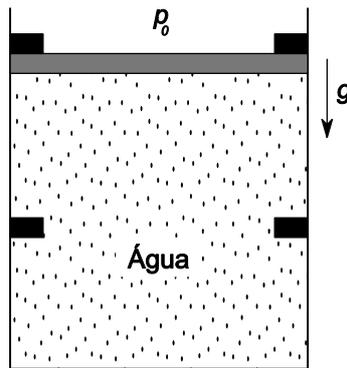


## **Exercícios e exemplos de sala de aula – Parte 2**

### A Segunda Lei da Termodinâmica

- 1- A taxa de transferência de calor na caldeira de uma central de potência é 1 MW e o calor é transferido para a água numa temperatura constante e igual a 700 °C. A temperatura no condensador é 40 °C, a taxa de transferência de calor no condensador é 0,58 MW e a potência consumida na bomba é 0,02 MW. Calcule, nestas condições, a eficiência térmica do ciclo. Admitindo a mesma potência consumida na bomba e a mesma transferência de calor na caldeira, qual seria a potência desenvolvida na turbina se a central operasse segundo um ciclo de Carnot?
- 2- Uma jarra com 4 litros de leite a 25 °C é colocada num refrigerador de Carnot e é então resfriada a 5 °C. A temperatura do reservatório de alta temperatura do refrigerador é igual a 45 °C e as propriedades do leite podem ser consideradas iguais às da água líquida. Determine o calor transferido do leite e também o trabalho necessário para acionar o refrigerador neste processo. Qual o coeficiente de desempenho deste refrigerador?
- 3- Um conjunto cilindro-pistão contém 1 kg de amônia que está, inicialmente, a 50 °C e 1 MPa. Determine o trabalho realizado e o calor transferido quando o fluido é expandido:
  - a) De modo isotérmico e reversível até que a pressão atinja 100 kPa.
  - b) De modo isobárico e reversível até que a temperatura atinja 140 °C.
  - c) Num processo adiabático reversível, até que a temperatura atinja -10 °C.
- 4- Dois quilos de CO<sub>2</sub> são comprimidos de 120 kPa e 27 °C para 480 kPa em um volume rígido. Calcule a variação de entropia.
- 5- Uma massa de ar de 0,2 kg é comprimida lentamente de 150 kPa e a 40 °C para 600 kPa em um processo adiabático. Determine o volume final.
- 6- Uma forma de fundição contém 25 kg de areia a 200 °C. Ela é, então, mergulhada num tanque com 50 litros de água e que inicialmente estava a 15 °C. Admitindo que a transferência de calor para o meio seja nula e que não ocorra evaporação de água, calcule a variação líquida de entropia que ocorre até que a forma e a água entrem em equilíbrio térmico. Dado:  $C_{\text{areia}} = 0,8 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ .
- 7- Dois quilos de ar são armazenados em um recipiente rígido de 2 m<sup>3</sup> com uma temperatura inicial de 300 °C. Calor é transmitido do ar até que a pressão alcance 120 kPa. Calcule a mudança de entropia do ar e do sistema universo, se as imediações estão a 27 °C.
- 8- Um conjunto cilindro-pistão isolado contém, inicialmente, R-134a a 1 MPa e 50 °C e, nesta condição, o volume da câmara é 100 litros. O R-134a, então, expande, provocando o movimento do pistão, até que a pressão no cilindro atinja 100 kPa. Alega-se que o R-134a realiza 190 kJ de trabalho neste processo. Como você julga esta alegação?
- 9- A figura mostra um conjunto cilindro pistão que, inicialmente, contém água a 1 MPa e 500 °C, e o pistão encosta no esbarro superior. O volume da câmara é 1 m<sup>3</sup> quando o pistão repousa sobre o esbarro inferior e é igual a 3 m<sup>3</sup> quando o pistão está encostado no esbarro superior. A pressão atmosférica e a massa do pistão são tais que a pressão na câmara é igual a 500 kPa quando o pistão está localizado entre os esbarros. O conjunto, é, então, resfriado,

transferindo-se calor para o meio que apresenta temperatura igual a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , até que a temperatura atinja  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Determine a entropia gerada neste processo.



### A Segunda Lei da Termodinâmica para Volumes de Controle

- 1- Vapor expande-se isentropicamente através de uma turbina de  $6\text{ MPa}$  e  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  para  $10\text{ kPa}$ . Calcule a potência se a vazão de massa for de  $2\text{ kg/s}$ .
- 2- Um recipiente com volume interno de  $0,2\text{ m}^3$  inicialmente está vazio. O recipiente então é carregado com He proveniente de uma linha onde o fluido escoava a  $500\text{ K}$  e  $1\text{ MPa}$ . O processo de carga termina quando a pressão no recipiente atinge  $1\text{ MPa}$  e é bastante rápido (pode ser considerado adiabático). Determine a massa e a temperatura finais do He no recipiente e a entropia total gerada neste processo.
- 3- Um tanque rígido, com volume interno de  $1\text{ m}^3$ , contém  $100\text{ kg}$  de R-134a a temperatura ambiente ( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Uma válvula situada no topo do tanque é, então, aberta, e vapor saturado é estrangulado até  $100\text{ kPa}$  e descarregado num coletor. Durante esse processo, a temperatura interna do tanque permanece constante e igual a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A válvula é fechada quando não existe mais líquido no tanque. Nestas condições, determine o calor transferido ao tanque e a geração de entropia no processo.
- 4- Uma turbina é alimentada com um escoamento de ar a  $1500\text{ K}$  e  $1\text{ MPa}$ . A pressão na seção de descarga do equipamento é  $100\text{ kPa}$  e a eficiência isentrópica da turbina igual a  $0,85$ . Determine a temperatura na seção de descarga da turbina e o aumento na entropia específica no escoamento através da turbina, considerando que o processo seja adiabático.

### Ciclos Motores e de Refrigeração a Vapor

- 1- Uma usina de força operando em um ciclo Rankine ideal tem vapor entrando na turbina a  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  e a  $2\text{ MPa}$ . Se a água entra na bomba a  $10\text{ kPa}$ , calcule o rendimento com e sem o trabalho da bomba incluído.
- 2- Resolva o exercício 1 aumentando a pressão da caldeira para  $3\text{ MPa}$  e mantendo a temperatura máxima e pressão mínima.
- 3- Resolva o exercício 1 aumentando a temperatura máxima no ciclo para  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , enquanto se mantém as mesmas pressões na caldeira e no condensador.
- 4- Resolva o exercício 1 diminuindo a pressão no condensador para  $5\text{ kPa}$  e mantendo a pressão na caldeira e a temperatura máxima.

- 5- Considere um ciclo ideal com reaquecimento no qual o vapor d'água entra na turbina de alta pressão a 3,5 MPa e 400 °C e expande até 0,8 MPa. O vapor é então reaquecido até 400 °C e expande até 10 kPa na turbina de baixa pressão. Calcule o rendimento térmico do ciclo e o título do vapor na seção de saída da turbina de baixa pressão.
- 6- Um ciclo de potência a vapor d'água opera com um aquecedor de mistura. A temperatura do fluido no condensador é 45 °C e a caldeira descarrega o vapor a 5 MPa e 900 °C. A pressão na seção de extração (intermediária) da turbina é 1 MPa e o estado da água na seção de descarga do aquecedor é o de líquido saturado. Determine o trabalho específico na turbina.
- 7- Uma central de potência a vapor apresenta pressão máxima igual a 25 MPa, mínima de 10 kPa e conta com um aquecedor fechado de água de alimentação. A pressão na seção de extração intermediária da turbina é de 0,8 MPa. A bomba principal está localizada imediatamente a jusante do condensador e descarrega fluido a 25 MPa. A bomba secundária e utilizada para comprimir a água vinda da extração intermediária da turbina e também descarrega o fluido a 25 MPa. A temperatura da água após o misturador a jusante do aquecedor é igual a 175 °C. A temperatura máxima da água no ciclo é 800 °C e a potência total gerada na turbina é 5 MW. Nestas condições, determine a fração de vapor extraído na seção intermediária turbina e a taxa de transferência de calor no condensador.
- 8- O R-134a é usado em um ciclo de refrigeração que trabalha entre pressões de 120 kPa e 1000 kPa. O compressor recebe vapor saturado, tem uma eficiência isentrópica de 75% e necessita de 10 HP. Calcule a taxa de refrigeração, o coeficiente de desempenho e o coeficiente de desempenho se o ciclo for usado como uma bomba de calor.

### Exercícios de revisão

- 1- Você, como gestor de uma grande empresa, precisa decidir entre duas opções de combustível para utilizar em um motor de Carnot que opera entre as temperaturas de combustão e exaustão dos gases. O combustível *A* queima a 2200 K, liberando 30 MJ/kg, custa US\$ 1,50/kg e, ao ser utilizado no motor, produz gases de exaustão a 350 K. Já o combustível *B* apresenta temperatura de combustão igual a 1200 K, liberando 40 MJ/kg, custa US\$ 1,30/kg e, ao ser utilizado no motor, produz gases a 350 K. Qual dos dois combustíveis você compraria? Justifique sua resposta.
- 2- Um tanque com volume interno igual a 0,02 m<sup>3</sup> está inicialmente evacuado. O tanque é então carregado com ar que escoar em uma linha a 0 °C e 400 kPa. A operação de enchimento, que acontece até o ar parar de escoar estando a válvula de admissão aberta, é muito rápida e pode ser modelada como adiabática. O tanque é desconectado da linha e, passado algum tempo em armazenamento, o ar atinge a temperatura do ambiente que se encontra a 20 °C. Determine a massa de ar contida no tanque no estado final e a entropia total gerada nesse processo.
- 3- Num ciclo com reaquecimento, o primeiro estágio da turbina recebe da caldeira vapor a 700 °C e 4 MPa. Este vapor é extraído a 1 MPa num ponto intermediário da turbina e retorna à caldeira, saindo posteriormente a 600 °C. Deste ponto, o vapor é introduzido no segundo estágio turbina, onde é expandido até atingir a condição de vapor saturado à pressão de 10 kPa, e segue para o condensador. Sabendo que a vazão mássica no ciclo é de 1,5 kg/s, admitindo que a perda de carga nas tubulações é desprezível e que os dois estágios da turbina tenham o mesmo rendimento isentrópico, determine:
  - a) a temperatura no ponto de extração intermediária da turbina;
  - b) o rendimento do ciclo;
  - c) a potência líquida desenvolvida.