

- 1º Lei da Termodinâmica
- Prof. Nilton Cesar de Oliveira Borges

Energia e Primeira Lei da Termodinâmica

$$E_2 - E_1 = Q - W$$

$$E_2 - E_1 = (E_{c_2} - E_{c_1}) + (E_{p_2} - E_{p_1}) + (U_2 - U_1)$$



Energia
cinética



Energia
potencial



Energia
interna

U = Energia interna: são todas as outras formas de energia excluindo as cinética e potencial.

Análise Energética de Ciclos

Os ciclos são importantes em várias aplicações de engenharia:

Geração de potência
Propulsão de Veículos
Refrigeração

O balanço de energia para um sistema que percorre um ciclo TERMODINÂMICO tem a seguinte:

Para um ciclo:

$$E_{\text{ciclo}} = Q_{\text{ciclo}} - W_{\text{ciclo}}$$

$$E_{\text{ciclo}} = 0$$

$Q_{\text{ciclo}} = W_{\text{ciclo}}$ Válida para todo e qualquer ciclo termodinâmico independentemente do fluido de trabalho

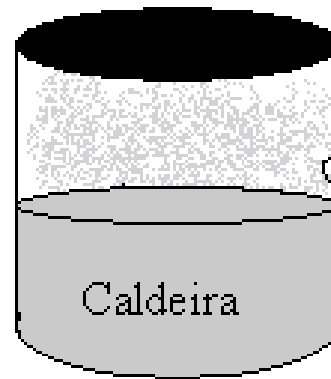
Chamaremos de:

Q_H o calor absorvido ou cedido por um meio de alta temperatura

Q_L o calor absorvido ou cedido por um meio de baixa temperatura

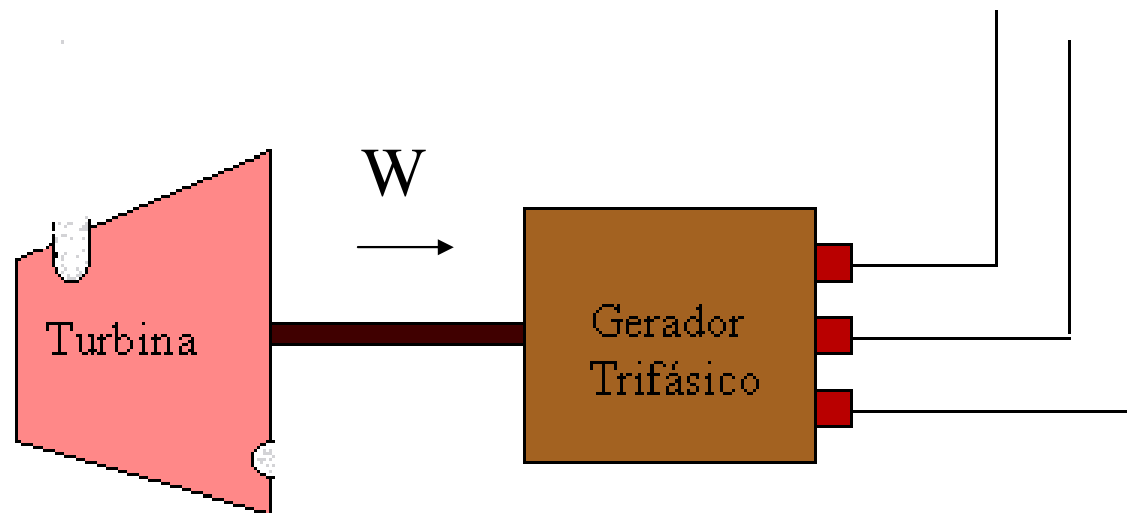
O ciclo termodinâmico possui basicamente quatro partes:

1º Absorção de calor pelo fluido

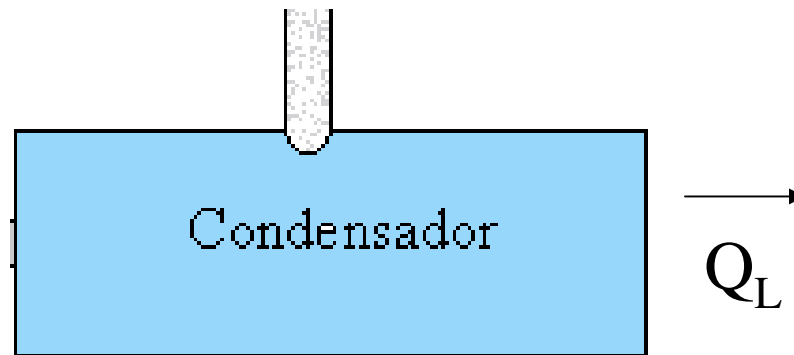


Q_H

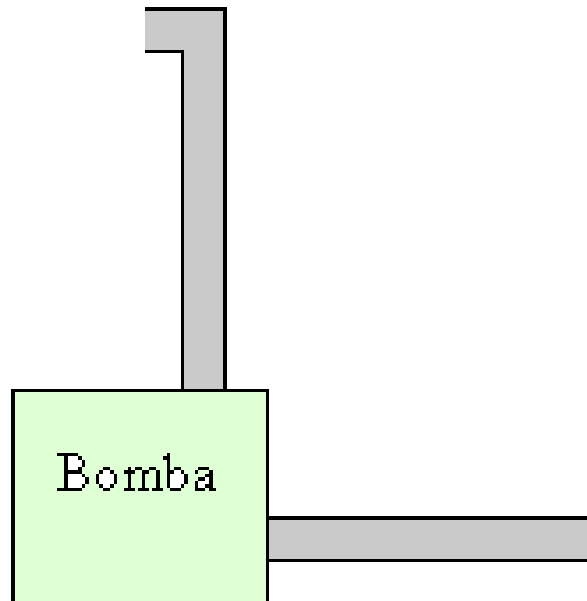
2º Geração de trabalho.

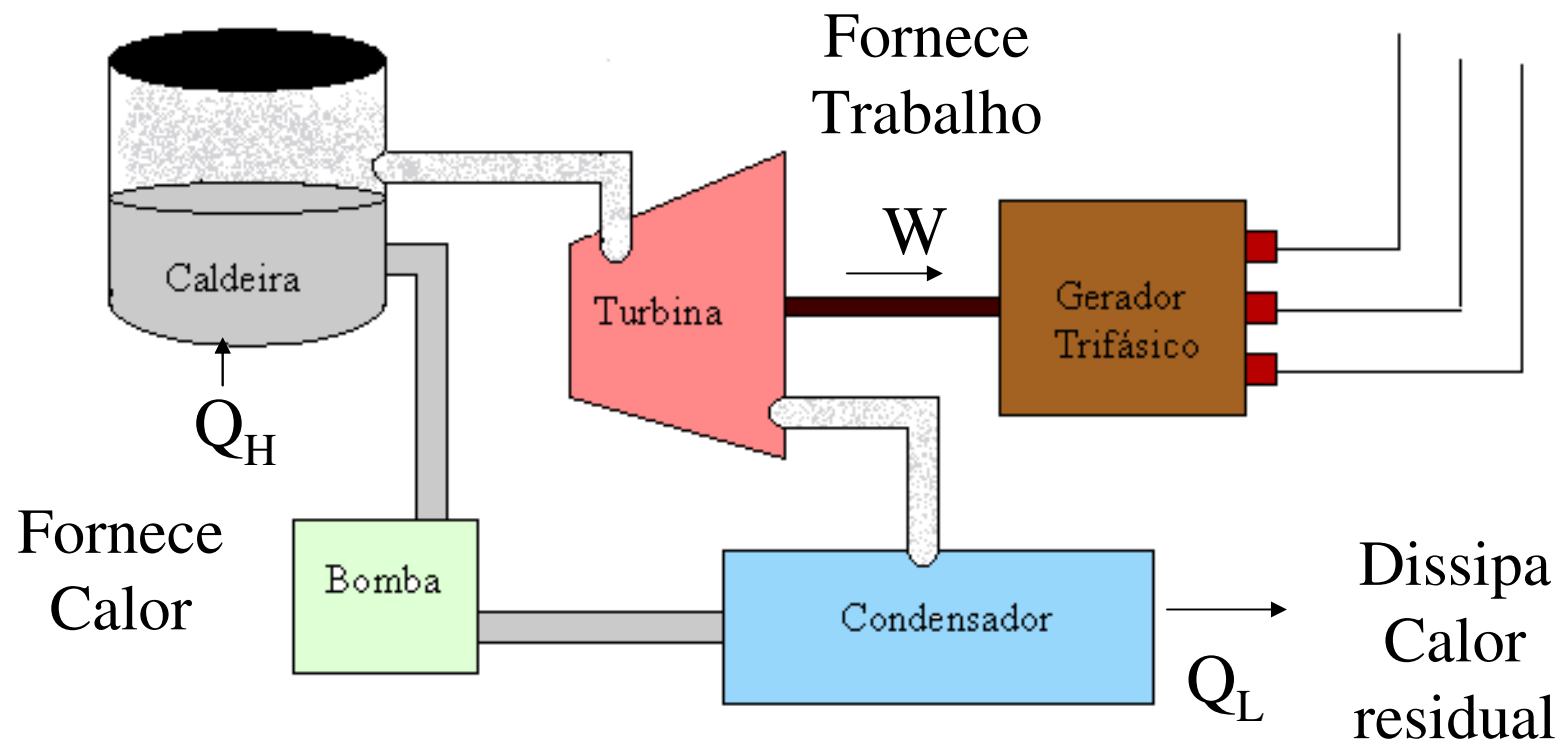


3º Dissipação do calor residual

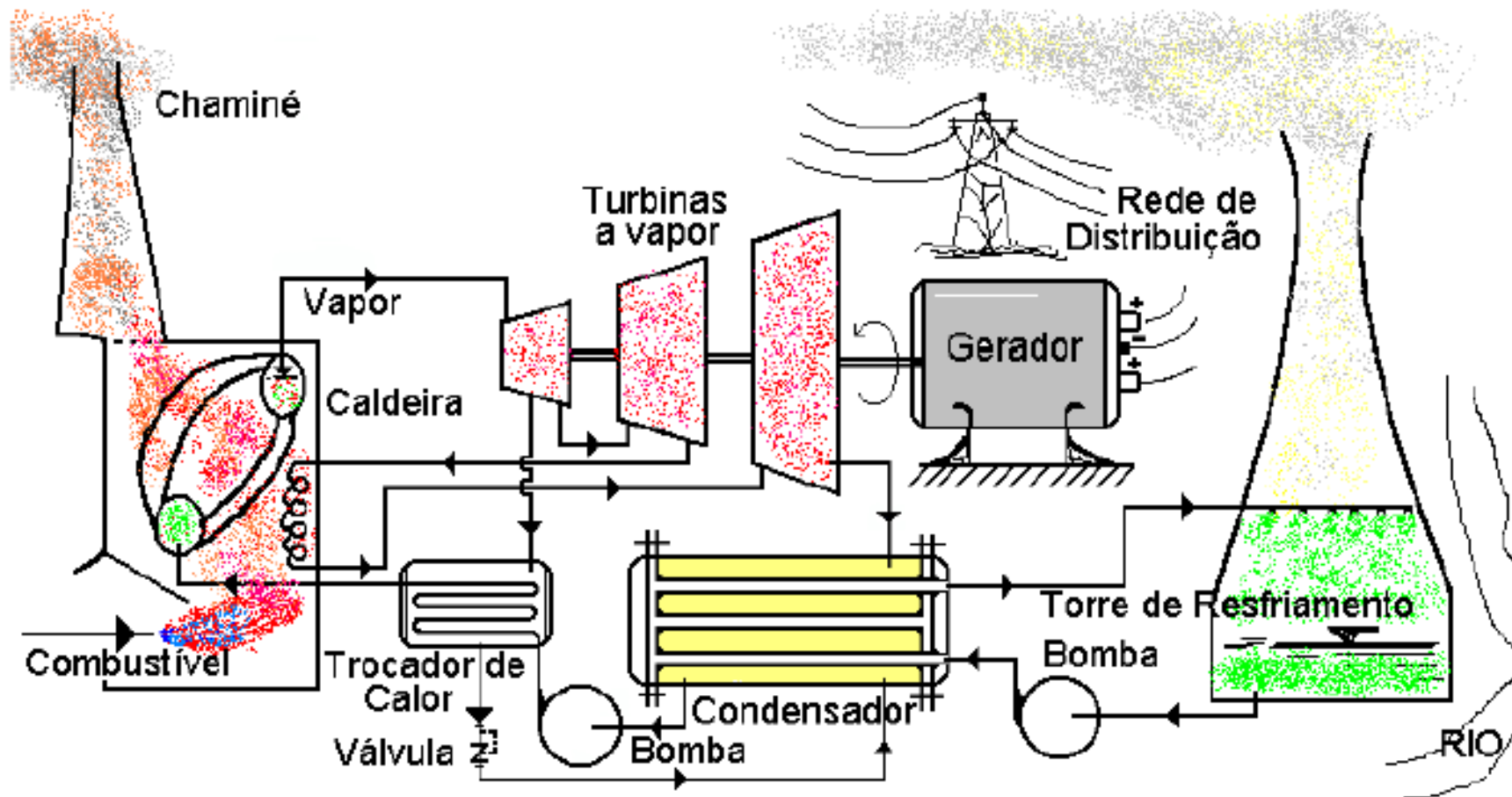


4º Transporte do fluido de volta para a caldeira.





Usina termoeletrica



No caso do ciclo térmico temos:

$$Q_{ciclo} = Q_H - Q_L$$

Com vimos anteriormente que:

$$Q_{ciclo} = W_{ciclo}$$

$$W_{ciclo} = Q_H - Q_L$$

O rendimento η , do ciclo térmico nesse caso é dado pela relação entre o trabalho e a energia fornecida.

$$\eta = \frac{W_{ciclo}}{Q_H} \text{ logo } \eta = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} \text{ ou } \eta = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

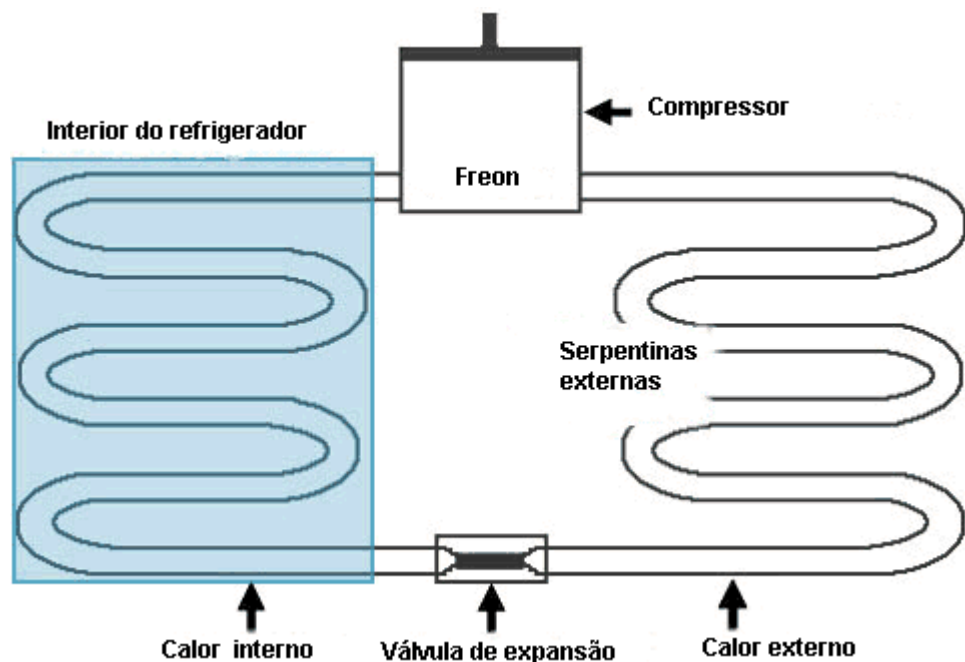
Ciclo de refrigeração.

No caso do ciclo de refrigeração o objetivo é a absorção de calor de um corpo ou de um meio,

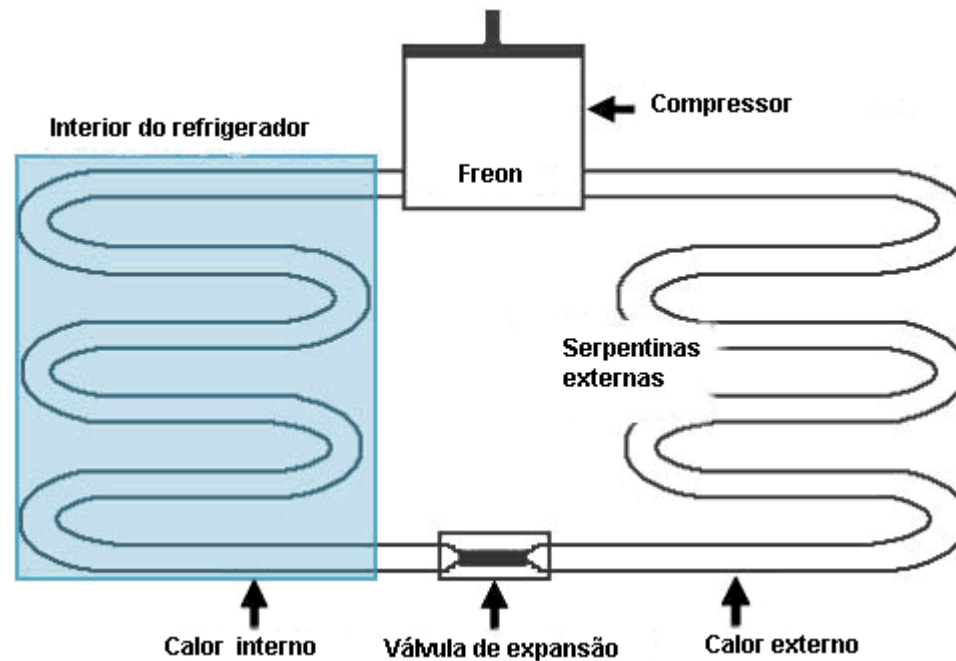
A idéia principal por trás dessa técnica é o princípio de que é possível **aumentar ou diminuir a temperatura de um determinado gás através de um processo adiabático** ou seja sem absorção ou dissipação de calor , **apenas utilizando-se de um equipamento de compressão ou expansão .**

Como o calor sempre é transferido de um meio de maior temperatura para o meio de menor temperatura, o ciclo é feito da seguinte forma:

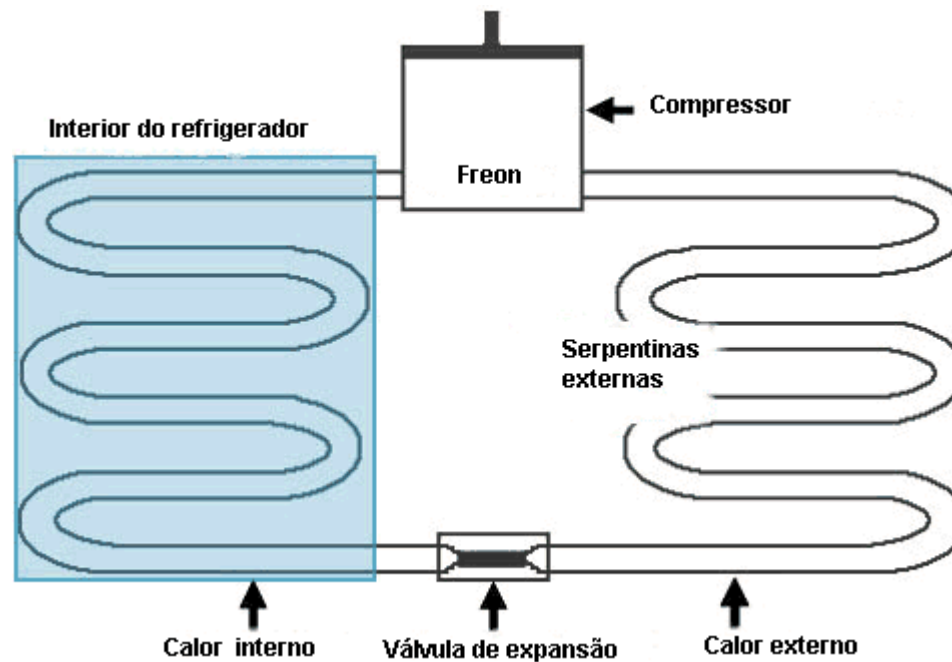
1º O fluido a baixa temperatura passa por uma serpentina no interior do refrigerador absorvendo calor subindo assim sua temperatura.



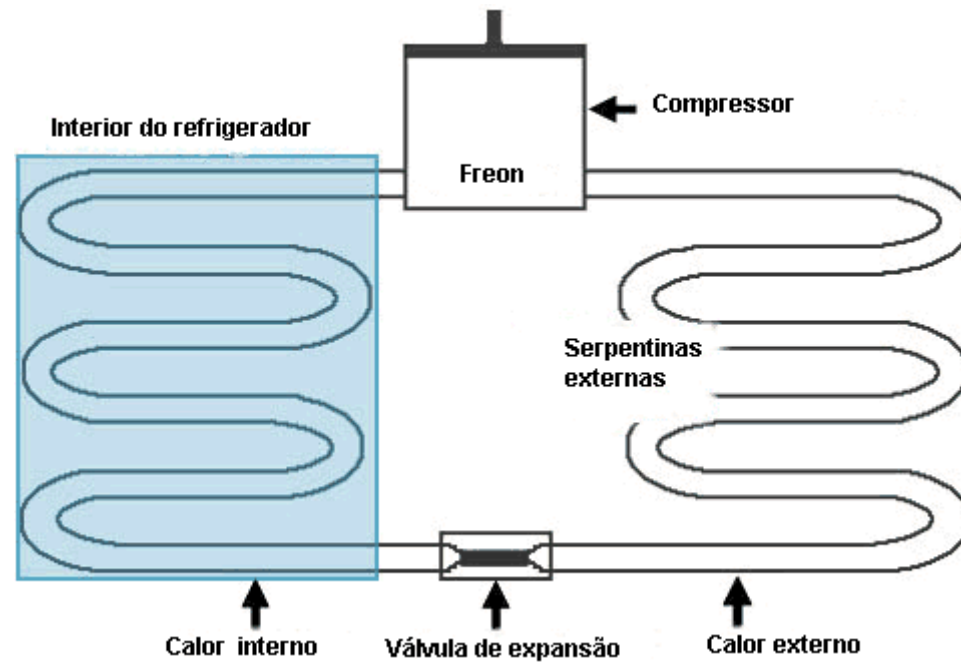
2º O fluido então é encaminhado para um compressor, que ao ser comprimido tem sua temperatura aumentada mais ainda porém sem absorção de calor(adiabático).



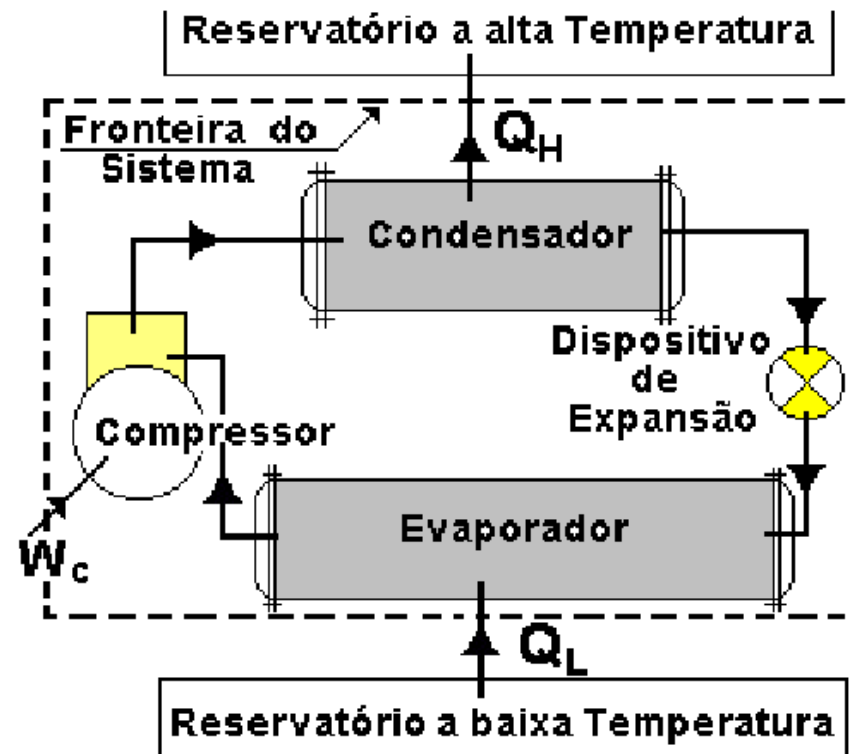
3º O fluido então a alta pressão e alta temperatura passa por uma serpentina localizada na área externa do refrigerador, como sua temperatura esta bem mais alta que a temperatura ambiente devido a compressão sofrida, há então um fluxo de calor do fluido para o meio ambiente.



4º O fluido então passa por uma válvula de expansão que diminui sua pressão e conseqüentemente sua temperatura cai mais ainda, o fluido então se dirige a serpentina interna fechando o ciclo



Ciclo termodinâmico de refrigeração



No caso de um refrigerador o parâmetro rendimento η não é utilizado, nesse caso se usa o parâmetro eficiência β .

Sendo o objetivo do refrigerador absorver energia a eficiência então será dada pela relação entre a energia(calor) absorvida e a energia gasta no compressor ou seja o W .

$$\beta = \frac{Q_L}{W}$$

Sendo

$$W = Q_H - Q_L$$

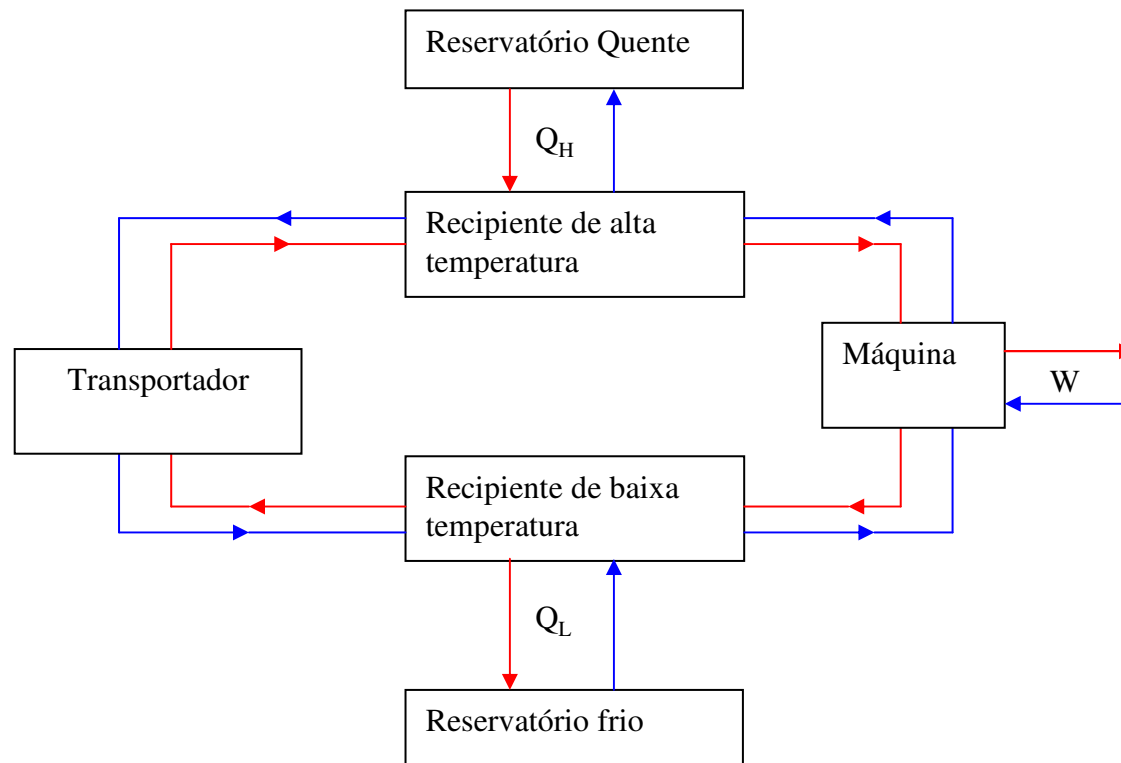
Temos que:

$$\beta = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} \quad \text{ou} \quad \beta = \frac{1}{1 - Q_L / Q_H}$$

Do ponto de vista físico os dois processos são complementares ou seja:

- 1) A máquina térmica a partir do Q_H absorvido produz W e dissipa o Q_L residual
- 2) O refrigerador absorve Q_L e W dissipando Q_H .

Incluindo então os dois ciclos: O ciclo em vermelho é o da máquina térmica e o azul é do refrigerador



2º Lei da Termodinâmica.

O enunciado na verdade foi dado por dois cientistas que o fizeram focando um na máquina térmica e outro no refrigerador

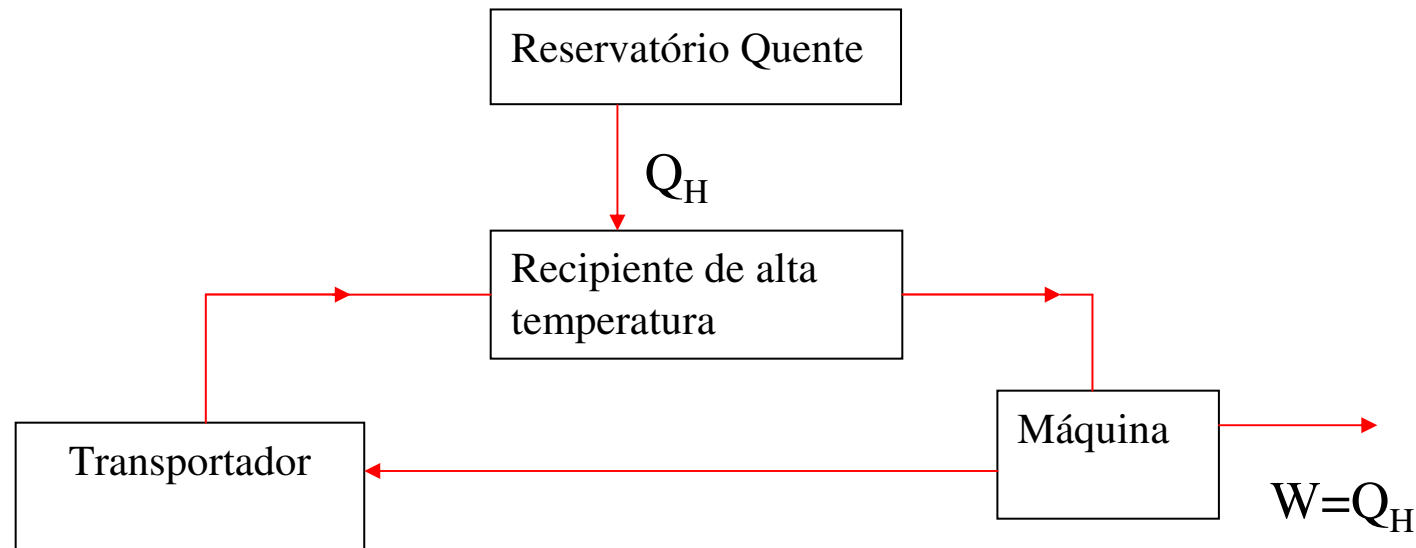
Máquina térmica:

Kelvin-Planck: É impossível para qualquer sistema operar em um ciclo termodinâmico e fornecer trabalho líquido para sua vizinhança trocando energia na forma de calor com um único reservatório térmico.

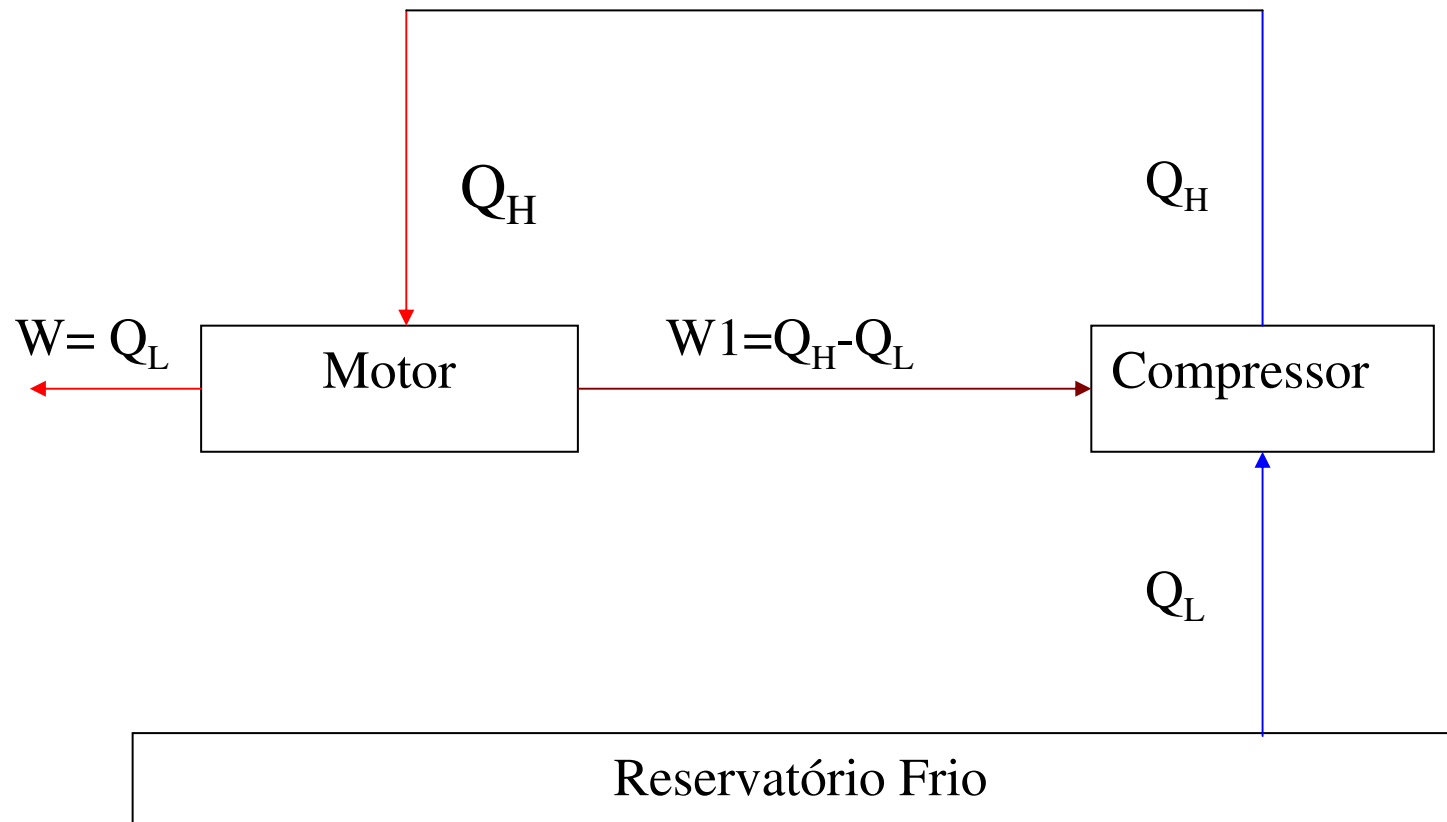
O que o enunciado diz é exatamente o que está descrito na figura, pois para que o ciclo funcione dessa maneira é necessário que a máquina transforme todo o calor absorvido Q_H em W tornando Q_L igual a 0.

Se $\eta = W/Q_H$ e $W = Q_H$ então $\eta = 1$ ou seja 100%

Ou seja na verdade o que a lei diz é que é impossível se construir uma máquina térmica com rendimento de 100%.



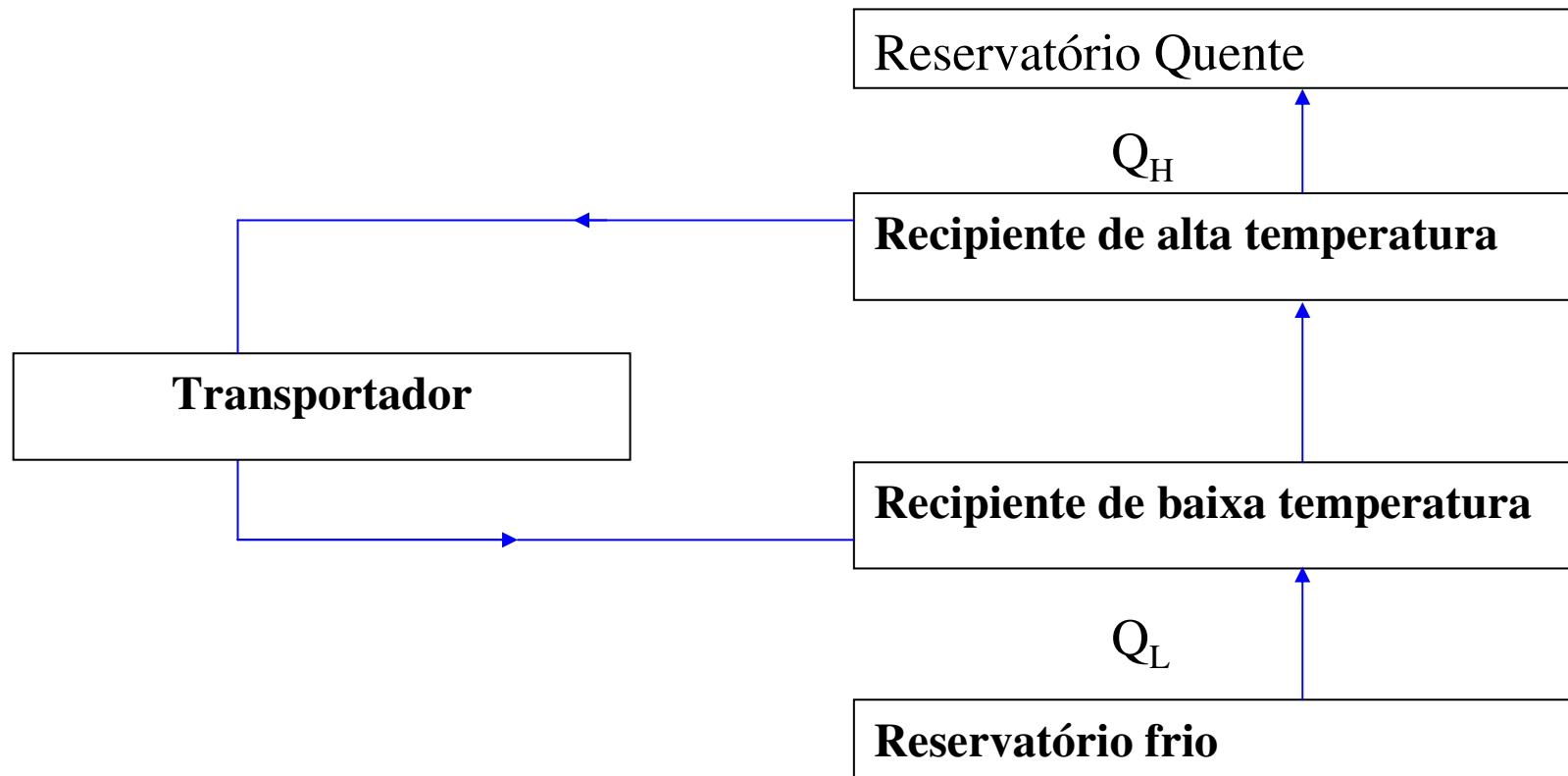
Uma das formas de mostrar a veracidade prática do enunciado de Kelvin-Planck é construir uma configuração com rendimento de 100% e verificar que desse modo teríamos um moto-perpétuo, conforme mostra a figura abaixo, que na prática é sabido que é impossível.



Refrigerador

Clausius: É impossível um sistema operar de modo que o único efeito resultante seja a transferência de energia na forma de calor, de um corpo frio para um corpo quente.

O que o enunciado de Clausius diz está expresso na figura abaixo, ou seja, é impossível transferir energia de um corpo frio para um corpo quente sem trabalho, isso é óbvio, pois o calor somente se transfere na direção do quente para o frio.



Ciclo de Carnot

Se não é possível se ter um rendimento de 100% qual será então o máximo rendimento.

Para se ter o máximo rendimento em uma máquina é claro que o primeiro fator a se considerar é que o processo deve possuir o mínimo dissipação de energia em efeitos secundários.

Podemos imaginar, por exemplo, um êmbolo com uma substancia pura, perfeitamente isolado e sem atrito, ao pressioná-lo o gás aumentaria sua temperatura e pressão diminuindo seu volume e ao soltá-lo este voltaria a mesma posição inicial, é possível perceber que é fundamental que o processo seja adiabático e sem atrito.

Esse tipo de processo ideal é chamado de processo reversível, ou seja, são processos que possibilitam o retorno ao estado inicial sem deixar vestígio nenhum nem no sistema nem no meio, apenas com a inversão do processo.

Existem inúmeros fatores que tornam os processos reais irreversíveis.

Atrito, se um sistema sofre atrito é impossível revertermos o processo ao estado inicial pois houve dissipação de energia.

Troca de calor por uma diferença finita de temperatura, para revertermos o processo seria necessário um refrigerador que retornasse o sistema ao estado inicial, porém para isso o refrigerador teria que receber trabalho e dissipar calor sem alterar o meio o que é impossível, logo o processo é irreversível.

Sendo assim o máximo rendimento é conseguido através de um ciclo chamado ciclo de Carnot, em homenagem a Nicolas L. S. Carnot que enunciou a segunda lei em 1824, esse modelo é baseado no fato que todos os passos do ciclo são reversíveis

Como todos os processos devem ser reversíveis temos

1º Absorção de calor pelo fluido, esta absorção é deve ser isotérmica e feita de modo que a diferença entre a temperatura do reservatório quente e do fluido seja infinitesimal, pois uma diferença finita tornaria o sistema irreversível.

2º Geração de trabalho, a maquina deve gerar trabalho sob um regime totalmente adiabático sem nenhuma troca de calor e em um regime quase estático, ou seja, se for um pistão sua velocidade deve ser infinitesimal.

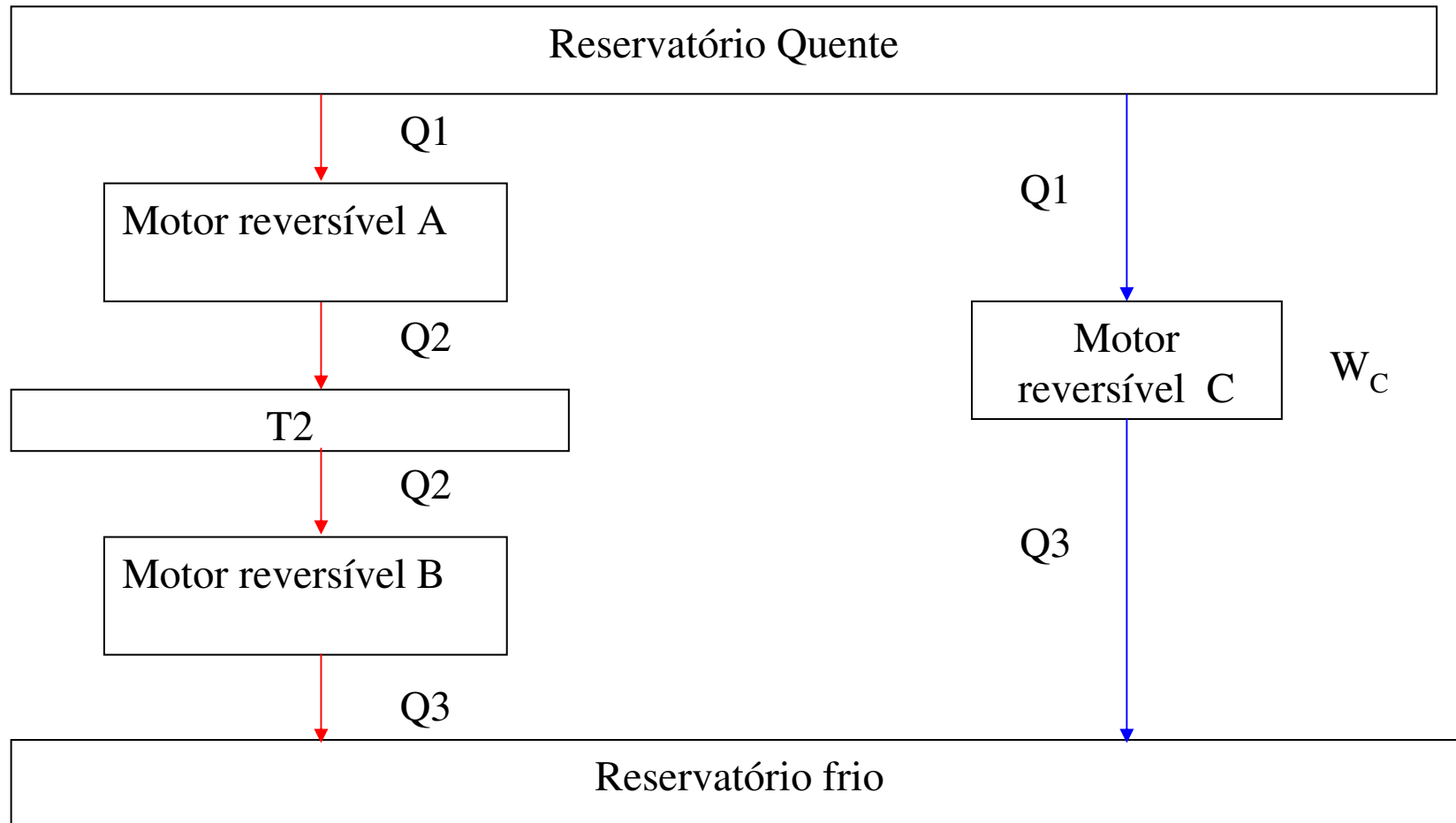
3º Dissipação do calor residual, a dissipação de calor deve ser isotérmica e feita de modo que a temperatura do reservatório frio e o fluido também deve ser infinitesimal.

4º Transporte do fluido de volta para a caldeira, esse processo deve também ser adiabático reversível, levando o fluido da temperatura infinitesimalmente diferente do reservatório frio até a temperatura infinitesimalmente diferente do reservatório quente.

É possível demonstrar que duas máquinas que funcionam obedecendo o ciclo de Carnot atuando sob os mesmos reservatórios térmicos apresentam o mesmo rendimento.

O ciclo de Carnot independe da substância sendo assim o rendimento só depende da temperatura entre os reservatórios.

Utilizando-se dos princípios citados e o esquema abaixo, faremos a dedução da relação entre o rendimento e as temperaturas dos reservatórios



Temos que: $\eta = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$ Logo $1 - \eta = \frac{Q_L}{Q_H}$

Então se o rendimento do ciclo de Carnot é apenas função da temperatura então temos uma relação de variação ou funcional :

$$1 - \eta = \frac{Q_L}{Q_H} = \psi(T_L, T_H)$$

O rendimento dos ciclos de Carnot da figura são dados por :

$$\eta_a = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad \eta_b = 1 - \frac{Q_3}{Q_2} \quad \eta_c = 1 - \frac{Q_3}{Q_1}$$

Então:

$$1 - \eta = \frac{Q_2}{Q_1} = \psi(T_2, T_1)$$

$$1 - \eta = \frac{Q_3}{Q_2} = \psi(T_3, T_2)$$

$$1 - \eta = \frac{Q_3}{Q_1} = \psi(T_3, T_1)$$

Tendo:

$$1 - \eta_c = \frac{Q_3}{Q_1}$$

ao multiplicarmos por Q_2 em cima e embaixo temos:

$$1 - \eta_c = \frac{Q_3}{Q_1} = \frac{Q_3 \cdot Q_2}{Q_1 \cdot Q_2} = \frac{Q_3 \cdot Q_2}{Q_2 \cdot Q_1}$$

desse modo então:

$$\psi(T_3, T_1) = \psi(T_3, T_2) \cdot \psi(T_2, T_1)$$

Podemos então concluir que a forma da função é:

$$\frac{f(T_3)}{f(T_1)} = \frac{f(T_3)}{f(T_2)} \cdot \frac{f(T_2)}{f(T_1)} \quad \text{logo:}$$

$$\psi(T_3, T_1) = \frac{f(T_3)}{f(T_1)}$$

$$\psi(T_3, T_2) = \frac{f(T_3)}{f(T_2)}$$

$$\psi(T_2, T_1) = \frac{f(T_2)}{f(T_1)}$$

Existem várias funções que satisfazem esta relação porém Lord Kelvin escolheu a relação:

$$\psi(T_3, T_1) = \frac{f(T_3)}{f(T_1)} = \frac{T_3}{T_1}$$

Logo:

$$\frac{Q_3}{Q_1} = \frac{T_3}{T_1} \quad \frac{Q_3}{Q_2} = \frac{T_3}{T_2} \quad \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

Logo:

$$\frac{QL}{QH} = \frac{T_L}{T_H}$$

Concluindo que:

$$\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

Obs: As temperaturas são em escala absoluta(Kelvin

Exemplo 1

Sabendo que o rendimento do ciclo de Carnot que trabalha com um fluido de 0°C a 100°C é de 26,8% calcular qual o valor em Kelvin equivalente a 0°C.

Solução:

Como sabemos, o rendimento de um motor de Carnot é função somente de temperatura, ou seja:

$$\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H} \Rightarrow 0,268 = 1 - \frac{(0 + x)}{(100 + x)} \Rightarrow -0,732 = -\frac{(x)}{(100 + x)}$$

$$73,2 = x - 0,732 \cdot x \Rightarrow 73,2 + 0,732 \cdot x = x \Rightarrow$$

$$\frac{73,2}{0,268} = x \Rightarrow 73,2 = 0,268 \cdot x \Rightarrow \mathbf{273,15 = x}$$

Logo a temperatura 0°C equivale a 273,15 K.

Exemplo 2

Calcular o coeficiente de eficácia, β (ou coeficiente de desempenho ou COP) de uma bomba de calor de Carnot que opera entre 0 oC e 45 oC

Solução:

Da definição do coeficiente de eficácia para uma bomba de calor, temos:

$$\beta = \frac{1}{1 - Q_L/Q_H} \quad \text{tendo a relação válida para o ciclo de Carnot} \quad \frac{Q_L}{Q_H} = \frac{T_L}{T_H}$$

$$\text{Então } \beta = \frac{1}{1 - T_L/T_H} = \frac{1}{1 - \left(\frac{273,15 + 0}{273,15 + 45} \right)} = \frac{1}{1 - \left(\frac{273,15}{318,15} \right)} = 7,07$$

Obs. O valor do coeficiente de eficácia (ou COP) de um refrigerador, (mesmo o sistema real que funciona por compressão de vapor, a sua geladeira, por exemplo), é em geral, maior que 1 (um), enquanto o rendimento térmico de uma máquina térmica é sempre menor que 1 (um)

Exemplo 3

Calcular o rendimento térmico de um motor de Carnot que opera entre 500 oC e 40 oC

Solução:

Como sabemos, o rendimento de um motor de Carnot é função somente de temperatura, ou seja

$$\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H} \quad \text{então} \quad \eta = 1 - \frac{(40 + 273,15)}{(500 + 273,15)} = 0,595 \text{ ou } 59,5\%$$

Entropia

O Efeito da irreversibilidade que cria a entropia pode ser entendido, como um elástico que cria micro fissuras a cada vez que é esticado, desse modo, parte da energia (que criou as microfissuras) é permanentemente perdida e ao voltar ao repouso sua condição inicial já não é mais a mesma

A entropia produzida, é a medida do “**tamanho**” do efeito da irreversibilidade presente dentro do sistema operando sob um ciclo termodinâmico.

Pode ser escrita como:

$$\oint \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_b = -\sigma \text{ ciclo}$$

onde σ ciclo representa o tamanho da desigualdade, sendo que:

$\sigma_{\text{ciclo}} = 0$ não há irreversibilidades dentro do sistema

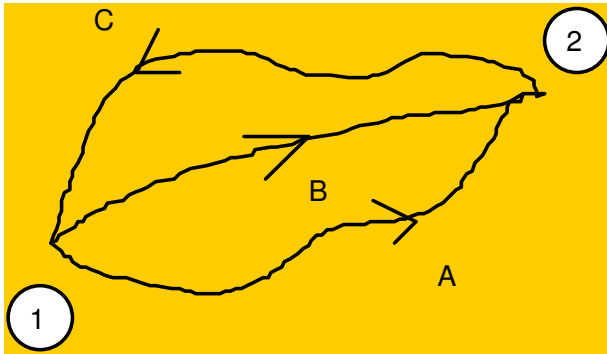
$\sigma_{\text{ciclo}} > 0$ irreversibilidades presentes dentro do sistema

$\sigma_{\text{ciclo}} < 0$ impossível.

Assim, ciclo é uma medida das irreversibilidades que ocorrem dentro do sistema quando este passa por um ciclo. É a Entropia produzida pelas irreversibilidades.

Definição da Variação de Entropia

Uma quantidade é uma propriedade se sua variação entre dois estados for independente do processo.



Dois ciclos executados por um sistema fechado estão representados na figura.
ciclos AC e BC

$$\int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_A + \int_2^1 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_C = -\sigma \text{ ciclo} \quad \text{Para o ciclo AC}$$

$$\int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_B + \int_2^1 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_C = -\sigma \text{ ciclo} \quad \text{Para o ciclo BC}$$

ciclo = 0 para ambos os ciclos, pois são reversíveis.

Assim,
$$\int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_A = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_B$$

Como os valores de $\left(\frac{\delta Q}{T} \right)$ são os mesmos para os dois ciclos, serão iguais para quaisquer outros ciclos reversíveis operando entre os estados 1 e 2.

Conclui-se que os valores de $\left(\frac{\delta Q}{T} \right)$ dependem apenas dos estados 1 e 2 e representam uma propriedade (pela própria definição de propriedade).

Esta propriedade é chamada de Entropia e é usualmente representada pela letra (S).

Dessa forma, a variação de Entropia entre os estados 1 e 2, para um ciclo internamente reversível pode ser obtida por:

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)$$

Se tivermos um sistema executando um ciclo irreversível entre os estados 1 e 2, a variação da Entropia entre 1 e 2 será a mesma pois a Entropia é uma propriedade e portanto função do estado, apenas.

Entretanto a variação da Entropia não poderá ser calculada por .

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right) \text{ irreversível}$$

