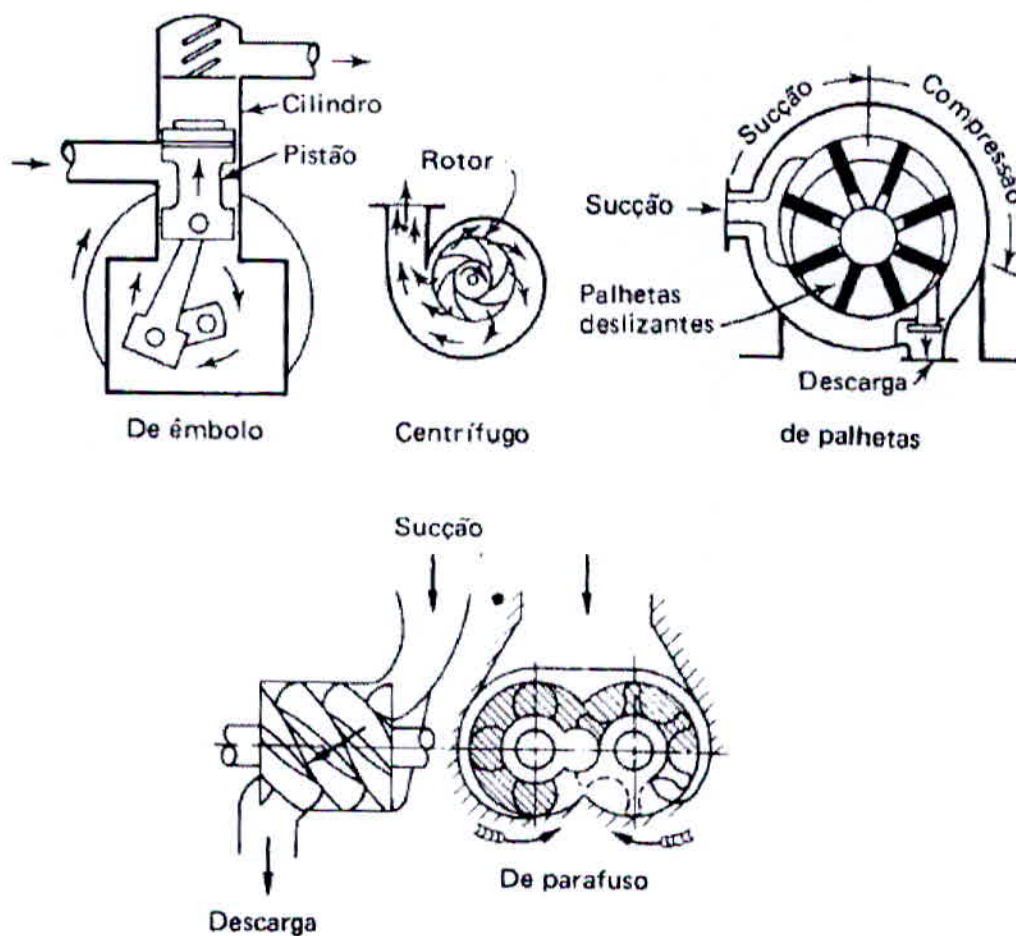
O compressor é o coração do sistema de compressão de vapor. É usado por uma única razão: recuperar o líquido expandido para que ele possa tornar a ser usado inúmeras vezes (fechando o ciclo). (MARTINELLI JUNIOR, 2008).

Os compressores são divididos nos seguintes tipos (fig. 17):

- a) Compressores Parafuso;
- b) Compressores de Palhetas;

- c) Compressores Centrífugos;
- d) Compressores Alternativos;
- e) Compressores Scroll.

Figura 17 – Tipos de Compressores.



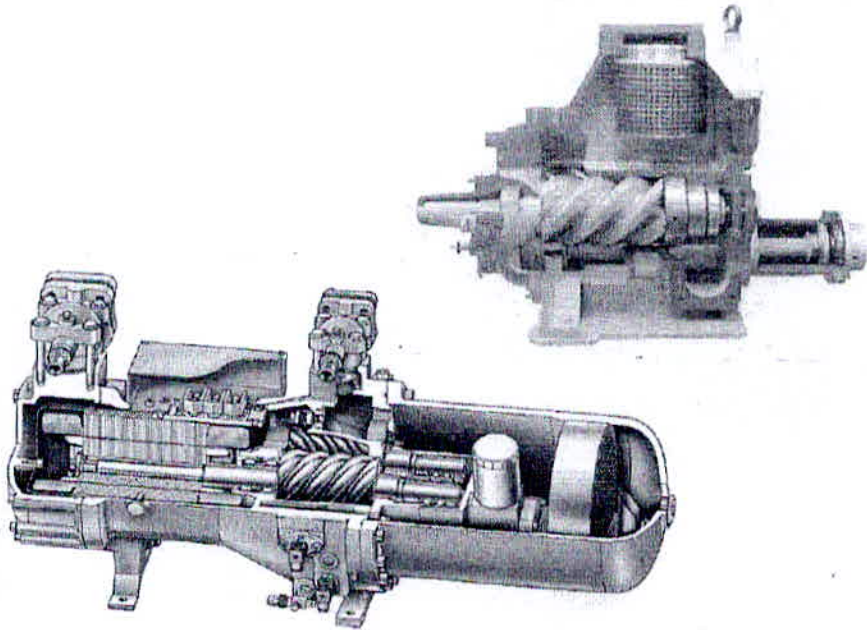
Fonte: (MARTINELLI,2008, p.96).

3.1.4.1 Compressor parafuso

Os compressores parafuso (fig. 18) são feitos basicamente de duas engrenagens helicoidais (fig. 19) agindo como um parafuso uma com a outra, entre si as engrenagens são ajustadas para que na galeria das engrenagens se comprima o fluido de um lado e a sucção se localizado lado oposto e em um movimento contínuo este fluido é comprimido continuamente. O óleo destes compressores passa junto com o fluido.

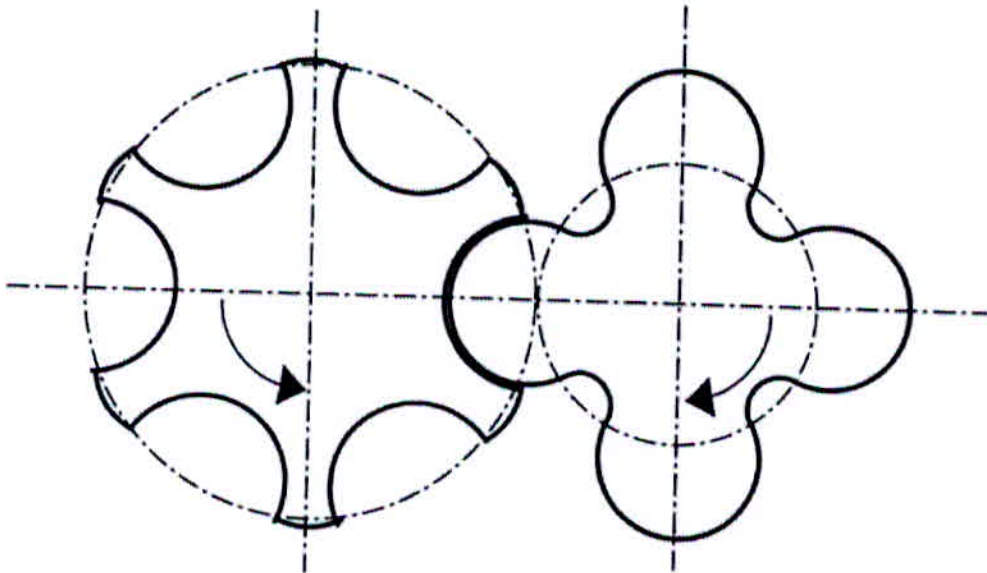
Segundo Prof. Dr. Luiz Carlos Martinelli Junior (2008, p. 95), “[...]Basicamente ele consiste em duas engrenagens helicoidais ajustadas entre si, sendo uma delas macho e a outra fêmea, num invólucro estacionário com aberturas de sucção e descarga [...]”

Figura 18 – Compressor parafuso



Fonte: (STOECKER, 2002, p.95).

Figura 19 - Engrenagens helicoidais do compressor parafuso

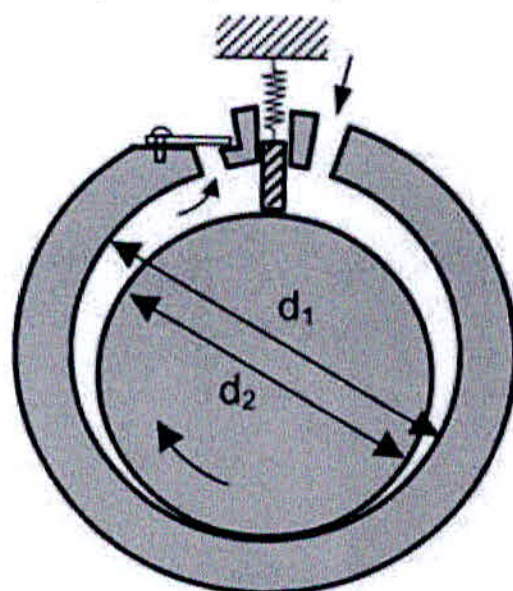


Fonte: (SILVA, 2005, p.91).

3.1.4.2 Compressor de palhetas

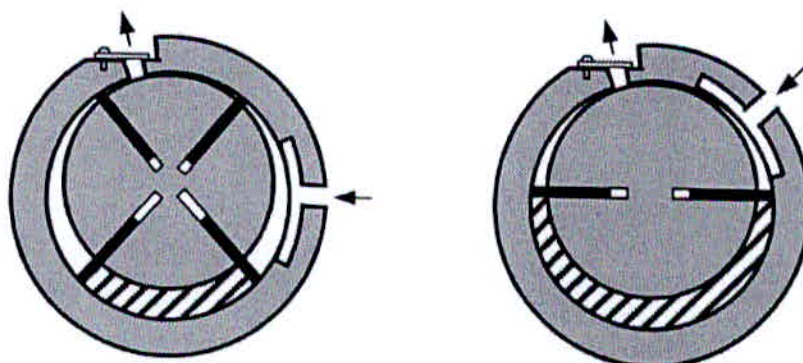
Os compressores de palhetas podem ser simples (fig. 20) ou de múltiplas palhetas (fig. 21). Este tipo de compressor consiste de palhetas de diferentes tamanhos, ou apenas uma palheta, que conforme seu giro a mesma passa pela sucção coletando o fluido e comprimindo até o momento de descarga no momento em que comprime um lado da palheta o outro lado se torna uma região de baixa pressão fazendo o efeito de sucção.

Figura 20 – Compressor de palheta simples



Fonte: (SILVA, 2005, p.93).

Figura 21 – Compressor de múltiplas palhetas

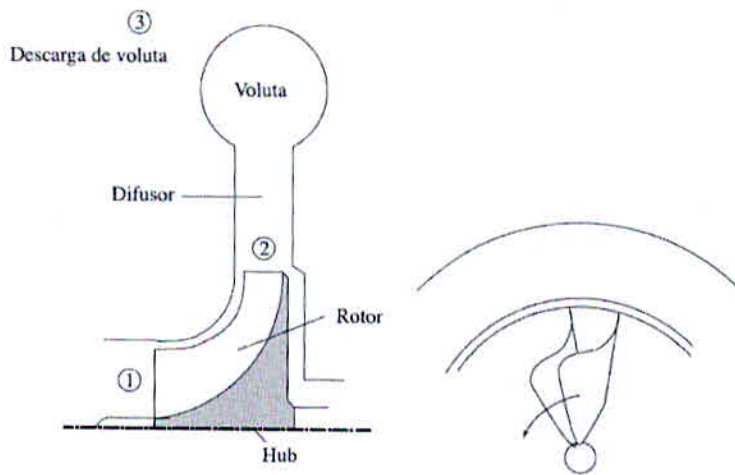


Fonte: (SILVA, 2005, p.94).

3.1.4.3 Compressor centrífugo

Os compressores centrífugos (fig. 22) possuem funcionamento parecido com o de bombas centrífugas, coletando o fluido pelo rotor e enviado para as periferias do compressor através da energia cinéticas e em diversos estágios esta pressão vai aumentando até atingir a pressão de descarga.

Figura 22 – Compressor centrífugo



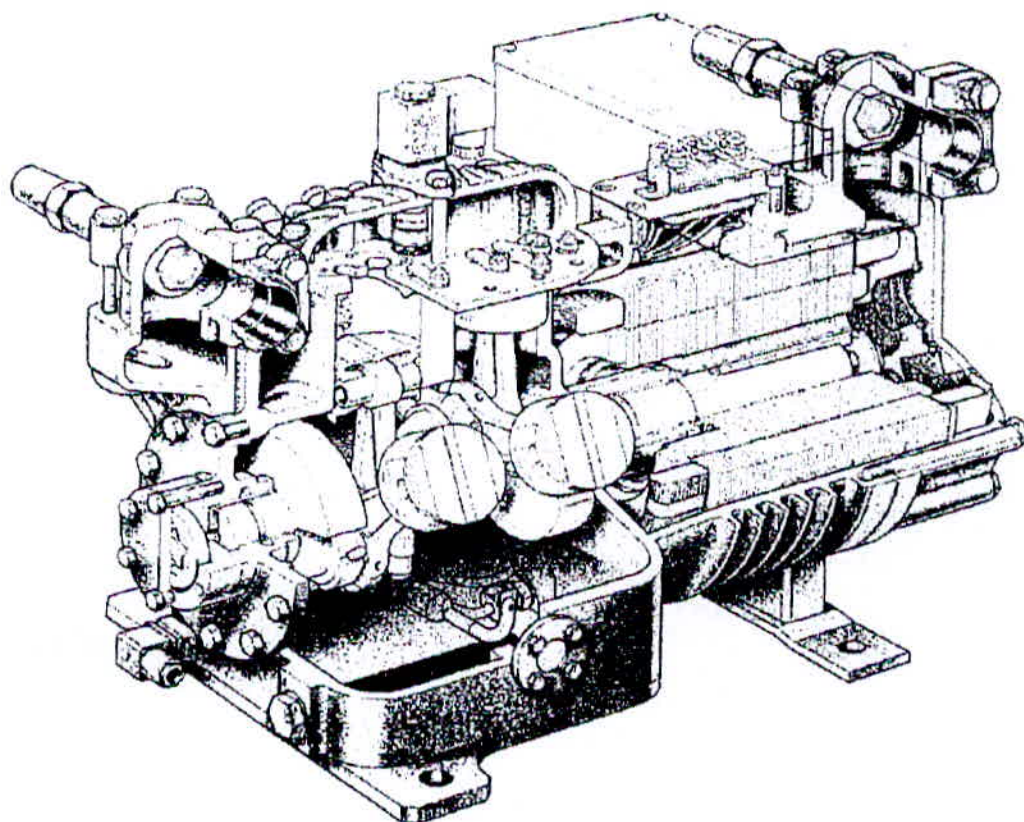
Fonte: (SILVA, 2005, p.95).

3.1.4.4 Compressor alternativos

Os compressores Alternativos (fig. 23) são compressores de pistão com ciclos alternados (fig. 24) para admissão do fluido e descarga do fluido. São parecidos com motores a combustão, porém seu giro provém de um motor elétrico realizando o trabalho contrário usando movimento rotativo para gerar compressão. Estes compressores são bastante utilizados em equipamentos de pequeno e médio porte em linhas comerciais e de conforto como ar condicionado e geladeiras. Esses compressores podem ser classificados por sua distribuição, forma e quantidade dos pistões, como:

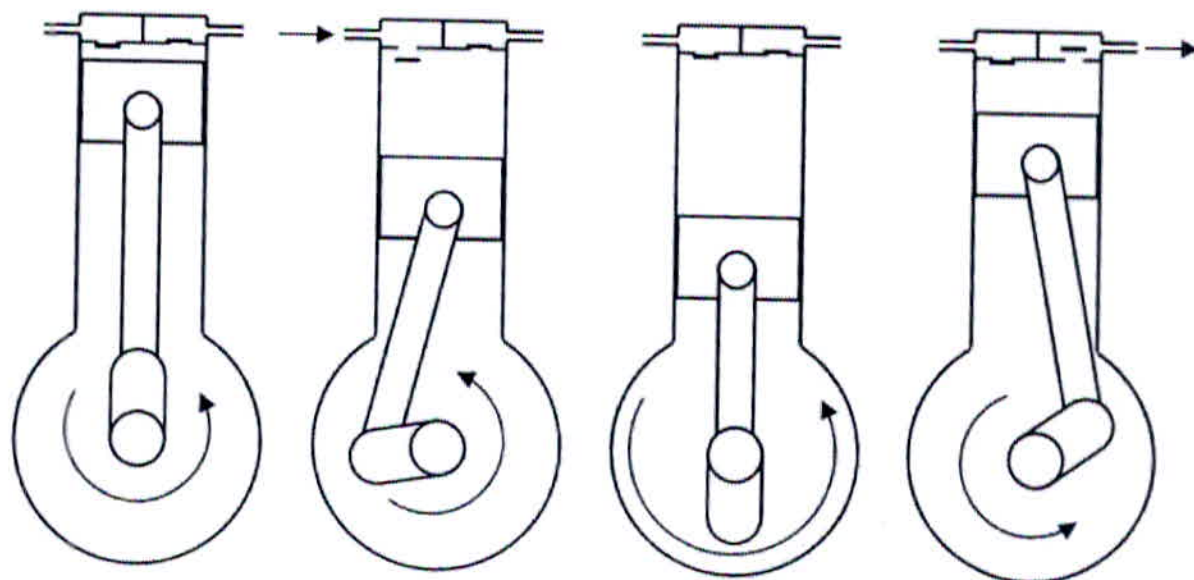
- a) Simples ou duplo efeito;
- b) De um ou mais cilindros;
- c) Abertos, herméticos e semi-herméticos;
- d) Horizontais, verticais, em 'V', em 'W' ou radiais.

Figura 23 – Compressor alternativo



Fonte: (STOECKER, 2002, p.67).

Figura 24 – Ciclos do pistão do compressor alternativo



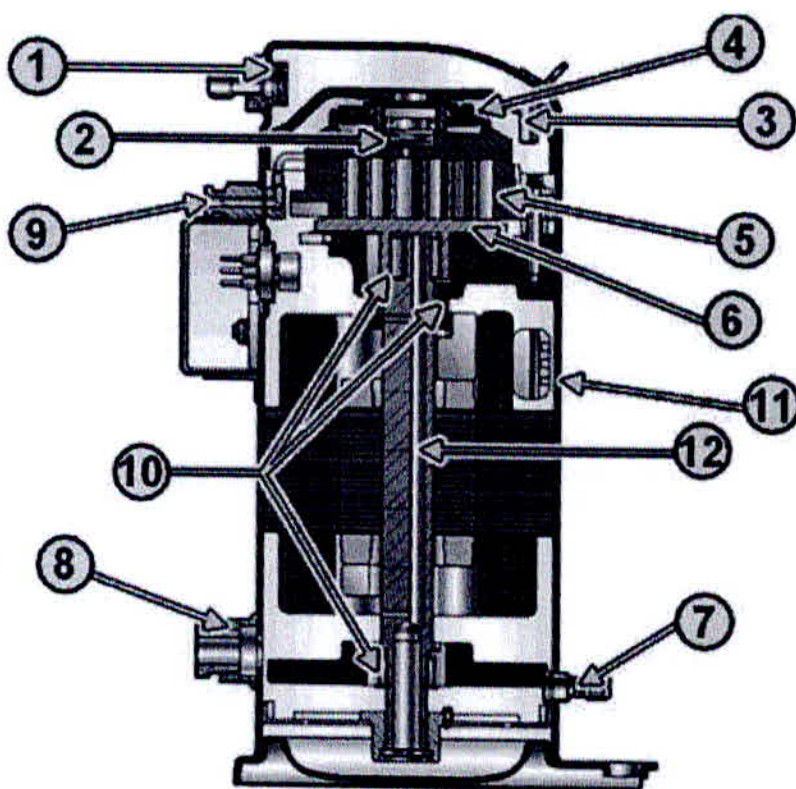
Fonte: (SILVA, 2005, p.80).

3.1.4.5 Compressor scroll

Os compressores scroll (fig. 25) são formados por dois espirais (fig. 26) que realizam um movimento orbital entre si recebendo o fluido pela extremidade e comprimindo para o centro dos espirais até o momento da descarga. Esses compressores são utilizados em equipamentos de pequeno e médio porte concorrendo com os compressores alternativos diretamente. Os compressores scroll são tem como principal dificuldade construtiva a precisão entre suas peças internas e suas vedações e por tal motivo foi possível sua fabricação apenas após meados do século 20.

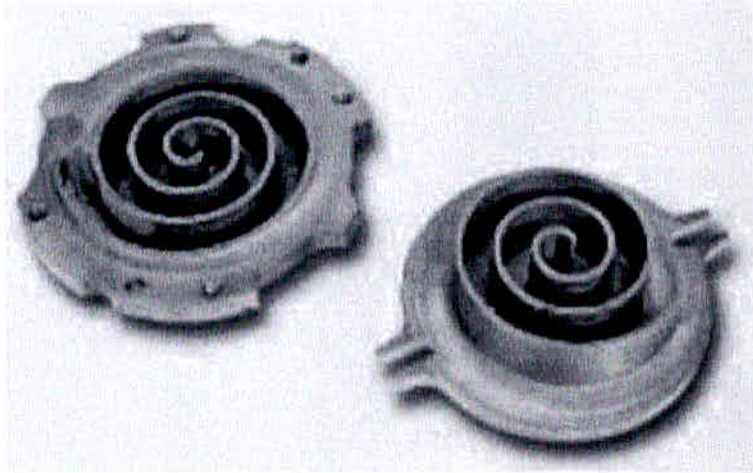
Figura 25 – Compressor Scroll

1. Válvula de Retenção
2. Válvula Dinâmica de Descarga
3. Válvula de Alívio
4. Selo Flutuante
5. Espiral Fixa
6. Espiral Móvel
7. Válvula de Serviço de Óleo
8. Visor de Óleo
9. Injeção de Líquido
10. Mancais tipo "DU"
11. Protetor Térmico Interno
12. Lubrificação



Fonte: (SILVA, 2005, p.98).

Figura 26 – Espirais do compressor scroll



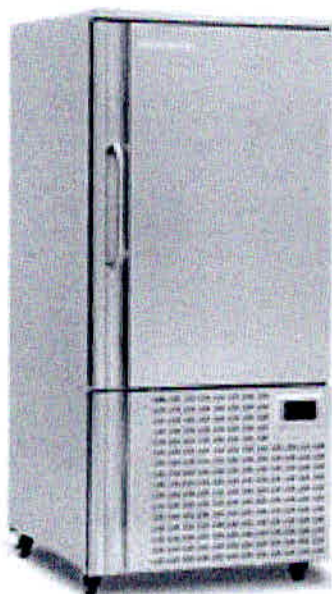
Fonte: (SILVA, 2005, p.98).

4 ULTRACONGELADORES PROFISSIONAIS

O ultracongelamento e o processamento industrializado de alimentos têm sido um grande passo para a economia no setor alimentar. Estes processos tem causado grande evolução e melhorias na qualidade de fornecimento ao consumidor final, pois os alimentos tem se mantido por mais tempos conservados e frescos, sempre com suas características básicas intactas pela conservação congelada e com a regeneração dos fornos evoluídos.

Os ultracongeladores profissionais (fig. 27) são equipamentos de pequeno e médio porte responsáveis pelo congelamento rápido ou resfriamento rápido de alimentos. Esses equipamentos são construídos com o objetivo de promover um trabalho e um alimento de acordo com as exigências das normas da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), atual responsável pela saúde alimentar e vigilância sanitária no Brasil.

Figura 27 – Ultracongelador e Resfriador Rápido



Fonte: (KLIMAQUIP, 2013, p.1).

Os equipamentos responsáveis pela garantia de um alimentos saudáveis são formados por uma carcaça isolada termicamente e por um sistema de refrigeração que proporciona um ultracongelamento em menos de 4 horas independentes das condições do alimentos ser cozido, assado, pré-assado ou cru.

Congelamento rápido (ultracongelamento) significa esfriar o produto, desde a temperatura ambiente (+23°C a 25°C) até -18°C em seu interior, no menor tempo

possível e em qualquer caso, em um máximo de 4 horas (a temperatura das câmaras de ultracongelamento não está predeterminada, mas em geral oscila entre -35°C a -40°C). (KLIMAQUIP TÉCNOLOGIA DO FRIO).

Para que um alimento esteja completamente congelado o mesmo deve atingir no seu núcleo a temperatura de -18°C . Os equipamentos responsáveis por essa queda brusca de temperatura podem atingir temperaturas inferiores a -35°C o que proporciona uma queda de temperatura eficaz ao alimento mantendo suas características básicas e sem que seja permitido a formação de cristais no alimento gerando bactérias e modificando o comportamento do alimento quando processado.

5 HIPÓTESE

Os compressores Scroll apresentam uma melhor competitividade de mercado quando comparados aos compressores alternativos, por melhores propriedades mecânicas e eficiência comprovadas por seus fabricantes. Os compressores Scroll e Alternativo possuem utilização similar sendo aplicados em equipamentos de pequenos e médio portes no setor de refrigeração, principalmente na área de conforto e equipamentos do setor de condicionamento de alimentos. Os compressores Scroll podem ser utilizados na maioria dos casos de utilização dos compressores Alternativos, porém ainda assim deve-se fazer um estudo de cada caso para que tenha a comprovação da melhor opção e do melhor custo para aplicação do compressor correto para o caso.

Esse estudo tem como objetivo mostrar que o compressor Scroll tem melhor rendimento frigorífico com uma menor ocupação física, menor consumo energético e melhores características de aplicação com um custo justificável para aplicação em ultracongeladores e resfriadores rápidos aplicados em condicionamento de alimentos.

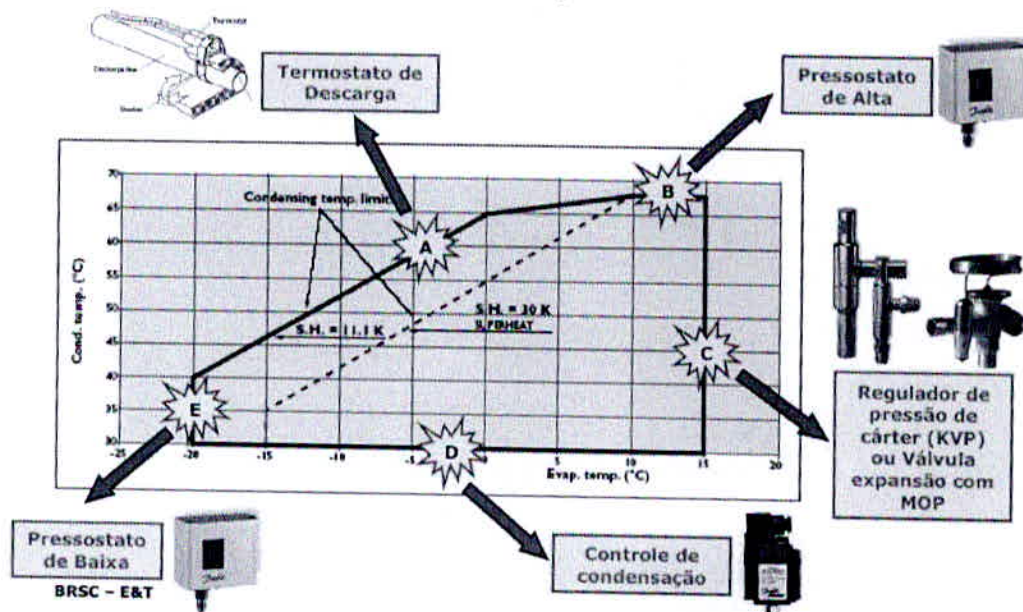
6 MATERIAIS ANALÍTICO

O material utilizado serão testes e gráficos e dados construídos pelos fornecedores que numeram e qualificam os compressores nos pontos que demonstram valores no momento de seleção para construir um ultracongelador e resfriador rápido. O material disponível irá comparar diversas situações para cada um dos compressores para que se conclua a melhor opção em cada caso necessário. Materiais como Dimensões, envelope de operação do compressor (fig. 28), capacidade frigorífica (fig. 29), consumo de acordo com temperatura de evaporação (fig. 30), ente outras informações essenciais para a conclusão deste estudo.

Este estudo será feito com dois modelos de compressor compatíveis, porém de tipos diferentes. Será o compressor alternativo marca Danfoss modelo NTZ 136 e o compressor scroll marca Copeland modelo ZF15. Ambos compressores operam com gás refrigerante R404A e ambos com valores mais próximos em suas categorias de custo e capacidade frigorífica se tornando compressores compatíveis para a mesma aplicação, são para baixa temperatura (entre -10°C e -35°C) e ideais para aplicação em ultracongeladores.

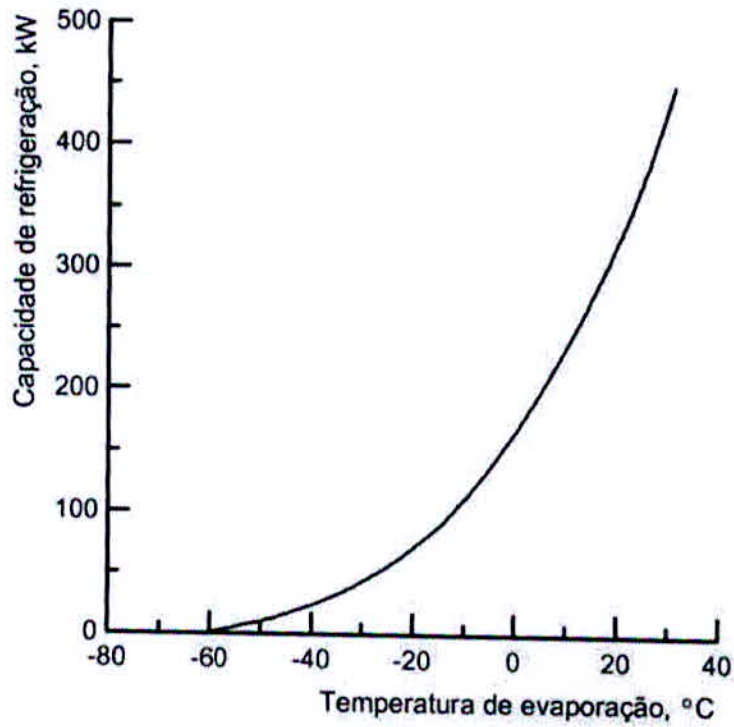
Os compressores scroll foram fabricados recentemente por uma maior exigência no ajuste de seus componentes o que faz com que o mesmo possua potencial teórico para uma melhor eficiência, que iremos verificar neste estudo.

Figura 28 – Envelope genérico de operação do compressor



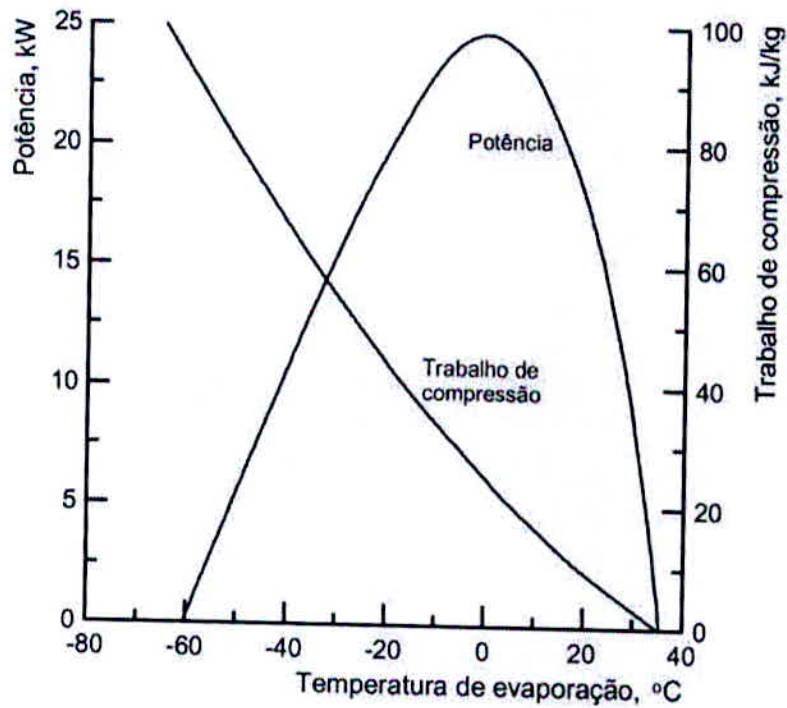
Fonte: (SILVA, 2010, p.7).

Figura 29 – Gráfico genérico de cap. frigorífica (kW) x temp. de evaporação (°C)



Fonte: (SILVA, 2005, p.85).

Figura 30 – Gráfico de temp. de evap. (°C) x Pot. (kW) x trabalho de comp. (kJ/kg)



Fonte: (SILVA, 2005, p.84).

7 RESULTADOS E ANÁLISES

Para seleccionar um compressor para um ultracongelador profissional deve-se atentar para principalmente 3 pontos importantes. Estes pontos podem se tornar um diferencial de mercado assim como uma redução de custo para o fabricante, estes pontos são:

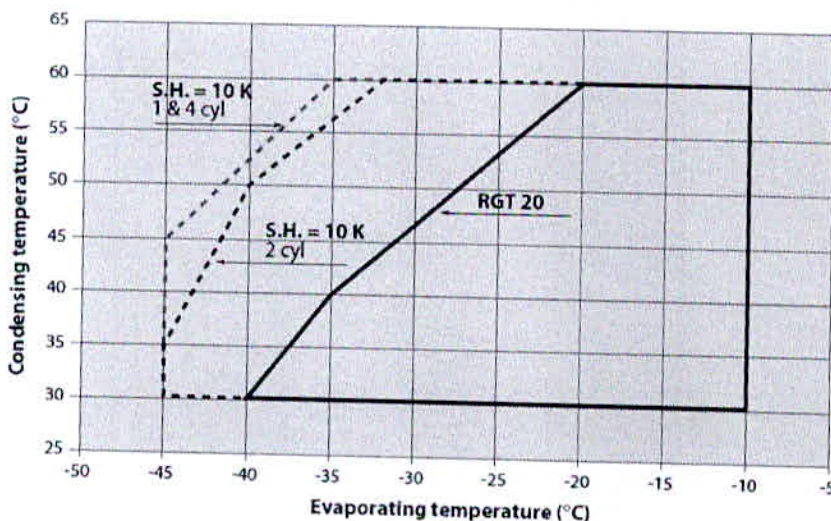
- Envelo de operação;
- Capacidade conforme evaporação e potência;
- Dimensão da carcaça.

7.1 Envelo de operação

O envelo de operação é o meio de reconhecimentos da capacidade de aplicação do compressor. Este gráfico demonstra os limites de temperaturas de condensação e evaporação e através desses limites que se faz a segurança do compressor evitando a quebra do mesmo e fazendo o melhor uso possível do mesmo.

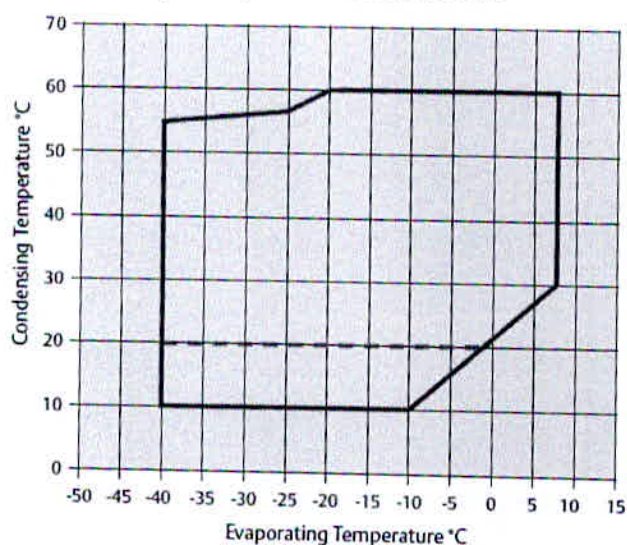
Comparando o envelo do compressor alternativo (fig. 31) de dois cilindros com o compressor scroll (fig. 32) compatível, foram verificadas algumas vantagens e desvantagens do compressor scroll em relação ao alternativo.

Figura 31 – Envelo compressor alternativo modelo NTZ.



Fonte: (DANFOSS, 2005, p.5).

Figura 32 – Envelope compressor scroll modelo ZF



Fonte: (EMERSON, 2013, p.36).

As vantagens apresentadas na comparação do envelope foram:

- Limite de evaporação com temperatura alta maior;
- Limite de condensação com temperatura baixa menor;
- Faixa de superaquecimento mais extensa.

As desvantagens apresentadas foram:

- Limite de evaporação com temperatura baixa maior;
- Limite de condensação em baixa evaporação com temperatura alta menor.

Visto que a gama de produtos alimentares são de temperaturas elevadas, a evaporação se manterá mais tempo em alta temperatura (entre -25°C e 10°C) do que em baixas temperaturas (entre -40°C e -10°C) o que faz com que o compressor scroll entre em vantagem devido limite máximo de evaporação ser bem maior que o compressor alternativo. Outra vantagem notória seria o superaquecimento, nota-se que o compressor alternativo em baixa evaporação para um bom funcionamento exige superaquecimento de 10k, enquanto o compressor scroll pode trabalhar dentro do limite geral da refrigeração que seria entre 8k e 15k.

Na comparação dos envelopes podemos notar que para aplicação em ultra congeladores o compressor scroll seria de melhor aplicação.

7.2 Capacidade conforme evaporação e Potência

A capacidade frigorífica de um compressor é a informação mais importante para sua seleção. Sendo esta a informação mais importante e as temperaturas de evaporação e condensação fundamentais, faz-se necessária a análise de dados, que cruzem as três informações, pois devemos lembrar que conforme essas temperaturas variam a capacidade também é alterada.

Assim como a capacidade é alterada pela evaporação e condensação a potência elétrica se altera devido a mudança de temperatura do fluido.

Analisando as capacidades e potências do compressor NTZ (fig. 33) e ZF (fig. 34) verificamos algumas diferenças.

Figura 33 – Cap. e pot. x temp. de evap. condensando a 45°C comp. alternativo NTZ

Model	To	-45		-40		-35		-30		-25		-20		-15		-10	
		Tc	Qo	Pe	Qo	Pe	Qo	Pe	Qo	Pe	Qo	Pe	Qo	Pe	Qo	Pe	
		NTZ048	45	230	0.40	500	0.71	850	1.02	1480	1.33	2040	1.62	2690	1.89	3440	2.13
NTZ068	45	930	1.18	960	1.45	1370	1.73	2200	2.02	2920	2.34	3810	2.68	4900	3.07	6210	3.49
NTZ096	45	-	-	890	1.40	1630	1.96	2960	2.54	4160	3.12	5560	3.70	7190	4.24	9050	4.75
NTZ108	45	-	-	1240	2.04	2340	2.51	3330	3.04	4060	3.62	5140	4.21	6700	4.88	10460	5.53
NTZ136	45	-	-	1690	2.65	2720	3.31	4620	4.03	6260	4.80	8170	5.60	10380	6.44	12920	7.31
NTZ215	45	1400	2.84	2650	3.81	4100	4.85	7120	6.00	8720	7.14	12840	8.54	16350	9.57	20860	10.80
NTZ271	45	2110	3.92	3730	5.15	5840	6.55	9930	8.11	13540	9.78	17840	11.56	22900	13.41	28780	15.30
NTZ430	45	2920	5.67	5300	7.62	8360	9.72	14240	11.96	19440	14.28	25680	16.68	33060	19.14	41720	21.60
NTZ542	45	4220	7.84	7460	10.30	11680	13.11	19860	16.22	27080	19.56	35680	23.12	45800	26.82	57560	30.60

Legend: To: Evaporating temperature in °C Qo: Cooling capacity in W
Tc: Condensing temperature in °C Pe: Power input in kW
Superheat = 10K; Subcooling = 0K Voltage: 460V / 3 / 60 Hz
Suction temp. = 20°C; Subcooling = 0 K

Fonte: (DANFOSS, 2012, p.216).

Figura 34 – Cap. e pot. x temp. de evap. condensando a 40°C comp. Scroll ZF

Condensing Temperature +40°C															
Models with Liquid Injection															
R404A	Cooling Capacity (kW)							R404A	Power Input (kW)						
	Evaporation Temperature (°C)								Evaporation Temperature (°C)						
Model	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	Model	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5
ZF06K4E	1.4	1.8	2.2	2.6	3.1	3.8	4.5	ZF06K4E	1.4	1.4	1.5	1.5	1.6	1.7	1.8
ZF08K4E	1.8	2.2	2.8	3.4	4.1	4.8	5.7	ZF08K4E	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2
ZF09K4E	1.9	2.4	3.0	3.6	4.4	5.2	6.3	ZF09K4E	1.8	1.8	1.9	1.9	2.0	2.1	2.2
ZF11K4E	2.5	3.0	3.7	4.5	5.4	6.5	7.8	ZF11K4E	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7
ZF13K4E	2.8	3.5	4.3	5.3	6.4	7.7	9.1	ZF13K4E	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	3.0
ZF15K4E	3.4	4.3	5.3	6.4	7.8	9.4	11.2	ZF15K4E	2.8	3.0	3.1	3.2	3.4	3.6	3.8
ZF18K4E	4.2	5.2	6.4	7.8	9.4	11.3	13.5	ZF18K4E	3.4	3.6	3.7	3.8	4.0	4.2	4.4
ZF24K4E	5.2	6.4	7.9	9.6	11.6	13.8	16.4	ZF24K4E	4.5	4.7	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8
ZF33K4E	7.1	8.9	10.9	13.3	16.1	19.3	23.0	ZF33K4E	5.8	6.2	6.5	6.9	7.2	7.5	7.8
ZF40K4E	8.8	11.0	13.5	16.4	19.8	23.7	28.2	ZF40K4E	7.4	7.8	8.2	8.6	9.0	9.4	9.8
ZF48K4E	10.6	13.2	16.3	20.0	24.1	28.9	34.4	ZF48K4E	9.7	10.2	10.6	11.1	11.6	12.1	12.7

Fonte: (EMERSON, 2013, p.37).

Analisando as tabelas notamos as seguintes diferenças do compressor scroll em relação ao alternativo:

- a) Capacidade frigorífica evaporando em -35°C 25% maior;
- b) Capacidade frigorífica evaporando em -10°C 27% menor;
- c) Potência elétrica exigida evaporando em -35°C 15% menor;
- d) Potência elétrica exigida evaporando em -10°C 51% menor.

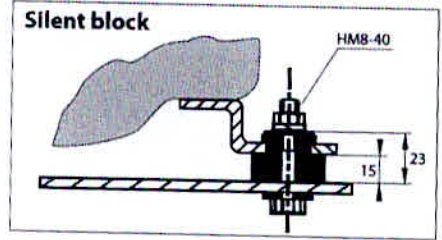
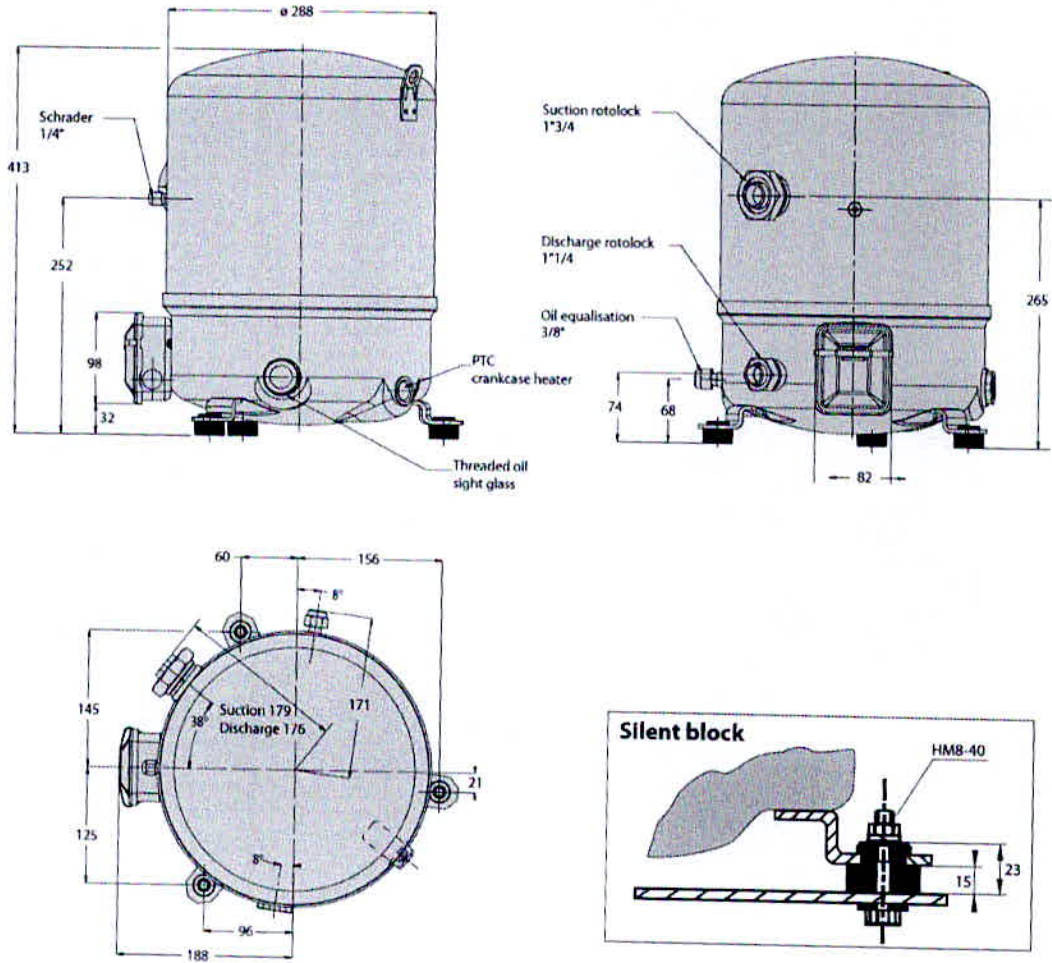
Logo notamos que o compressor alternativo evaporando em temperaturas altas possui maior capacidade, porém conforme se abaixa a temperatura de evaporação as capacidades se aproximam e por fim a capacidade do compressor scroll se torna maior. Sendo assim percebemos que a capacidade no compressor scroll é mais estável do que no compressor alternativo, provando maior estabilidade frigorífica no compressor scroll.

Quanto a potência elétrica exigida, percebe-se que tanto em baixa quanto em alta evaporação o compressor scroll exige menor potência e com isso gerando certamente um menor consumo, sendo que em alta evaporação pode chegar a redução de 50% da potência.

7.3 Dimensão da carcaça

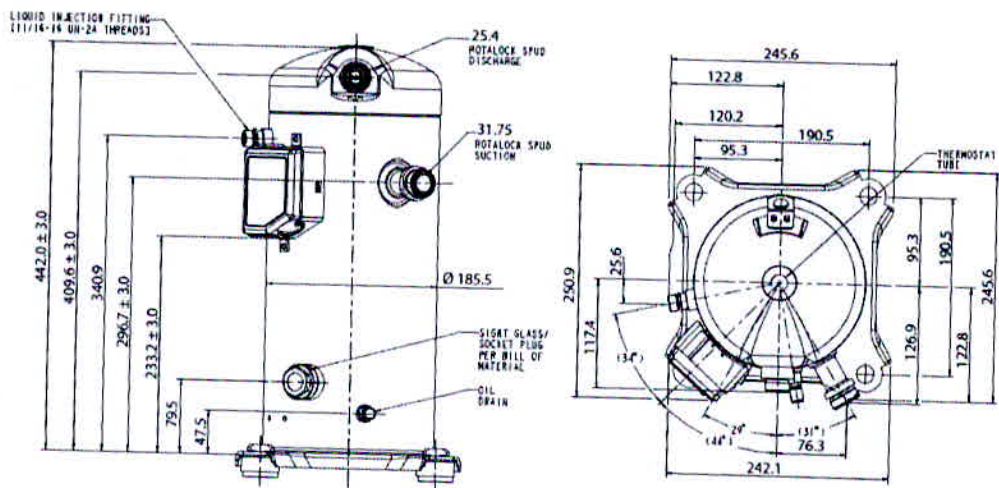
Quando se trata de equipamentos profissionais que são utilizados em cozinhas de shopping, aeroporto, restaurantes, padarias, entre outros estabelecimentos, a dimensão do equipamento e com certeza um fator importante a ser analisado e para se reduzir um equipamento obrigatoriamente após uma boa análise de distribuição dos componentes o que se resta a fazer é trocar os componentes por componentes menores. Sendo assim iremos verificar as dimensões do compressor alternativo NTZ (fig. 35) e do compressor scroll ZF (fig. 36).

Figura 35 – Dimensões do compressor alternativo NTZ136



Fonte: (DANFOSS, 2005, p.7).

Figura 36 – Dimensões do compressor scroll ZF15



Fonte: (EMERSON, 2013, p.1).

Notoriamente podemos perceber que o compressor scroll possui medidas melhores em sua largura e comprimento não excedendo os 260mm enquanto o compressor alternativo excede os 340mm. Na altura o compressor scroll é maior por 29mm, porém a altura não é tão relevante quanto as demais dimensões, afinal um ultracongelador pode ter até 2000mm sem causar problemas porém além de 800mm de largura já não se passa por uma porta de tamanho padrão. Percebe-se em questão de área cerca de 37% a menos nos compressores scroll tornando uma melhor opção em termos de construção.

8 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos através das análises demonstradas ao longo deste estudo, o compressor scroll obtém as melhores características para aplicação em ultracongeladores profissionais, com capacidade equivalente apresentando como principal diferencial na construção suas dimensões com até 37% menores que os alternativos e com um diferencial de grande potencial de venda ao consumidor pela redução do consumo de energia de até 50%.

Para melhores resultados devem-se aplicar os dois compressores em equipamentos com testes reais em produtos para dimensionar ruído e outras características práticas.

REFERÊNCIAS

- DANFOSS A/S, **Quick Selection 2012/2013**, Automatic Controls, Eletronic Controls, Compressors, Condensing Units, and Packages, For All Refrigerants, Hasselager – Denmark, 2012.
- DANFOSS COMERCIAL COMPRESSOR, **Selection & Application Guidelines**, Reciprocating Compressors NTZ, Hasselager – Denmark, 2005.
- EMERSON CLIMATE TECNOLOGIES, **General Product Guide**, For Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps, Aachen - Germany, 2013.
- EMERSON CLIMATE TECNOLOGIES, **Technical Drawings**, Drawing for Compressor ZF13 to ZF18, Disponível em: http://www.emersonclimate.com/europe/en-eu/Products/Compressors/Scroll_Compressors/Refrigeration/Copeland_Scroll_Line_Up/Page_s/Copeland_Scroll_ZF_and_ZF_KVE_Compressor_Technical_Details.aspx?what=list&prodid=679&bra=1&fam=3&prod=c&Ar=LT&prod_pic=1&ref=5&parent=Scroll%20Refrigeratio n%20Standard%20-%20R404A&title=ZF15K4E%20-%20TFD, Acessado em: 06/11/13.
- EVERTON GOLLNICK KOCH e Osvaldo Sauer Neto, **Estudo Sobre Refrigerantes**, Joinville, 2009.
- KLIMAQUIP TÉCNOLOGIA DO FRIO S/A., **Dicas**, Capítulo II – A Panificação Moderna, Disponível em: <http://www.klimaquip.com.br/a-panificacao-moderna-capitulo-ii.php>. Acesso em: 03/11/2013.
- KLIMAQUIP TECNOLOGIA DO FRIO S/A, **Ultracongeladores e Resfriadores Rápido UK**, Disponível em <http://www.klimaquip.com.br/produto/profissional/ultracongeladores-e-resfriadores-rapidos-uk>, Acessado em: 06/11/13.
- LOJA DO SOM, **180 Mercedes Bens**, Disponível em: <http://www.lojadosom.com.br/especiais/180-mercedes-bens/> Acessado em 31/10/13.
- MIPAL INDÚSTRIA DE EVAPORADORES LTDA., **Dicas Úteis**. Disponível em: <http://www.mipal.com.br/dicas/dicas.php?dica=24>. Acesso em: 19/10/2013
- NEWTO DA SILVA, **Envelope do compressor x Envelope da Aplicação**, São Paulo, 2010.
- PEDRO HENKLEIN, **Análise de Ensaios de Desempenho de Compressores Herméticos Durante o Transitório**, Disponível em: <http://www.posmci.ufsc.br/teses/ph.pdf>. Acesso em: 16/10/2013.
- PORTAL DA REFRIGERAÇÃO, **Evaporadores**, Evaporador de Tubo Liso, Disponível em: http://www.refrigeracao.net/Topicos/evaporador_3.htm. Acessado em 31/10/13.
- PROF. DR. LUIZ CARLOS MARTINELLI JUNIOR, **Maquinas Térmicas IV**, Refrigeração, Pato Branco, 2008.

W. F. STOECKER e J. M. Saiz Jabardo, **Refrigeração Industrial**. 2ª edição, Edgar Blücher Ltda., São Paulo, 2002.