

TERMODINÂMICA

CICLOS DE REFRIGERAÇÃO

R. Sobral

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

rodolfo.sobral@cefet-rj.br

Programa do Curso - Avaliação 02

- 3º Lei da Termodinâmica
- Geração de Entropia e Destruição de Exergia
- Ciclos de Potência
- Ciclos de Refrigeração
- Psicrometria
- Relações Termodinâmicas

Transferência de Calor

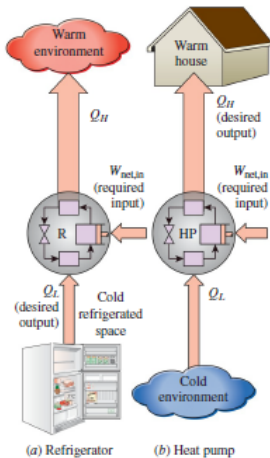
Vide equação de Fourier, calor flui espontaneamente na direção da menor temperatura, não necessitando de equipamentos ou dispositivos.

Refrigeração

Uma das grandes áreas de aplicação da termodinâmica, representa a transferência de calor de uma região de mais baixa temperatura para outra de mais alta.

Condicionamento de ar: Tratamento do ar no qual, temperatura/umidade/insuflamento/qualidade do ar são parâmetros de controle

Refrigerador x Bomba de Calor



Refrigeradores

Dispositivos cíclicos que utilizam como fluido de trabalho fluidos refrigerantes.

Análise quantitativa do ciclo de refrigeração.

$$COP = \frac{Q_L}{W} = \frac{\eta_{II}}{T_H/T_L - 1}$$

Sendo $0 \leq COP \leq (T_H/T_L - 1)^{-1}$.

Bombas de Calor

Transferem calor de um meio a baixa temperatura para um meio a alta temperatura. Refrigeradores e bombas de calor são dispositivos semelhantes diferindo apenas no objetivo final.

Análise quantitativa da bomba de calor.

$$COP' = \frac{Q_H}{W} = \frac{\eta_{II}}{1 - T_L/T_H}$$

Sendo $0 \leq COP' \leq (1 - T_L/T_H)^{-1}$.

Eficiências

Note que tais eficiências podem ser maiores do que 1, porém respeitando a seguinte relação:

$$COP' = COP + 1$$

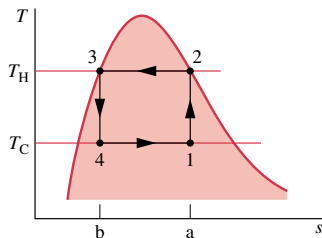
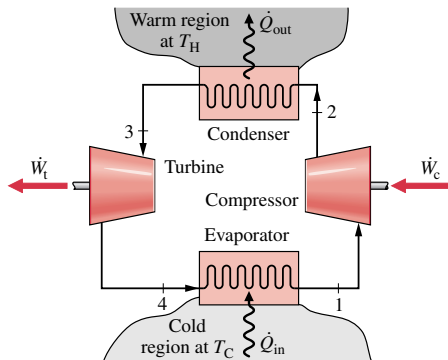
Capacidade de Resfriamento

Taxa de remoção de calor do espaço a ser refrigerado, usualmente expressa em toneladas de refrigeração (TR)

$$1\text{TR} = 211\text{kJ}/\text{min} = 200\text{Btu}/\text{min}$$

Refrigerador de Carnot

Composto por 2 isotermas e 2 isentrópicas, representa a eficiência térmica máxima para determinados limites de temperatura



Eficiências

- Refrigerador de Carnot

$$COP_{\text{Carnot}} = \frac{1}{T_H/T_L - 1}$$

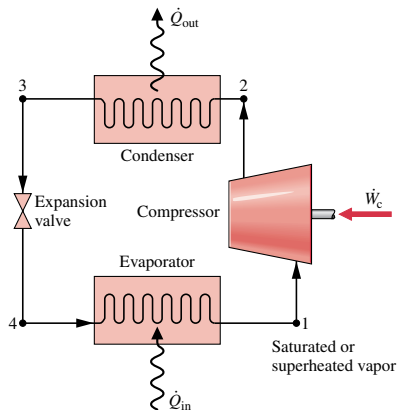
- Bomba de Calor de Carnot

$$COP'_{\text{Carnot}} = \frac{1}{1 - T_L/T_H}$$

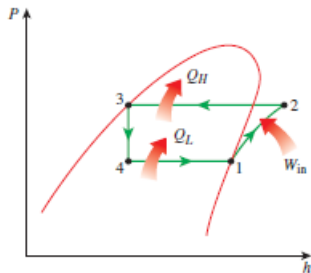
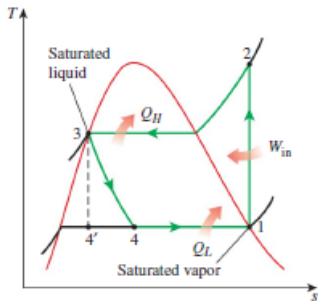
Observe que a variação dos COPs é inversamente proporcional a diferença entre as temperaturas

Ciclo Ideal por Compressão de Vapor

Composto por 1 isentrópica, 1 isoentálpica e 2 isobáricas, diferencia-se principalmente pela vaporização completa do refrigerante antes que haja compressão, além da substituição da turbina por um dispositivo de estrangulamento, seja válvula de expansão ou tubo capilar.



Ciclo Ideal por Compressão de Vapor



Análise Gráfica

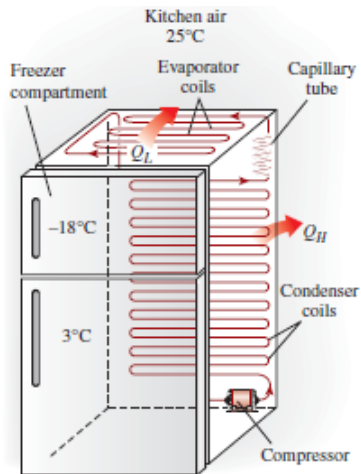
Na análise gráfica dos ciclos de potência a área delimitada pelas curvas de processo no diagrama $P - \nu$ representará o trabalho líquido produzido durante o ciclo.

No diagrama $T - s$ a área sob as curvas de processo representará a transferência de calor de cada processo.

Ponderações

Ao contrário dos demais ciclos ideais, o ciclo de refrigeração ideal por compressão de vapor não é um ciclo internamente reversível, visto que o mesmo envolve um processo de estrangulamento irreversível. Este processo é mantido no ciclo para que ele seja um modelo mais realista, uma solução prática, uma vez que os benefícios de uma turbina não justificam o custo e complexidades adicionais.

Refrigerador Doméstico - Vídeo 01



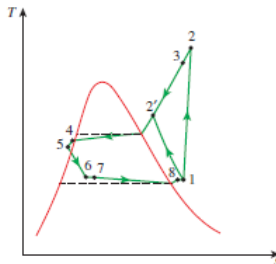
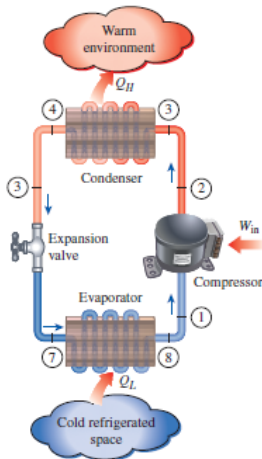
Ciclo Ideal por Compressão de Vapor - Balanço de Energia

Supondo dispositivos com escoamento em regime permanente e, desprezando-se as variações das energias cinética e potencial, o balanço de energia é expresso, por

$$(q_e - q_s) + (w_e - w_s) = h_s - h_e$$

Ciclo Real por Compressão de Vapor

Difere do ciclo ideal devido as irreversibilidades nos componentes, tais quais, atrito do fluido causando queda de pressão, além da dificuldade na obtenção de ambientes herméticos.



Seleção do Refrigerante

Tipos de fluidos refrigerantes: hidroclorofluorcarbonos (HCFCs), hidrofluorcarbonos (HFCs), amônia, hidrocarbonos (propano, isobutano, etano, etileno), dióxido de carbono, ar (condicionamento de ar de avião) a até mesmo água (aplicações acima do ponto de congelamento).

Os clorofluorcarbonos (CFCs) não podem mais ser utilizados em várias regiões do mundo devido ao seu efeito sobre a camada de ozônio.

Seleção do Refrigerante

Éter etílico em 1850 foi o primeiro refrigerante utilizado comercialmente em sistemas por compressão de vapor, seguido posteriormente pela amônia, dióxido de carbono, cloreto de metil, dióxido de enxofre, butano, etano, propano, isobutano, gasolina e CFCs.

Amônia

Embora seja tóxica, a amônia é muito utilizada nos setores industriais e comerciais.

Vantagens: baixo custo, alto COP, propriedades termodinâmicas e de transporte favorável, alto coeficiente de transferência térmica exigindo trocadores de calor de menor porte, facilidade na detecção de vazamento e nenhum efeito sobre a camada de ozônio.

Desvantagens: toxicidade tornando-a inadequada ao uso doméstico.

Freon

Ampla publicidade de alguns casos de vazamento que resultaram em doenças sérias e mortes nos anos 1920 causou um movimento popular para eliminação ou limitação do uso de refrigerantes tóxicos em escala doméstica.

Em 1928 parceria da GM com a Du Pont deu início ao desenvolvimentos dos refrigerantes denominados CFCs na época considerado mais adequado para uso doméstico devido sua versatilidade e baixo custo. R11, R12, R21, R22, R115, R502.

Porém em 1970, com a crise do ozônio causando uma grande agitação na indústria de refrigeração e condicionamento de ar, tratados ambientais começaram a ser feitos afim do banimento destes fluidos refrigerantes.

R12 e R22 - mais utilizados como fluido refrigerante em refrigeradores de janela

Refrigerantes

Nos dias atuais utilizamos em sua maioria refrigerantes não halogenados, o R134a é o mais utilizado no setor doméstico por não conter cloro.

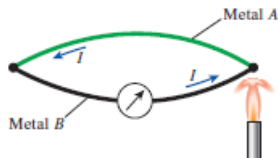
Requisitos

Para ter transferência de calor em taxa razoável, uma diferença de temperatura entre 5°C e 10°C deve ser mantida entre o refrigerante e o meio com o qual ele troca calor, em caso negativo para respectivo fluido selecionado, configura-se usualmente sistemas em cascata .

Afim de que selecione um fluido refrigerante correto faz-se necessário as seguintes demandas: não ser tóxico, corrosivo, inflamável, quimicamente instável, ter baixo custo e alta entalpia de vaporização afim de minimizar a vazão mássica.

Termoeletricidade

Considere dois fios formados por metais diferentes conectados em ambos os lados, formando um circuito fechado, quando um dos lados é aquecido, uma corrente flui continuamente no circuito, denominando-se a tal fenômeno efeito Seebeck, responsável por tal descoberta em 1821.



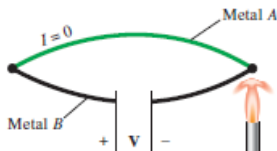
Aplicações

O efeito Seebeck tem duas aplicações importantes, medição da temperatura e geração de potência.

Medição de Temperatura

Quando o circuito termoeletrico é quebrado, a corrente para de fluir e pode-se medir com um voltímetro a força eletromotriz gerada no circuito.

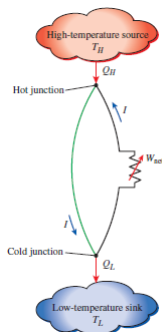
Tal voltagem é representada em função da temperatura e do material dos fios, logo a temperatura pode ser mensurada simplesmente pela medição da voltagem, tal analogia descreve o princípio dos **termopares industriais**.



Geração de Potência

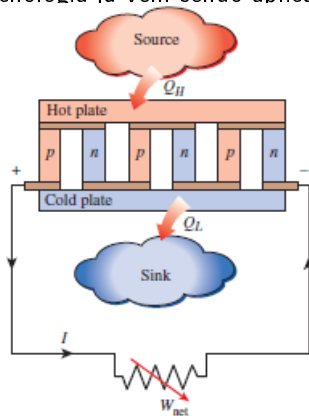
Calor é transferido da fonte de alta temperatura para a junta aquecida Q_H e é rejeitado na junta fria para um sumidouro a baixa temperatura na quantidade Q_L , a diferença entre essas duas grandezas representa o trabalho elétrico líquido produzido, tendo o trânsito de elétrons atuando como fluido de trabalho.

A principal desvantagem destes tipos de geradores é a baixa eficiência decorrente da microestrutura dos materiais e presença de elétrons livres



Geração de Potência Termoelétrica

As vantagens são inúmeras, baixo densidade específica, alta confiabilidade, compacticidade, segurança, devido a todas estas características estudos continuam sendo realizados afim de que se obtenha efetividade de tal fenômeno. Inclusive desde 1980 tal tecnologia já vem sendo aplicada em veículos espaciais



Gerador termoelétrico com materiais pigmentados do tipo n com excesso de elétrons e do tipo p com deficiência de elétrons conectados em série

Refrigeração Termoelétrica

Jean Charles Athanase Peltier em 1834 reverteu a direção do fluxo de elétrons no circuito termoelétrico aplicando externamente uma diferença de potencial na direção inversa, criando-se assim um efeito de refrigeração.

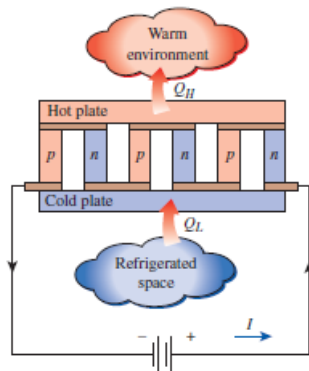
Durante seus experimentos Peltier notou que quando uma corrente pequena passava através da junção de fios diferentes, a junção era então resfriada, tal fenômeno denominado de efeito Peltier descreve a refrigeração termoelétrica.



Refrigeração Termoelétrica - Vídeo 02

Calor é absorvido do espaço refrigerado na quantidade Q_L e rejeitado para o ambiente mais quente na quantidade Q_H , a diferença entre estas duas quantidades é o trabalho elétrico líquido a ser fornecido.

Na dias atuais tais dispositivos ainda possuem COP menor do que sistemas de compressão de vapor, porém encontram-se no mercado e são utilizados em condições na qual deseja-se, tamanhos menores, simplicidade de elementos constituintes, baixo ruído e alta confiabilidade.



Exemplos da Termoeletricidade

- Adegas
- Bebedouros
- Incubadoras
- BMW
- Veículo espacial MMRTG

https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-14392014000500019&script=sci_arttext

Outros Sistemas de Refrigeração

- Refrigeração em cascata
- Compressão em multiestágios
- Absorção
- Adsorção

"Someone's sitting in the shade today because someone planted a tree a long time ago"

Warren Buffett