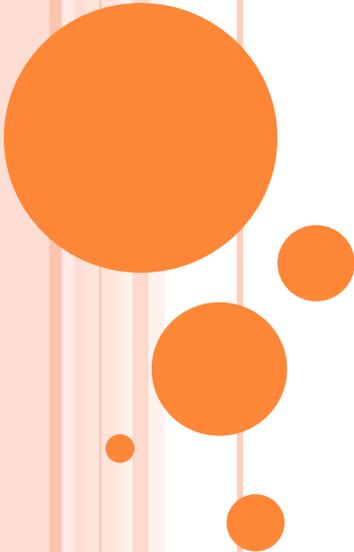


EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS E INSTALAÇÕES

PROF. RAMÓN SILVA



Engenharia de Energia

Dourados MS - 2013

GERAÇÃO DE FRIO

- **Coeficiente de Performance do Ciclo (COP)** - É um parâmetro importante na análise das instalações frigoríficas.
- Embora o COP do ciclo real seja sempre menor que o do ciclo teórico, para as mesmas condições de operação, pode-se, com o ciclo teórico, verificar que parâmetros influenciam no desempenho do sistema.

○ Coeficiente de Performance do Ciclo (COP)

- O COP é definido por:

$$COP = \frac{\text{Energia Util}}{\text{Energia Gasta}} = \frac{\dot{Q}_o}{\dot{W}_c} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

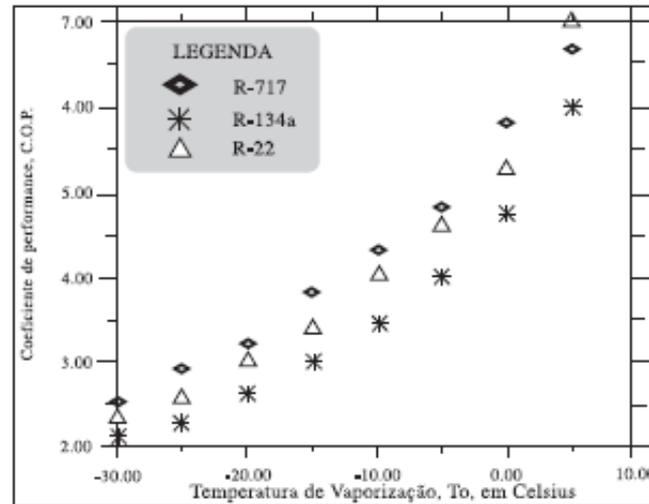
Na equação 1, h_1 representa a entalpia do fluido refrigerante na saída do evaporador (entrada do compressor); h_2 , a entalpia na descarga do compressor; e h_4 , a entalpia na entrada do evaporador.

- **Coeficiente de Performance do Ciclo (COP)**
- Pode-se inferir que, para ciclo teórico, o COP é função somente das propriedades do refrigerante.
- Conseqüentemente, depende das temperaturas de condensação e vaporização.

- **Coeficiente de Performance do Ciclo (COP)**
- Para o ciclo real, entretanto, o desempenho dependerá muito das propriedades na sucção do compressor, do próprio compressor e dos demais equipamentos do sistema.

- **Influência da temperatura de evaporação no COP do ciclo teórico –**
- Para ilustrar o efeito que a temperatura de evaporação exerce sobre a eficiência do ciclo, será considerado um conjunto de ciclos em que somente a temperatura de evaporação (T_0) é alterada.

- **Influência da temperatura de evaporação no COP do ciclo teórico**



- Como pode ser observado, uma redução na temperatura de evaporação resulta em redução do COP; isto é, o sistema se torna menos eficiente.

- **Aumento da temperatura de evaporação**
- Quanto maior a temperatura de evaporação em que o sistema frigorífico opera, menor o consumo de energia.
- Tipicamente, cada 1°C de aumento na temperatura de evaporação diminui o consumo de energia em aproximadamente, 1 a 4%.

- **Aumento da temperatura de evaporação**
- A redução no volume específico do fluido refrigerante associada ao aumento da temperatura de evaporação também afeta significativamente a capacidade frigorífica do compressor e a perda de pressão na linha de sucção.
- Pode-se estimar que cada 1°C de aumento na temperatura de evaporação corresponderá um aumento de 4 a 6% na capacidade frigorífica do compressor, implicando menor tempo de operação deste equipamento.

- Alguns dos procedimentos para elevar a temperatura de evaporação:
 - Assegure-se de que os ciclos de degelo ocorram de forma adequada, mantendo a superfície de troca de calor dos evaporadores livre de gelo.
 - Assegure-se de que os produtos armazenados na câmara não obstruam o fluxo de ar dos evaporadores.

- Alguns dos procedimentos para elevar a temperatura de evaporação:
 - Mantenha as superfícies de transferência de calor sempre limpas, não permitindo o acúmulo de poeira, óleo, formação de incrustações, etc.
 - Assegure-se de que não ocorra o acúmulo de óleo lubrificante dos compressores no interior dos evaporadores, mediante o dimensionamento correto das linhas de sucção e da utilização de separadores de óleo eficientes.

- Alguns dos procedimentos para elevar a temperatura de evaporação:
 - Limpe ou troque periodicamente os filtros de refrigerante, de forma que a perda de pressão através dos mesmos seja mínima.
 - Ajuste a temperatura de evaporação para o maior valor permissível, em função das necessidades do processo.

- A Tabela II.1 ilustra os efeitos do aumento da temperatura de evaporação na potência de um determinado compressor alternativo semi-hermético utilizado em um equipamento frigorífico para o resfriamento de propileno glicol.

Temp. de Evaporação	Capacidade Frigorífica	Pot. do Compressor	Eficiência kW/TR
[°C]	[TR]	[kW]	[kW/TR]
- 5,0	45,95	49,8	1,08
0,0	50,07	52,3	0,94
+5,0	67,58	55,3	0,81

- Os dados são baseados numa temperatura de condensação de 40°C. O sistema utiliza como refrigerante o R22.

- **Diminuição da temperatura de condensação**
- A utilização de menores temperaturas de condensação resulta em menor consumo de energia nos sistemas frigoríficos.
- Tipicamente, cada 1°C de redução na temperatura de condensação reduz o consumo de energia em aproximadamente 2 a 3%, obtendo-se ainda um pequeno aumento de capacidade no compressor.

- Algumas das formas de reduzir a temperatura de condensação:
 - Assegure-se de que o sistema trabalhe com a menor pressão de condensação possível, adotando, por exemplo, válvulas de expansão eletrônicas.
 - Mantenha as superfícies de transferência de calor sempre limpas, não permitindo o acúmulo de poeira, óleo, formação de incrustações, etc.

- Algumas das formas de reduzir a temperatura de condensação:
 - Evite a instalação dos condensadores em locais sujeitos a radiação solar direta ou próximos de fontes de calor.
 - Assegure-se de que o ar quente que deixa os condensadores não seja novamente aspirado pelos ventiladores. Isto é, evite a formação de "curto-circuito" do ar de resfriamento.
 - Caso necessário, instale dutos de ar ou defletores para evitar o curto-circuito.

- Algumas das formas de reduzir a temperatura de condensação:
 - Assegure-se de que o fluxo de ar de resfriamento dos condensadores não esteja restringido. Obedeça à recomendação do fabricante quanto ao distanciamento de paredes e condensadores vizinhos.
 - Assegure-se de que os ventiladores operem de forma correta e eficiente, estabelecendo um programa de manutenção periódica de correias e motores.

- Algumas das formas de reduzir a temperatura de condensação:
- Caso sejam utilizados condensadores resfriados a água, adote um sistema de tratamento periódico da mesma, evitando-se a formação de incrustações no interior das tubulações.

- Promova a remoção periódica de ar e gases não condensáveis do interior do sistema.
- Instale um sistema automático de purga de gases não condensáveis. Isto fará com que o sistema opere com menores pressões de condensação.

- Uma boa prática de manutenção é manter um histórico da temperatura de condensação, de forma que se possa identificar e corrigir eventuais desvios das condições ótimas.
- Uma análise simplificada, porém bastante eficiente, de analisar esta temperatura pode ser feita com base no procedimento abaixo:

- 1. Meça a temperatura do meio de resfriamento do condensador (água ou ar) na saída do mesmo.
- 2. Some à temperatura medida acima $5,5^{\circ}\text{C}$. O valor resultante será a temperatura de condensação teórica.
- 3. Meça a pressão de condensação, utilizando o manômetro da descarga do compressor.

- 4. Em uma tabela de propriedades termodinâmicas, determine a pressão de saturação correspondente à pressão medida no item 3.
- O valor resultante é a temperatura de condensação real.

- 5. Se a pressão de condensação real for maior que a pressão de condensação teórica, o sistema de condensação pode estar com problemas.
- Verifique se o mesmo está limpo, se há fluxo suficiente do meio de resfriamento (ar ou água), se não há ar no sistema, etc.

Exemplo. Um sistema frigorífico utiliza condensador resfriado à água e amônia (R717) como refrigerante. A medição da temperatura da água na saída do condensador resultou em 38°C. A pressão de condensação, lida no manômetro da descarga do compressor, é de 18,5 bar. Analise a temperatura de condensação deste sistema.

Temp. de condensação teórica: $(T_c)_{teor} = T_{sai} + 5,5 = 38 + 5,5 = 43,5^\circ\text{C}$

Pressão de condensação absoluta: $P_{abs} = P_{man} + P_{atm} = 18,5 + 1,0 = 19,5 \text{ bar}$

Temp. de condensação real para $P = 19,5 \text{ bar}$, utilizando a tabela de saturação do R717, $(T_c)_{real} = 48,5^\circ\text{C}$.

Como a temperatura de condensação real é maior que a temperatura de condensação teórica, o sistema de condensação pode estar com um dos problemas listados acima. Neste caso foi identificado que havia incrustações no condensador. A diferença entre estas temperaturas é de $5,0^{\circ}\text{C}$ ($= 48,5 - 43,5$). Considerando-se o percentual de redução de consumo citado acima, a limpeza dos tubos do condensador pode reduzir o consumo, para este caso, de 10 a 15%.

- **Aumento do subresfriamento**
- O subresfriamento do líquido antes de sua entrada na válvula de expansão aumenta a capacidade do sistema sem aumentar a potência consumida.

- **Aumento do subresfriamento**
- Portanto, o subresfriamento pode ser um ponto importante para aumentar a eficiência de sistemas frigoríficos.
- Normalmente, os sistemas frigoríficos operam com subresfriamento entre 3 e 4°C, No

- **Aumento do subresfriamento**
- No condensador, adota-se uma superfície de transferência de calor adicional, na forma de uma seção de subresfriamento.
- O refrigerante, após deixar o reservatório de líquido, passa pela seção de subresfriamento (serpentina) antes de entrar na válvula de expansão.

- **Aumento do subresfriamento**
- Este tipo de instalação é especialmente recomendado quando a linha de líquido é muito longa e/ou quando há trechos verticais ascendentes entre o reservatório e a válvula.
- A adoção desta técnica pode reduzir o consumo de 1% em sistemas de média temperatura e até 9% em sistemas de baixa temperatura.

- **Aumento do subresfriamento**
- No reservatório de líquido, ocorre perda de calor do refrigerante para o ambiente se este se encontra com temperatura inferior à de condensação.
- Assim, deve-se evitar a instalação do reservatório em locais expostos ao sol ou sujeitos a temperaturas elevadas.

- **Diminuição do superaquecimento**
- O superaquecimento corresponde ao aumento de temperatura do refrigerante acima da temperatura de evaporação.

- **Diminuição do superaquecimento**
- Quanto maior o superaquecimento, maior o volume específico do fluido na aspiração do compressor.
- Conseqüentemente, menor será a vazão mássica deslocada. Isto reduz a capacidade do compressor sem reduzir o seu consumo de potência, o que aumenta os custos.

○ Diminuição do superaquecimento

Exemplo. Para um sistema operando R22 a uma temperatura de evaporação de -10°C , a redução no consumo de energia do compressor devido à redução do superaquecimento é mostrada na tabela abaixo (Danfoss, 2003).

REDUÇÃO NO SUPERAQUECIMENTO [$^{\circ}\text{C}$]	REDUÇÃO NO CONSUMO DO COMPRESSOR [%]
5	1,8
10	3,7
15	5,4

- **Diminuição do superaquecimento**
- Para a determinação do superaquecimento, devem-se medir a pressão e a temperatura do fluido refrigerante na entrada do compressor.
- A partir da pressão e utilizando-se uma tabela de propriedades termodinâmicas para o fluido refrigerante, obtém-se a temperatura de saturação.
- A diferença entre a temperatura medida e a temperatura de saturação resulta no superaquecimento.

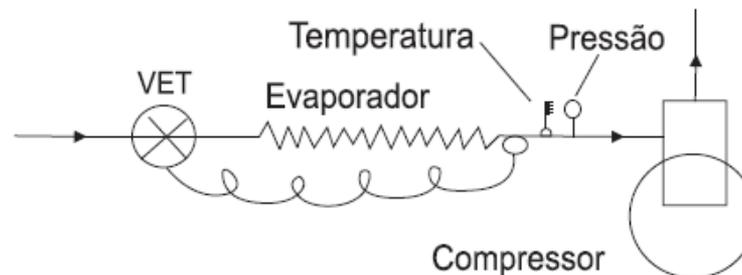
○ Diminuição do superaquecimento

Exemplo. Considere uma instalação frigorífica operando com R134a. A medição da pressão e temperatura do refrigerante na entrada do compressor (pontos indicados na Figura II.7) resultou nos seguintes valores 1,5 bar e 2°C. A pressão atmosférica local é de aproximadamente 1 bar. O superaquecimento será dado por:

Determinação da pressão absoluta: $P_{abs} = P_{man} + P_{atm} = 1,5 + 1,0 = 2,5 \text{ bar}$

Determinação da temperatura de saturação: para $P = 2,5 \text{ bar}$, utilizando a tabela de saturação do R134a (Pirani, 2005), $T_{sat} = -4^\circ\text{C}$

Determinação do superaquecimento: $\Delta T_{sup} = T_{med} - T_{sat} = 2 - (-4) = 6^\circ\text{C}$





REFERÊNCIAS

Eletrobrás, Procel, FUPAI – Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial– Manual Prático - 2005