

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
WAGNER VELHO MARTINS

**ESTUDO PARA SUBSTITUIÇÃO DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO
DE ÓLEO DOS COMPRESSORES, AUMENTANDO A EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO**

LAGES
2018

WAGNER VELHO MARTINS

**ESTUDO PARA SUBSTITUIÇÃO DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO
DE ÓLEO DOS COMPRESSORES, AUMENTANDO A EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO**

Pré-projeto de trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Prof. ME: Reny Aldo Henne

WAGNER VELHO MARTINS

**ESTUDO PARA SUBSTITUIÇÃO DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO
DE ÓLEO DOS COMPRESSORES, AUMENTANDO A EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO**

Pré-projeto de trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Prof. ME: Reny Aldo Henne

Lages, SC ____/____/2017. Nota _____

RENY ALDO HENNE
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

LAGES
2018

ESTUDO PARA SUBSTITUIÇÃO DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO DE ÓLEO DOS COMPRESSORES, AUMENTANDO A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

Wagner Velho Martins¹
Reny Aldo Henne²

RESUMO

Este trabalho aborda a influência do tipo de resfriamento de óleo de compressores parafuso sobre a eficiência de uma instalação de refrigeração por compressão mecânica funcionando com o fluido refrigerante R-717. O estudo toma como base as informações obtidas através do software de seleção de compressores da empresa Mayekawa. Com as grandezas termodinâmicas levantadas, foram calculadas as performances dos ciclos de refrigeração operando com dois sistemas de resfriamento de óleo: injeção de líquido e termosifão. Mostra-se por meio deste estudo, que o resfriamento de óleo por termosifão, apesar do maior custo de instalação, é mais eficiente energeticamente e apresenta menor custo operacional em relação a outros sistemas.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Sistema de Refrigeração, Resfriamento de óleo.

¹Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica, 9ª Fase, Disciplina de TCC 1, do Centro Universitário UNIFACVEST.

² Mestre, Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário UNIFACVEST.

STUDY FOR REPLACING THE COMPRESSOR OIL COOLING SYSTEM, INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE REFRIGERATION SYSTEM

Wagner Velho Martins¹
Reny Aldo Henne²

ABSTRACT

This work discusses an influence of the oil-cooling type of screw compressors on an application of a mechanical compression refrigeration plant running on R-717 refrigerant fluid. The study is based on information obtained through the Mayekawa company's compressor selection software. With as thermodynamic raised quantities, were calculated as performances of cooling cycles operating with two oil cooling systems: liquid injection and thermosiphon. It is shown by means of the study that the thermosiphon oil cooling, in spite of the higher installation cost, is more energy efficient and presents a lower operating cost compared to other systems.

Keywords: Energy Efficiency, Cooling System, Oil Cooling.

¹Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica, 9ª Fase, Disciplina de TCC 1, do Centro Universitário UNIFACVEST.

² Mestre, Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário UNIFACVEST.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	JUSTIFICATIVA	7
3	O PROBLEMA PESQUISADO	8
4	OBJETIVO GERAL	8
5	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
6	HIPÓTESE	8
7	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
7.1	Refrigeração por compressão de vapor	9
7.1.1	Eficiência e rendimento do ciclo termodinâmico de refrigeração	10
7.2	Componentes do sistema de refrigeração	10
7.2.1	Condensador	10
7.2.2	Evaporador	11
7.2.3	Dispositivo de expansão	12
7.2.4	Compressores	12
7.3	Resfriamento de óleo em compressores parafuso	13
7.3.1	Resfriamento direto por injeção de líquido	14
7.3.2	Resfriamento indireto por água.....	15
7.3.3	Resfriamento indireto por ar	16
7.3.4	Resfriamento indireto por termosifão	17
8	MATERIAIS E MÉTODOS	19
8.1	Obtenção dos dados	19
8.2	Análise dos resultados	22
9	RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
10	CRONOGRAMA	23
11	REFERÊNCIAS	24

1 INTRODUÇÃO

A refrigeração, basicamente, consiste no processo de promover a transferência de energia térmica de uma região de baixa temperatura para uma de maior temperatura através do fornecimento de trabalho (BORGNAKKE, SONNTAG, 2009).

Sucintamente, na refrigeração há três tipos construtivos de sistemas: compressão de vapor, refrigeração por absorção e termoelétrico por efeito Peltier. Devido a sua alta eficiência, o sistema de compressão de vapor é o mais usual no ambiente industrial e na maioria das aplicações.

Em muitos processos industriais é necessária a utilização de sistemas de refrigeração que, de forma simplificada, são responsáveis por esfriar uma substância ou ambiente fechado e, assim, obter condições e propriedades adequadas para determinada atividade. Como o processo de refrigeração é fundamental em muitas aplicações e representa um consumo relevante de energia elétrica (VENTURINI, 2005), o estudo desses sistemas visando melhorar a eficiência pode gerar grandes ganhos as instituições com a redução dos custos.

2 JUSTIFICATIVA

Com o crescente aumento populacional global somente o aumento das práticas agrícolas não será suficiente para atender a demanda crescente de alimentos. O desenvolvimento e a implementação de tecnologias que evitem o desperdício e tornem os sistemas mais eficientes são necessárias.

Ao mesmo tempo tais medidas reduzem o impacto ambiental e garantem a sustentabilidade. Sistemas de refrigeração mais eficientes energeticamente evitam a degradação ambiental decorrente de emissões de gases de efeito estufa ou criação de grandes lagos de usinas hidroelétricas.

Além disso, com um mercado cada vez mais competitivo, uma empresa não pode admitir o desperdício. É necessário incentivar o uso responsável de energia, garantindo a redução de custos.

Uma forma de aumentar a eficiência energética dos ciclos frigoríficos é a utilização do tipo correto de resfriamento de óleo de compressores parafuso.

3 O PROBLEMA PESQUISADO

Apesar do resfriamento direto por injeção de líquido apresentar um custo inicial de instalação menor, o sistema de resfriamento indireto por termosifão se torna uma alternativa economicamente atrativa se analisarmos o consumo energético do sistema durante o tempo de operação?

4 OBJETIVO GERAL

Este trabalho estuda o uso racional de energia elétrica em instalações de refrigeração industrial que operam com compressores parafuso e necessitam de um sistema para resfriamento de óleo para funcionar, contribuindo para que sejam superadas algumas barreiras quanto ao conhecimento técnico, visto o reduzido número de publicações sobre o tema.

5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar os principais tipos de resfriamento de óleo de compressores parafuso;
- Levantar os pontos positivos e negativos de cada sistema de resfriamento de óleo;
- Coletar dados de eficiência e consumo de compressores operando com resfriamento por injeção de líquido e por termosifão;
- Demonstrar quantitativamente o potencial de aumento da eficiência energética de um sistema de refrigeração industrial com a utilização do sistema de resfriamento de óleo correto.

6 HIPÓTESE

Podemos ter um aumento significativo na eficiência dos compressores parafuso ao substituir o sistema de resfriamento de óleo por injeção de líquido pelo sistema de resfriamento por termosifão. Essa economia de energia torna viável o investimento para troca do sistema.

7 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

7.1 Refrigeração por compressão de vapor

No ciclo de refrigeração por compressão de vapor, o trabalho fornecido ao compressor é utilizado para elevar a pressão e a temperatura do fluido refrigerante gasoso que chega ao compressor. O vapor, à alta pressão e temperatura, segue até o condensador onde rejeita calor para o meio, condensando o fluido refrigerante. O líquido condensado segue em direção a um dispositivo de expansão, onde passa do estado líquido a alta pressão (num processo isoentálpico) para uma mistura líquido-vapor, a baixa pressão e temperatura. O fluido refrigerante então retira calor do ambiente ou sistema a ser refrigerado, utilizando esse calor para se vaporizar, seguindo em direção ao compressor, onde completa o ciclo (TASSINI, 2012).

Define-se como ciclo teórico de refrigeração por compressão de vapor um ciclo no qual os processos são mais próximos aos do ciclo real. Desta forma, torna-se mais fácil comparar o ciclo real com o ciclo teórico, que terá melhor performance operando nas mesmas condições do ciclo real (STOECKER e JABARDO, 2002).

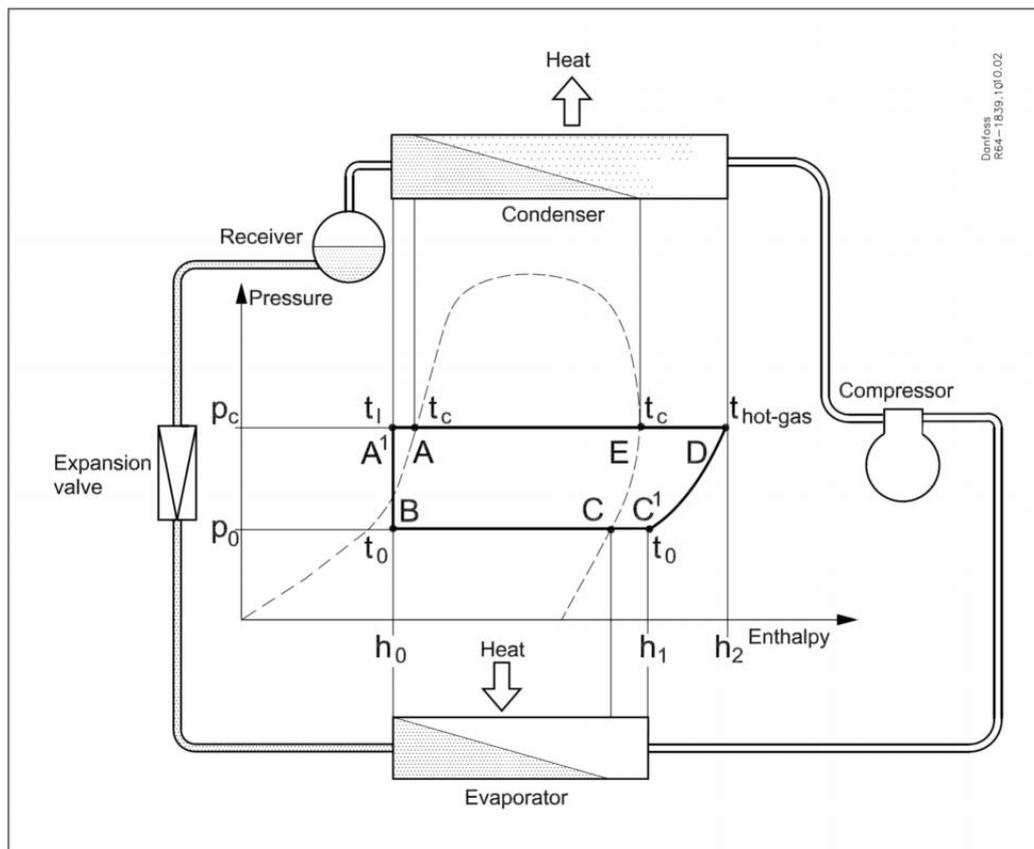


Figura 01: Diagrama Pressão x Entalpia associado ao Ciclo Básico de Refrigeração.

Fonte: Danfoss 2002

7.1.1 Eficiência e rendimento do ciclo termodinâmico de refrigeração

A despeito de uma abordagem termodinâmica mais clássica, o termo COP (Coefficient Of Performance) é o mais empregado atualmente, inclusive estando muito difundido mesmo no meio científico, onde várias bibliografias adotam esta terminologia como sinônimo de eficiência do ciclo termodinâmico de refrigeração.

O conceito de performance está intrinsicamente ligado à otimização do processo, ou seja, a relação entre a energia útil e o dispêndio de energia para obtenção da mesma durante a realização deste processo, que especificamente no caso do ciclo de refrigeração, associa a capacidade de refrigeração à potência de compressão consumida, conforme demonstrado pela equação a seguir.

$$COP = \frac{Q_E}{W_C}$$

Q_E capacidade frigorífica [W]

W_C consumo de potência [W]

COP coeficiente de performance

7.2 Componentes do sistema de refrigeração

A seguir serão detalhados os principais componentes de um sistema de refrigeração por compressão de vapor.

7.2.1 Condensador

O tipo de condensador mais utilizado na indústria é o condensador evaporativo. Ele utiliza o ar úmido saturado como meio de resfriamento. O refrigerante no estado vapor, a alta temperatura e na pressão da descarga dos compressores, circula através da serpentina de condensação, a qual é resfriada constantemente com água circulada que é aspergida sobre a serpentina. O ar forçado para cima, pelo ventilador, causa a evaporação de uma pequena quantidade de água. Esta evaporação retira o calor da serpentina, resfriando-a com consequente condensação do vapor.

Os condensadores evaporativos possuem algumas vantagens em relação aos outros tipos de condensadores (a ar e a água). Com relação ao condensador a ar, as principais

vantagens são a redução da área de transferência de calor, a vazão de ar, além da redução sensível da temperatura de condensação do refrigerante no ciclo frigorífico. Isto proporciona uma redução de aproximadamente 25% no consumo de potência total (compressor + ventilador no condensador a ar versus compressor+ ventilador + bomba no evaporativo) e cerca de 20% no deslocamento volumétrico do compressor, para uma mesma capacidade de resfriamento. Isto se deve ao fato de que o condensador a ar é limitado pela temperatura de bulbo seco do ar (TBS), enquanto que o condensador evaporativo é limitado pela temperatura de bulbo úmido (TBU) que é normalmente entre 8°C e 14°C abaixo da TBS.

Com relação ao condensador a água, as vantagens são a vazão de água de reposição que é cerca de 15% menor que a torre de resfriamento associada ao condensador a água, além de uma pequena redução da temperatura de condensação do refrigerante no ciclo frigorífico. Isto proporciona uma redução de cerca de 7% no consumo de potência total (compressor + bomba + ventilador da torre, para o condensador a água versus compressor + ventilador + bomba no evaporativo) e cerca de 3% no deslocamento volumétrico do compressor, para uma mesma capacidade de resfriamento. Isto se deve ao fato de que no caso do condensador a água, entre o refrigerante (elemento a ser condensado) e o ar úmido (fonte de resfriamento), existe como fluido intermediário a água que circula entre o condensador e a torre de resfriamento, provocando um pequeno aumento no gradiente total de temperatura do processo.

7.2.2 Evaporador

Os Evaporadores são trocadores de calor utilizados para retirar calor do ambiente ou produto a ser refrigerado. Normalmente em sistemas de refrigeração industrial se utiliza forçadores de ar, que são evaporadores para resfriamento de ar compostos basicamente de uma serpentina com circulação de ar forçada por ventiladores (normalmente axiais) e dotados ainda de uma bandeja coletora de condensado. São os resfriadores utilizados em câmaras frigoríficas de estocagem e nos diversos tipos de túneis de congelamento.

Para o dimensionamento de um forçador de ar, é necessária a determinação das condições em que os mesmos irão operar. Uma delas é o Δt , que depende da temperatura interna do ar da câmara e da temperatura de evaporação do refrigerante no interior da serpentina:

$$\Delta t = \text{Temperatura do Ar Interno da Câmara} - \text{Temperatura de Evaporação}$$

A determinação do Δt está diretamente relacionada à umidade relativa interna na câmara. Quanto menor o Δt , maior será a umidade relativa e vice-versa. Desta forma, produtos não protegidos por embalagem desidratam proporcionalmente ao Δt , o que ocorre principalmente para produtos resfriados.

7.2.3 Dispositivo de expansão

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.

Normalmente, os sistemas industriais com evaporador inundado possuem, após a válvula de expansão, um separador de líquido, o qual tem como objetivo principal manter o evaporador cheio de líquido e aumentar a geração de vapor, favorecendo a troca de calor latente.

7.2.4 Compressores

A escolha do compressor a ser utilizado em uma determinada instalação de refrigeração é de fundamental importância para a correta operação desta instalação. As opções de compressores variam em função do tipo de compressor e da capacidade requerida pela instalação.

Em instalações de refrigeração industrial, normalmente são utilizados compressores alternativos abertos ou os do tipo parafuso. A seguir iremos aprofundarmos mais nos compressores tipo parafuso que é nosso objeto de estudo.

O compressor parafuso é uma máquina de deslocamento positivo que possui dois rotores acoplados. O rotor macho tem um perfil convexo, ao contrário do rotor fêmea, que possui um perfil côncavo. Não possuem válvulas de admissão e descarga, e funcionam em alta rotação, combinando grandes capacidades com dimensões externas reduzidas.

O processo de compressão é dividido em três etapas: sucção, compressão e descarga. A sucção ocorre quando os espaços entre os lóbulos se abrem e aumentam de volume. O gás então é puxado através da entrada e preenche o espaço entre os lóbulos. Quando os espaços entre os lóbulos alcançam o volume máximo, a entrada é fechada. Na compressão, o volume dos espaços entre os lóbulos diminui e o gás permanece confinado nesses espaços, com um

consequente aumento de pressão. Quando os rotores estão na posição final, o gás armazenado entre os lóbulos alcança a região de descarga e esta é iniciada.

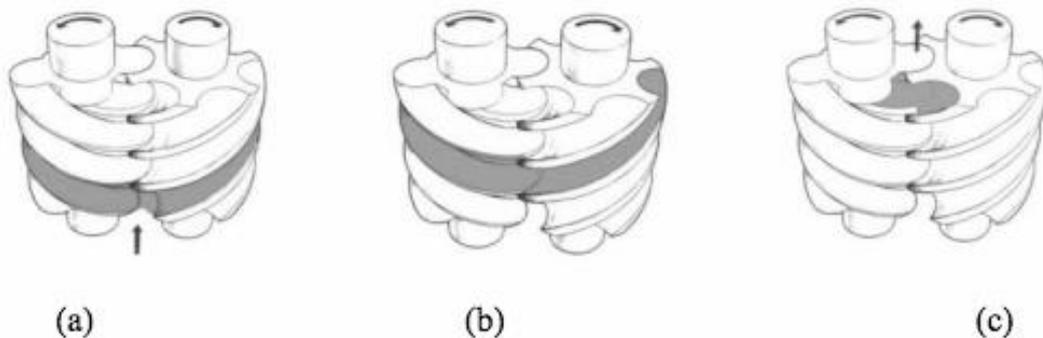


Figura 2: Processos de (a) sucção, (b) compressão e (c) descarga em um compressor parafuso.

Fonte: CASTRO, 2008.

Os espaços entre os rotores e a folga existente entre os mesmos e a carcaça são selados por meio de injeção de óleo entre os rotores, a fim de lubrificar, evitar desgastes, resfriar e vedar. Mais tarde, este óleo é separado do gás no separador de óleo.

A capacidade dos compressores parafuso pode ser ajustada de maneira contínua e pontual desde a capacidade máxima (100%) até um mínimo (em torno de 10-15%), dependendo das condições de operação. Essa regulagem pode ser feita de várias maneiras. O princípio básico é colocar uma válvula que regula a passagem de gás para o interior da câmara de compressão. Outra solução é o controle da rotação do compressor através de um inversor de frequência que pode ser utilizado para uma larga faixa de operação (até cerca de 45% da carga máxima), sem nenhum mecanismo regulador. Neste caso, a eficiência do compressor fica bem melhor do que quando o controle é realizado pelo mecanismo regulador.

7.3 Resfriamento de óleo em compressores parafuso

O calor transferido para o óleo durante a compressão deve ser removido através de um sistema de resfriamento. Existem duas maneiras de remover esse calor:

- Refrigeração Direta: Por injeção de líquido refrigerante diretamente no bloco compressor;
- Refrigeração Indireta: Através de um trocador de calor externo ao compressor onde o agente secundário pode ser: água, ar ou refrigerante (termosifão).

Onde cada um dos sistemas possui características, vantagens e desvantagens conforme detalhamento a seguir.

7.3.1 Resfriamento direto por injeção de líquido

O refrigerante proveniente do reservatório de líquido é expandido e injetado no compressor em uma fase intermediária da compressão, onde ao se evaporar este resfria o óleo ainda dentro do compressor, fazendo com que a temperatura de descarga fique mais baixa que a do sistema indireto, normalmente entre 50 e 60°C, dependendo das propriedades do óleo lubrificante utilizado e da temperatura de condensação.

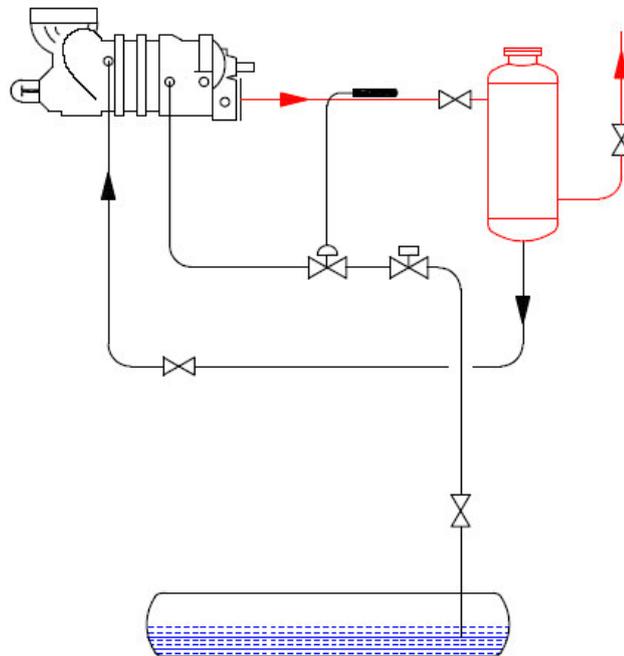


Figura 3: Esquema de Compressor Parafuso com Sistema de Resfriamento de Óleo por Injeção de Refrigerante Líquido.

Fonte: GEA Group 2004

Normalmente os fabricantes de compressores parafuso recomendam a aplicação de injeção de líquido para cargas de resfriamento do óleo de até 10% da capacidade total do compressor no regime considerado, acima disto a capacidade efetiva do compressor reduz muito, pois o líquido injetado ocupa parte do espaço do refrigerante proveniente da sucção, ou seja, para uma mesma vazão de refrigerante na descarga, se injetarmos mais líquido para resfriar o óleo, teremos uma parcela menor de deslocamento volumétrico disponível para a sucção.

A potência requerida para a compressão nos sistema de injeção de líquido é ligeiramente superior que para os sistemas indiretos, resultando em um COP (Coeficiente de Performance) menor, e conseqüentemente em um consumo de energia superior para a mesma capacidade.

Outro fator importante para este tipo de sistema é a necessidade de uma maior atenção na manutenção, pois se o conjunto de expansão ficar desregulado pode causar alta temperatura no óleo por falta de refrigerante, reduzindo assim suas propriedades de lubrificação e também a vida útil do compressor, ou no caso de excesso de líquido o óleo ficará diluído, podendo comprometer seriamente a lubrificação dos rotores, com grande possibilidade de fundir o compressor e perder todo o bloco.

O uso da injeção de líquido é recomendado nos casos em que não for possível aplicar qualquer um dos tipos de sistema indireto, seja para o resfriamento a água, a ar ou por termosifão.

Dependendo do sistema de controle (eletrônico ou eletro-mecânico) utilizado, este pode ser o sistema mais econômico do ponto de vista do investimento inicial, porém deve-se considerar o maior custo operacional em função do menor COP do compressor.

O fabricante do compressor deve ser consultado sobre os tipos de óleo indicados para este sistema de resfriamento, pois alguns dos normalmente utilizados nos sistemas indiretos não são recomendados para injeção de líquido.

7.3.2 Resfriamento indireto por água

Normalmente utiliza-se parte da água de torre de resfriamento consumida no condensador casco e tubo para circular no resfriador de óleo. Este sistema permite uma menor variação da temperatura do óleo, pois se pode manter facilmente a temperatura da água da torre dentro dos parâmetros de projeto do resfriador de óleo.

A água que circula no resfriador de óleo e no condensador deve ser tratada quimicamente para evitar ou minimizar a incrustação que reduz a eficiência do resfriador e também para evitar/reduzir a corrosão do trocador de calor. Na ocorrência de água com alta dureza ou tratamento inadequado, a parada do sistema para manutenção corretiva do resfriador é inevitável ou em alguns casos substituição completa do resfriador de óleo quando a corrosão atingir níveis críticos.

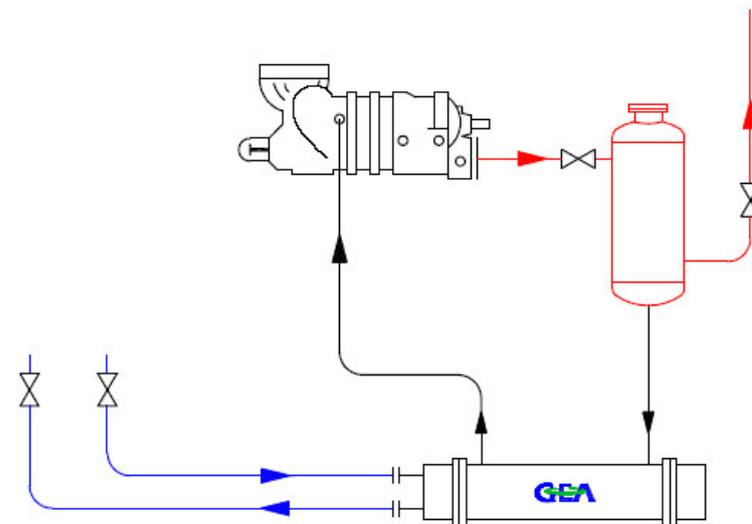


Figura 4: Esquema de Compressor Parafuso com Sistema de Resfriamento de Óleo por água.
Fonte: GEA Group 2004

7.3.3 Resfriamento indireto por ar

Sistema indireto utilizado nos casos de indisponibilidade de água para o resfriamento de óleo (Ex: sistema de refrigeração com condensadores resfriador a ar). Este tipo de condensador está se difundindo muito no mercado brasileiro objetivando-se a eliminação do tratamento de água de condensação. De acordo com a tarifa de energia elétrica praticada pela distribuidora, mesmo com uma temperatura de condensação maior que acarreta em um maior consumo de energia nos compressores, o custo operacional da instalação pode ficar inferior ao com condensação à água quando se considera o custo dos produtos químicos.

As limitações de uso do sistema indireto com ar como fluido secundário são:

- Necessidade de maior ventilação na sala de máquinas, ou colocação do resfriador de óleo no ambiente externo;
- Ambientes sujeitos a poeira requerem cuidados adicionais;
- Requer espaço físico para a instalação do conjunto resfriador/ventilador;
- Consumo de energia elétrica para acionamento dos ventiladores, bem como sua interligação com o quadro elétrico de comando e proteção do sistema;
- Maior quantidade de componentes sujeitos a falhas.

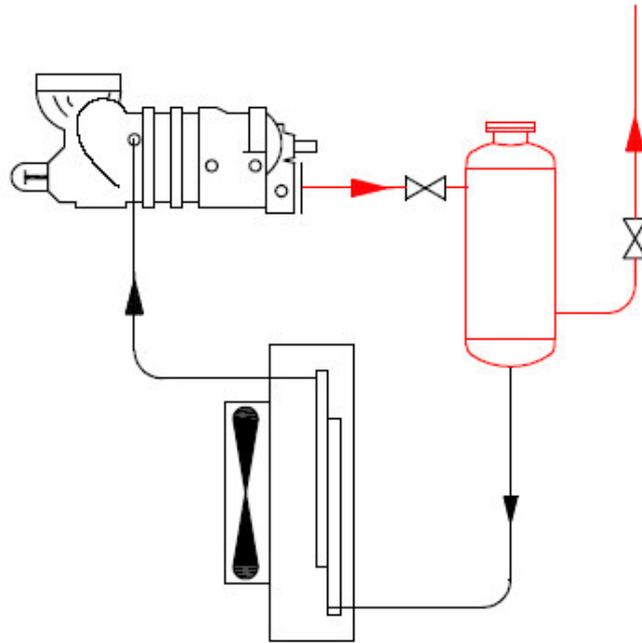


Figura 5: Esquema de Compressor Parafuso com Sistema de Resfriamento de Óleo por ar.
Fonte: GEA Group 2004

7.3.4 Resfriamento indireto por termosifão

Neste sistema utiliza-se o próprio refrigerante do sistema frigorífico para o resfriamento do óleo, através de um trocador de calor inundado que não necessita de bomba, válvula de controle, etc.; pois o óleo ao aquecer o refrigerante dentro do trocador este se evapora e como o vapor tem uma densidade menor que o líquido que é alimentado, a circulação é proporcionada pela diferença de densidade.

As vantagens do resfriamento de óleo por termosifão são:

- Aplicável em sistemas com condensação à ar ou à água;
- Maior COP dos compressores (Menor consumo de energia);
- Não necessita de bomba para circulação do fluido refrigerante;
- Dispensa limpeza periódica (Não utiliza água ou ar);
- Dispensa manutenção, pois o sistema é fechado juntamente com o circuito frigorífico.
- Não tem desgaste por não possuir peças móveis (Bombas ou ventiladores);
- Auto ajustável, pois com maior ou menor temperatura do óleo o sistema evapora mais ou menos refrigerante de acordo com a necessidade sem qualquer tipo de controle externo.

Os requisitos para que o sistema por termosifão seja aplicado são:

- Seleção do trocador de calor brasado adequado para o regime e as alturas disponíveis na sala de máquinas;
- A altura para proporcionar a coluna de líquido mínima para o sistema, normalmente situa-se entre 1,5 e 2,0 m;
- Dimensionamento da tubulação de alimentação e em especial atenção para a saída, pois existem faixas de velocidade para cada refrigerante para que o fluxo necessário seja proporcionado ao resfriador de óleo;
- Dimensionamento dos acessórios da tubulação (Válvulas, curvas, cotovelos, etc.) para que a perda de carga do sistema seja vencida pela coluna de líquido disponível.

O fluxograma básico do sistema de resfriamento de óleo por termosifão com tanque distribuidor de líquido pode ser visualizado na figura a seguir.

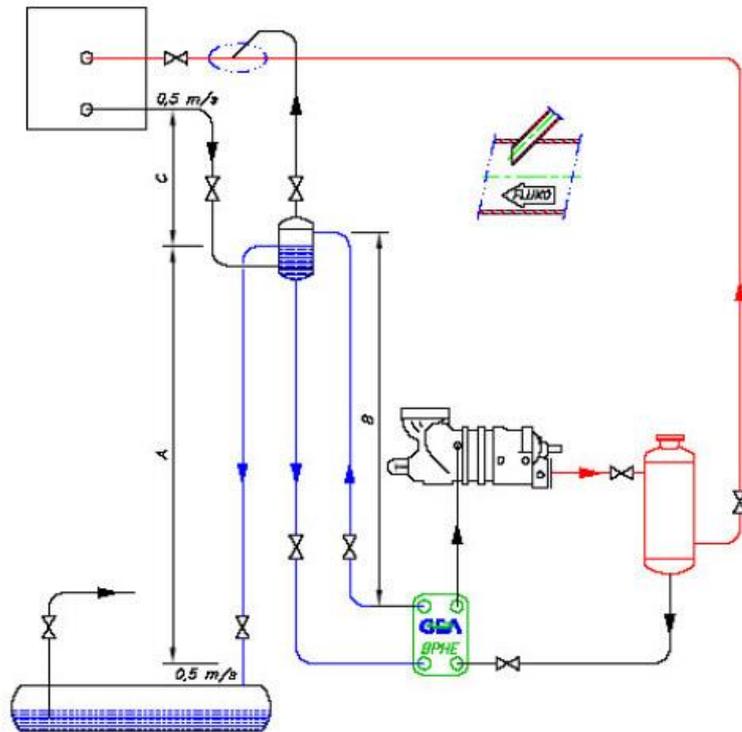


Figura 6: Esquema de Compressor Parafuso com Sistema de Resfriamento de Óleo por termosifão.

Fonte: GEA Group 2004

8 MATERIAIS E MÉTODOS

8.1 Obtenção dos dados

Para determinação da diminuição da capacidade efetiva do compressor e do aumento do consumo de energia, ocasionados pelo resfriamento de óleo por injeção de líquidos, foi utilizado o programa computacional *Mycom Screw Compressor Performance*. Trata-se de um software de seleção de compressores da empresa Mayekawa.

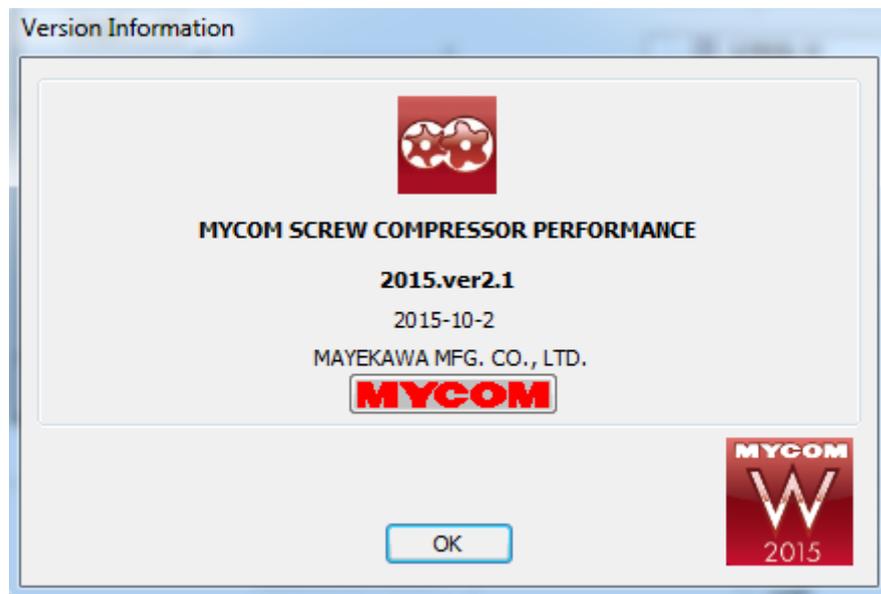


Figura 7: Créditos do programa computacional Mycom Screw Compressor Performance

Fonte: Mayekawa 2015

Após abrirmos o programa, na primeira janela devemos escolher o tipo de sistema de refrigeração em que o compressor irá trabalhar: Simple estágio, duplo estágio com um compressor ou duplo estágio com dois compressores. Para nossa simulação escolheremos um sistema de simple estágio.



Figura 8: Janela de seleção do tipo de sistema em que o compressor será utilizado.

Fonte: Mayekawa 2015

No próximo passo indicamos o modelo do compressor, além de outras informações importantes de projeto como: o regime de trabalho, subresfriamento, superaquecimento e velocidade de rotação.

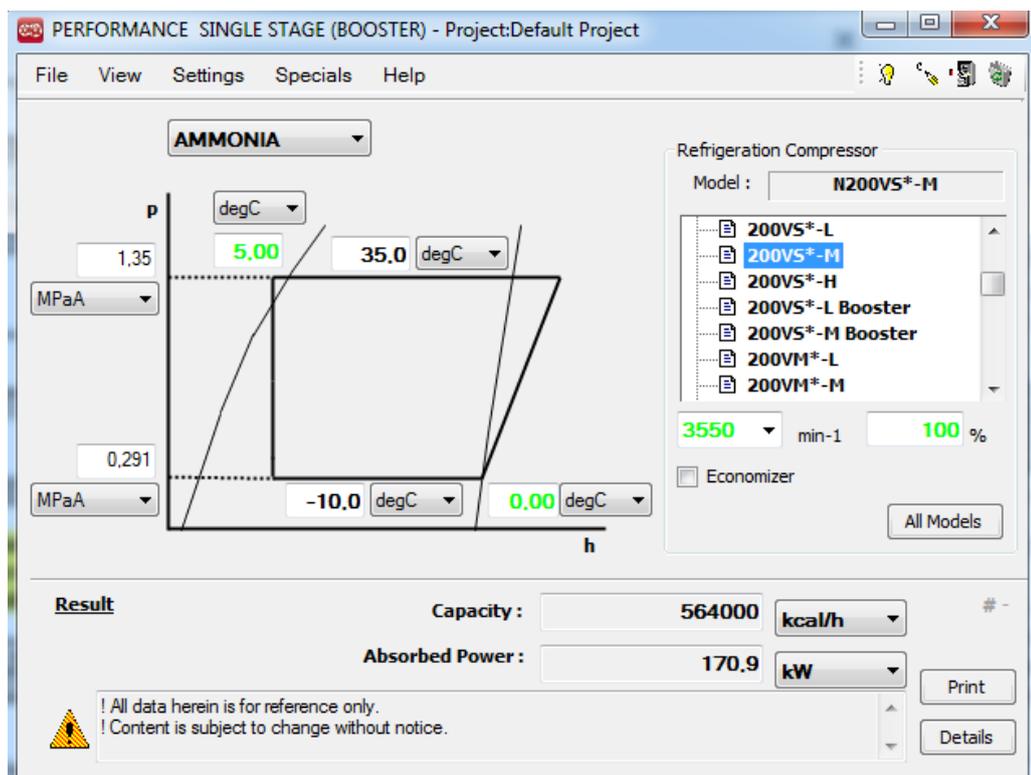


Figura 9: Janela de seleção do modelo do compressor e demais parâmetros do ciclo.

Fonte: Mayekawa 2015

Neste estudo iremos simular três compressores de diferentes capacidades: 160VL-L, 200VS-M e 200VM-M. Utilizamos os seguintes parâmetros do ciclo frigorífico para todos os três modelos:

- Subresfriamento: 5°C
- Superaquecimento: 0°C
- Regime de trabalho: -10°C / +35°C
- Rotação: 3550 rpm.

Em seguida selecionamos o tipo de resfriamento de óleo desejado: injeção de líquido e termosifão.

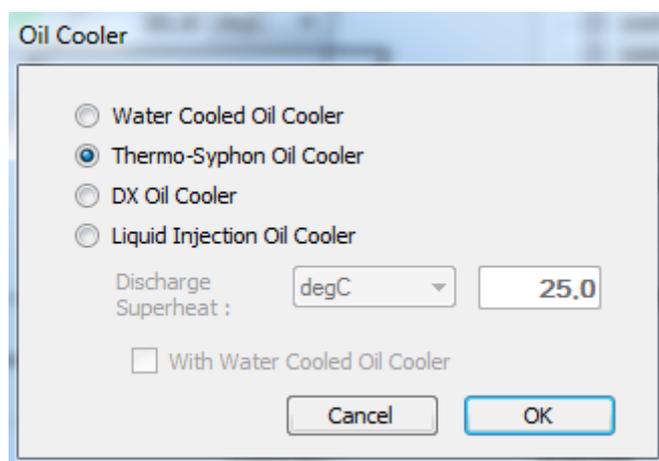


Figura 10: Janela de seleção do tipo de resfriamento de óleo.

Fonte: Mayekawa 2015

Após alimentarmos o programa com todos os dados, obtivemos os valores de capacidade frigorífica e potência consumida conforme a tabela a seguir.

Compressor	Com injeção de líquido		Com termosifão	
	Capacidade frigorífica [KW]	Potência consumida [KW]	Capacidade frigorífica [KW]	Potência consumida [KW]
160VL-L	490,2	132,9	498	129
200VS-M	641,1	176	655,9	170,9
200VM-M	810,2	213,3	824,9	207,2

8.2 Análise dos resultados

Conforme vimos anteriormente a melhor forma de quantificarmos as alterações no desempenho do ciclo frigorífico é através do cálculo do COP (Coefficient Of Performance). Com os dados obtidos no programa de seleção de compressores, foram calculados os efeitos da substituição do sistema de resfriamento de óleo no coeficiente de performance do ciclo e consequentemente no consumo de energia dos compressores, conforme podemos ver na tabela a seguir:

Compressor	Injeção de líquido	Termosifão	Aumento em %
160VL-L	3,69	3,86	4,7%
200VS-M	3,64	3,84	5,4%
200VM-M	3,80	3,98	4,8%

9 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A melhoria em eficiência energética nas instalações de refrigeração industrial é imprescindível para se atingirem os objetivos do novo modelo de desenvolvimento, tanto pela redução da degradação ambiental, como pelo aumento dos resultados econômicos.

Como consequência dos estudos desenvolvidos para realização deste trabalho e com base na análise dos resultados obtidos pode-se demonstrar teoricamente o aumento do coeficiente de performance do ciclo com a utilização do sistema de resfriamento de óleo por termosifão, em relação ao sistema de resfriamento direto por injeção de líquido.

10 CRONOGRAMA

ATIVIDADES	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	FEV	MA R	ABR	MAI	JUN	JUL
Escolha do tema e do orientador											
Encontros com o orientador											
Pesquisa bibliográfica preliminar											
Leituras e elaboração de resumos											
Elaboração do projeto											
Entrega do projeto de pesquisa											
Revisão bibliográfica complementar											
Coleta de dados complementares											
Revisão e entrega oficial do trabalho											
Apresentação do trabalho em banca											

11 REFERÊNCIAS

STOECKER, W.F., SAIZ JABARDO, J.M., Refrigeração Industrial. 2a Edição, Editora Edgard Blucher. São Paulo, 2002.

MINER, S. M. “Advancements in Screw Compressor Oil Cooling Systems – Analyzed and Compared.” Artigo B2-091, 16º International Congress of Refrigeration, International Institute of Refrigeration. Paris, 1983.

TASSINI, J.O. Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial: Estudo de Caso. 2012. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia - Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

RAHN, M.A.S. Estudo da eficiência energética em sistemas de refrigeração mecânica que utilizam R-717 contaminado por água: uma aplicação para indústria pesqueira do Rio Grande. 2006. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2006.

VENTURINI, O. J.; PIRANI, M. J. Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial. 1. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005a. 316 p.

VENTURINI, O. J.; PIRANI, M. J. Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial – Manual Prático. 1. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005b. 75 p.

MAYEKAWA MFG. CO. LTD., Mycom Screw Compressor Performance Software V. 2.1 ep. 2015.

YAWATZ ENGENHARIA. Treinamento em Refrigeração Industrial com Amônia, 2014.