Termodinâmica I
(Escalas de temperatura Kelvin e Internacional)

A Escala Kelvin

Do segundo corolário de Carnot sabemos que todos os ciclos **reversíveis** de potência operando entre os mesmos dois reservatórios têm a mesma eficiência térmica, independendo da natureza da substância que compõe o sistema. Logo concluímos que a eficiência do processo depende somente da natureza (temperatura) dos dois reservatórios.

$$\left(\frac{Q_C}{Q_H}\right)_{ciclo\_rev} = \frac{T_C}{T_H}$$

Essa análise permite dizer que a escala termodinâmica Kelvin é independe da natureza das propriedades das substâncias que compõe o sistema

Assim, duas temperaturas na escala Kelvin estão na mesma razão que os valores das transferências de calor absorvido e rejeitado.

Se um ciclo de potência reversível fosse operado no sentido oposto como um ciclo de refrigeração ou bomba de calor, as magnitudes das transferências de energia Q_C e Q_H permaneceriam as mesmas, mas as transferências de energia estariam no sentido oposto.

Para completar a definição da escala Kelvin é necessário a atribuição do valor 273,16 K à temperatura do ponto triplo da água. Então, se um ciclo reversível é operado entre um reservatório a 273,16 K e outro reservatório à temperatura T, as duas temperaturas estão relacionadas através de:

$$T = 273{,}16\left(\frac{Q}{Q_{pt}}\right)_{ciclo\_rev}$$

Em que Q_{pt} e Q são as transferências de calor entre o ciclo e os reservatórios a 273,16 K e à temperatura T, respectivamente. No caso em questão, a transferência de calor Q desempenha o papel da propriedade termométrica. *Porém, uma vez que o desempenho de um ciclo irreversível é independente da natureza do sistema que executa o ciclo,* a definição de temperatura dada pela Eq. * não depende de modo algum das propriedades de qualquer substância ou classe de substâncias.

Na Seção 1.7 observamos que a escala Kelvin tem um zero de 0 K, e temperaturas abaixo dessa não são definidas. Vamos sintetizar esses pontos considerando um ciclo de potência reversível operando entre reservatórios a 273,16 K e a uma temperatura mais baixa T. No que se refere à Eq. 5.8, sabemos que a energia rejeitada do ciclo por transferência de calor Q não seria negativa e, assim, T deve ser não negativo. A Eq. * também mostra que, quanto menor o valor de Q, menor o valor de T, e vice-versa. Dessa maneira, à medida que Q se aproxima de zero a temperatura T se aproxima de zero. Pode-se concluir que uma temperatura de zero grau na escala Kelvin é a menor temperatura concebível. Essa temperatura é chamada de <u>zero absoluto</u>, e a escala Kelvin é chamada de <u>escala absoluta de temperatura</u>.

A escala Kelvin fornece uma definição contínua de temperatura válida em todas as faixas e fornece uma conexão essencial entre as várias medidas empíricas de temperatura.

(Medidas de desempenho máximo para ciclos operando entre dois reservatórios)

<u>Medidas de desempenho máximo para ciclos operando entre dois reservatórios</u>

Vamos agora desenvolver expressões que permitem analisar a eficiência térmica máxima dos ciclos de potência e os coeficientes máximos de desempenho dos ciclos de refrigeração e bomba de calor um termos de temperaturas dos reservatórios. Essas expressões são importantes para efeito de comparação com ciclos reais.

Ciclos de Potência

Utilizando a formulação que define a escala Kelvin (Eq. 5.7), junto com a definição de eficiência térmica do ciclo de potência;

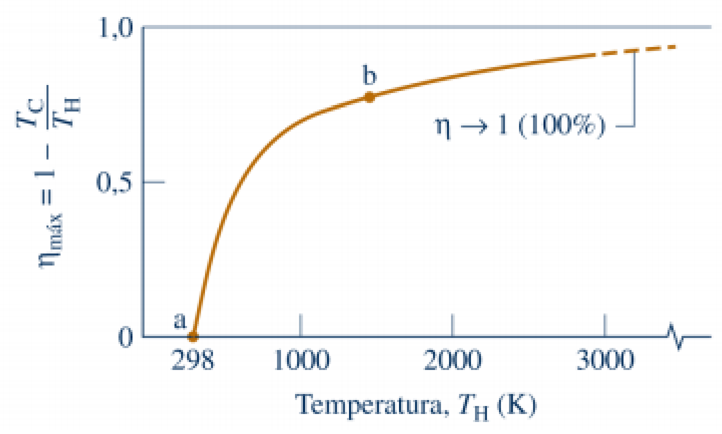
$$\left(\frac{Q_C}{Q_H}\right)_{ciclo\_rev} = \frac{T_C}{T_H} \qquad Eq.5.7$$

$$\eta = \frac{W_{ciclo}}{Q_H} = 1 - \frac{Q_C}{Q_H} \qquad Eq.5.4$$

Obtemos;

$$\eta_{máx} = 1 - \frac{T_C}{T_H} \qquad Eq.5.9$$

Tal expressão é conhecida por eficiência de Carnot, e é válido somente para os ciclos de potência reversíveis, operando entre dois reservatórios às temperaturas T_H e T_C, e exprime a eficiência máxima que qualquer ciclo de potência pode ter enquanto opera entre os dois reservatórios.



Por inspeção, o valor da eficiência de Carnot aumenta à medida que TH aumenta e/ou TC diminui.

A Eq. 5.9 é apresentada graficamente na Fig. 5.12. A temperatura T_C usada na construção da figura é de 298 K em reconhecimento ao fato de que ciclos de potência reais acabam por descarregar energia por transferência de calor quase na mesma temperatura da atmosfera local ou da água de resfriamento retirada de um rio ou lago nas proximidades. Note que a possibilidade de aumentar-se a eficiência térmica através da redução de TC para abaixo da temperatura do meio ambiente não é pratica, já que para manter T_C abaixo da temperatura ambiente seria preciso um refrigerador que consumiria trabalho para operar.

A Fig. 5.12 mostra que a eficiência térmica aumenta com TH. Referindo-nos ao segmento a-b da curva, em que TH e h são relativamente pequenos, podemos observar que h aumenta rapidamente à medida que TH aumenta, mostrando que nessa faixa mesmo um aumento pequeno em TH pode ter um efeito grande na eficiência. Embora essas conclusões, obtidas a partir da Eq. 5.9, apliquem-se estritamente apenas a sistemas percorrendo ciclos reversíveis, elas estão qualitativamente corretas para ciclos de potência reais. Observa-se que as eficiências térmicas dos ciclos reais aumentam à medida que a temperatura média na qual a energia é adicionada por

Transferência de calor aumenta e/ou a temperatura média na qual a energia é descarregada por transferência de calor diminui. Entretanto, maximizar a eficiência térmica de um ciclo de potência pode não ser um objetivo principal. Na prática, outras considerações, como custo, podem ser mais importantes.

Os ciclos convencionais de produção de potência têm eficiência térmica variando até cerca de 40%. Esse valor pode parecer baixo, mas a comparação deveria ser feita com um valor-limite apropriado, e não 100%.

EXEMPLO NO SLIDE

Ciclos de Refrigeração e Bomba de Calor

A Eq. 5.7 também é aplicável a ciclos de refrigeração e bomba de calor reversíveis operando entre dois reservatórios térmicos, resultando nas seguintes expressões para o coeficiente de desempenho de qualquer sistema que percorre um ciclo de refrigeração ou bomba de calor reversíveis enquanto operam entre os dois reservatórios;

$$\beta_{máx} = \frac{T_C}{T_H - T_C} \qquad Eq. 5.10$$

$$\gamma_{máx} = \frac{T_H}{T_H - T_C} \qquad Eq. 5.11$$

Observe que assim como a nos ciclos de refrigeração, as temperaturas usadas para avaliar $\beta_{máx}$ e $\gamma_{máx}$ devem ser temperaturas absolutas na escala Kelvin ou Rankine. Como no caso da eficiência de Carnot, essas expressões podem ser usadas como padrão de comparação para refrigeradores e bombas de calor reais.