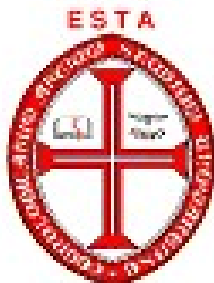


Escola Superior de Tecnologia de Abrantes



TERMODINÂMICA

Exercícios



Professor: Eng. Flávio Chaves

Ano lectivo 2003/2004

ESCALAS DE PRESSÃO

Problema 1

Um óleo com uma massa específica de $0,8 \text{ kg/dm}^3$ está contido num recipiente cilíndrico até uma altura de 2 m.

Determine a pressão exercida pelo óleo (kN/m^2) no fundo do recipiente.

(Sol.: 15,7 kPa).

Problema 2

Um manómetro de água indica uma pressão de 400 mm abaixo da pressão atmosférica, no interior de um vaso.

Sabendo que a pressão atmosférica no local é de 736 mmHg, determine a pressão absoluta no interior do vaso (kN/m^2).

$\rho_{\text{Hg}} = 13600 \text{ kg/m}^3$.

(Sol.: 97,8 kPa).

Problema 3

Um barómetro de mercúrio é utilizado para medir a pressão numa câmara e indica 69,9 cm de mercúrio. A pressão ambiente local é 74,9 cm de mercúrio. Qual a pressão relativa em bar?

Nota: 1 bar = 750 mmHg.

(Sol.: - 0,066 bar).

Problema 4

Um cilindro vertical contém ar sobre pressão, devido à actuação de um pistão de 30,8 kg e com uma área de secção transversal de 226 cm^2 . A pressão ambiente exterior ao cilindro é de 100,7 kPa. Qual é a pressão absoluta no interior do cilindro, em bar.

(Sol.: 1,14 bar)

Problema 5

Uma pessoa efectuou uma subida na serra do Caramulo, transportando consigo um barómetro. Num sopé da serra, o barómetro indicava 750 mmHg (absoluta). Algumas horas depois passou a indicar 700 mmHg (absoluta).

Se a massa volúmica média do ar for de $1,2 \text{ kg/m}^3$, estime a variação de altitude que ocorreu nesta viagem.

(Sol.: 567 m).

CALOR ESPECÍFICO DE UMA SUBSTÂNCIA

Problema 6

Um vaso de cobre com uma massa de 2 kg contém 6 kg de água. Sabendo que a temperatura inicial do sistema é de 20°C , a temperatura final é de 90°C e considerando que não houve perdas de calor, determine a quantidade de calor que foi necessário fornecer ao sistema para provocar aquela transformação.

Considere:

Calor específico da água a 20°C , $c_p = 4181,6 \text{ J/kg.K}$

Calor específico da água a 90°C , $c_p = 4204,8 \text{ J/kg.K}$

Calor específico do cobre, $c_p = 394,0 \text{ J/kg.K}$

(Sol.: 1816,3 kJ).

Problema 7

Uma peça de ferro fundido com uma massa de 10 kg e à temperatura de 200°C é introduzida num recipiente com 50 litros de água a 15°C .

Sabendo que:

Calor específico do ferro fundido, $c_p = 477,0 \text{ J/kg.K}$

Calor específico médio da água, $c_p = 4200,0 \text{ J/kg.K}$

Determine:

- A temperatura final do ferro e da água. (Sol.: $19,1^\circ\text{C}$).
- A quantidade de calor transferida de um para o outro. (Sol.: 861 kJ).
- Diga como variou a entropia de cada um deles. (Sol.: para a água aumentou, para o ferro fundido diminuiu).

POTÊNCIA/TRABALHO DE UMA FORÇA

Problema 8

Um automóvel com uma massa de 1520 kg tem um motor que debita 23 kW de potência quando viaja a uma velocidade de 64 km/h.

Desprezando as perdas, determine a resistência ao movimento em N/kg.

(Sol.: 0,85 N/kg).

Problema 9

A uma velocidade de 50 km/h a resistência ao movimento de um determinado carro é de 900 N. Desprezando perdas, determine a potência que o motor do carro terá que debitar aquela velocidade.

(Sol.: 12,5 kW).

EQUAÇÃO DE ENERGIA DE FLUXO ESTACIONÁRIO

Problema 10

Vapor de água entra numa turbina com uma velocidade de 16 m/s e com uma entalpia específica de 2990 kJ/kg.

O vapor sai da turbina à velocidade de 37 m/s, com uma entalpia específica de 2530 kJ/kg. O caudal de vapor é de 324000 kg/h e o calor perdido através da carcaça da turbina é de 25 kJ/kg. Determine a potência da turbina em kW.

(Sol.: 39,1 kW).

Problema 11

4,5 kg/s de ar entram numa turbina de gás à velocidade de 150 m/s, com uma entalpia específica de 3000 kJ/kg. Após a combustão, a velocidade dos gases é de 120 m/s e a sua entalpia específica é de 2300 kJ/kg.

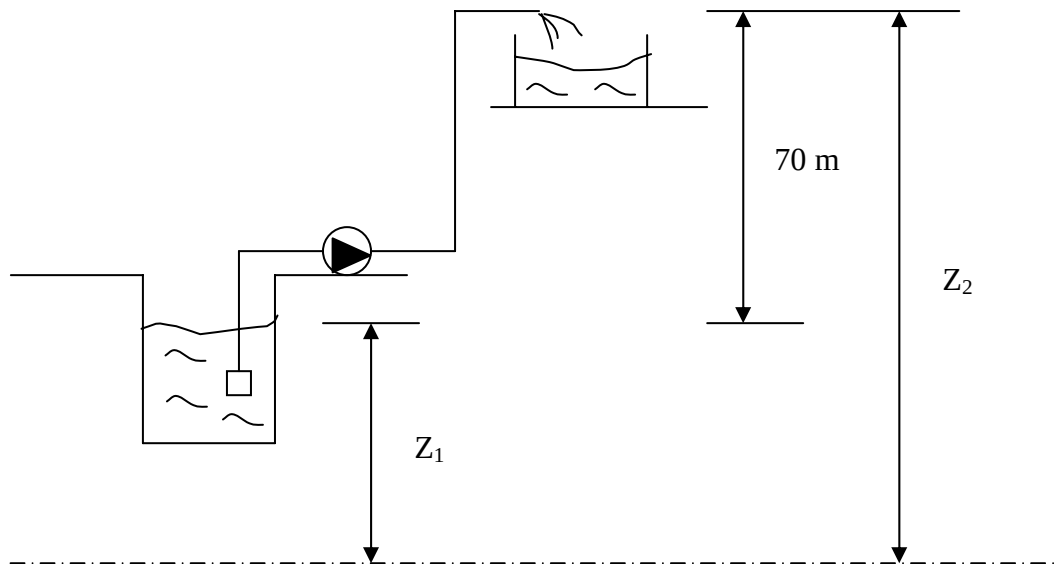
Sabendo que há uma perda de calor de 25 kJ/kg, determine a potência da turbina.

(Sol.: 3055,7kW).

Problema 12

Um grupo electrobomba transfere 50 l/min de água de um poço para um depósito, tal como representado. Desprezando as perdas por atrito e outras, determine a potência absorvida pelo motor eléctrico, sabendo que o rendimento global do grupo é de 80 %.

(Sol.: 715,3 W).

**Problema 13**

O escoamento de um fluido, com um caudal de 4 kg/s, entra num sistema à pressão de 600 kN/m^2 , à velocidade de 220 m/s, com energia interna de 2,2 MJ/kg e um volume específico de $0,42 \text{ m}^3/\text{kg}$.

À saída do sistema a pressão é de 150 kN/m^2 , a velocidade 145 m/s, a energia interna 1650 kJ/kg e o volume específico $1,5 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Durante a sua passagem pelo sistema, o fluido perdeu por transferência de calor 40 kJ/kg.

Determine a potência do sistema, mencionando se é de ou para o sistema. Despreze qualquer variação da energia potencial gravítica.

(Sol.: 2202,8 kW).

Problema 14

Chumbo é estendido lentamente através de uma matriz horizontal. A diferença de pressões através do restritor é de $154,45 \text{ MN/m}^2$.

Assumindo que não existe arrefecimento na extensão, determine o aumento de temperatura do chumbo.

Considere o chumbo incompressível sendo a massa volúmica de $11,36 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ e o calor específico de 130 J/kg.K .

(Sol.: $104,6 \text{ }^\circ\text{C}$).

EQUAÇÃO DE ENERGIA EM SISTEMAS FECHADOS

Problema 15

Um fluido encerrado num cilindro dotado de um pistão, à pressão inicial de 700 kN/m^2 , é submetido a uma expansão isobárica de forma que o seu volume passa de $0,28 \text{ m}^3$ para $1,68 \text{ m}^3$.

Determine o trabalho realizado.

(Sol.: 980 kJ).

Problema 16

Durante o curso de compressão de um motor, o trabalho fornecido ao fluido operante é de 75 kJ/kg e o calor rejeitado para o exterior é de 42 kJ/kg . Determine a variação de energia interna, indicando se aumentou ou diminuiu.

(Sol.: 33 kJ/kg).

Problema 17

Durante o curso de expansão de um motor o calor rejeitado para o exterior é de 150 kJ/kg . A energia interna do fluido operante diminui 400 kJ/kg . Determine o trabalho realizado e mencione se o trabalho é realizado sobre ou pelo fluido operante.

(Sol.: 250 kJ/kg).

Problema 18

Um sistema fechado inicialmente em repouso sobre a superfície terrestre sofre um processo de transformação no qual é transferido para o sistema 200 kJ sob a forma de trabalho. Durante o processo existe uma transferência de calor a partir do sistema para o exterior de 30 kJ.

No final do processo, o sistema tem uma velocidade de 60 m/s e uma elevação de 60 m. A massa do sistema é de 25 kg, e a aceleração gravítica local é $g = 9,75 \text{ m/s}^2$. Determine a variação de energia interna do sistema.

(Sol.: 110,4 kJ).

Problema 19

Considere 5 kg de vapor de água dentro de um sistema cilindro-pistão. O vapor sofre uma expansão desde o estado 1, onde a energia interna específica é de $u_1 = 2709,9 \text{ kJ/kg}$, até ao estado 2, com $u_2 = 2659,6 \text{ kJ/kg}$.

Durante o processo, existe uma transferência de energia sob a forma de calor para o vapor de 80 kJ.

Mais, uma ventoinha transfere energia para o vapor, sob a forma de trabalho, com a magnitude de 18,5 kJ. Considere desprezáveis as variações de energia potencial e cinética.

Determine a quantidade de energia transferida sob a forma de trabalho a partir do vapor para o pistão durante o processo.

(Sol.: + 350 kJ).

PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA – SISTEMAS FECHADOS

Problema 20

Um fluido no interior de um tanque é rapidamente agitado pelas pás de uma ventoinha. O trabalho realizado pela ventoinha é de 5090 kJ. A taxa de transferência de calor do tanque para o exterior é de 1500 kJ. Considere o tanque e o fluido dentro de uma superfície de controlo. Determine a variação de energia interna.

(Sol.: 3590 kJ)

Problema 21

Considere uma pedra com uma massa de 10 kg e um recipiente com 100 kg de água líquida.

Inicialmente a pedra encontra-se 10,2 m acima da água, e à mesma temperatura, estado 1. A pedra é então largada dentro da água.

Determine a ΔU , ΔEC , ΔEP , Q e W , para as seguintes mudanças de estado, considerando $g = 9,806 \text{ m/s}^2$.

- A pedra está prestes a entrar na água, estado 2. (Sol.: $\Delta U = Q = W = 0$; $\Delta EC = -\Delta EP = 1 \text{ kJ}$).
- A pedra atingiu o repouso no fundo do tanque, estado 3. (Sol.: $\Delta U = -\Delta EC = 1 \text{ kJ}$; $\Delta EP = Q = W = 0$).
- Transferiu-se calor para a fronteira, numa quantidade tal que a pedra e a água estão à mesma temperatura, T_1 , estado 4. (Sol.: $\Delta U = Q = -1 \text{ kJ}$; $\Delta EP = \Delta EC = W = 0$).

Problema 22

Um recipiente com capacidade de 5 m^3 contém $0,05 \text{ m}^3$ no estado líquido e o restante, $4,95 \text{ m}^3$, encontra-se no estado de vapor saturado, à pressão de 100 kPa. Transfere-se calor para o recipiente até que todo o líquido passe ao estado de vapor saturado.

- Represente nos diagramas p-V e t-V, o processo de transformação.
- Caracterize os estados, inicial e final, através das suas propriedades termodinâmicas (Sol.: $U_1 = 27,3 \text{ MJ}$; $x_2 = 100 \%$; $P_2 = 2,03 \text{ MPa}$; $U_2 = 132,3 \text{ MJ}$).
- Determine a quantidade de calor transferido e o trabalho realizado (104,9 MJ; 0).

RENDIMENTO

Problema 23

Uma central térmica de vapor utiliza 3,045 ton/h de carvão. O vapor de água produzido na caldeira é fornecido a uma turbina directamente acoplada a um gerador eléctrico cuja potência é de 4,1 MW.

Sabendo que o poder calorífico do carvão é de 28 MJ/kg, determine o rendimento térmico da instalação.

(Sol.: 23,68 MW).

Problema 24

Um motor consome 20,4 kg de gasolina por hora, com um poder calorífico de 43 MJ/kg. O rendimento térmico do motor é de 20%.

Determine:

- a) A potência realizada pelo motor. (Sol.: 48,7 kW).
- b) A energia perdida por minuto. (Sol.: 11,69 MJ/min).

TRANSFORMAÇÕES POLITRÓPICAS

Problema 25

Um conjunto cilindro-pistão é submetido a uma expansão, cujo processo é regulado por uma transformação politrópica, $p \cdot V^n = \text{constante}$.

A pressão e o volume inicial são, respectivamente, 3 bar e $0,1 \text{ m}^3$, e o volume final é de $0,2 \text{ m}^3$.

Determine a quantidade de trabalho que foi realizado durante o processo, se:

- a) $n = 1,5$ (Sol.: + 17,6 kJ).
- b) $n = 1,0$ (Sol.: + 20,8 kJ).
- c) $n = 0$ (Sol.: + 30 kJ).

Problema 26

Quatro quilogramas de um determinado gás encontram-se encerrados num dispositivo cilindro-pistão. O gás sofre uma transformação regulada pela relação, $p \cdot V^{1,5} = \text{constante}$.

A pressão e o volume inicial são, respectivamente, 3 bar e $0,1 \text{ m}^3$, e o volume final é de $0,2 \text{ m}^3$.

A variação de energia interna específica do gás durante o processo é $(u_2 - u_1 = -4,6 \text{ kJ/kg})$. Considere desprezáveis as variações de energia potencial e cinética.

Determine a quantidade de calor transferida para o sistema.

(Sol.: -800 J)

Problema 27

$0,112 \text{ m}^3$ de um gás à pressão inicial de 138 kN/m^2 são comprimidos politropicamente até à pressão de 690 kN/m^2 .

Sabendo que o expoente politrópico, $n = 1,4$.

Determine:

- a) O volume final do gás. (Sol.: $0,0355 \text{ m}^3$).
- b) O trabalho realizado. (Sol.: $-22,6 \text{ kJ}$).

Problema 28

Um gás é comprimido hiperbolicamente desde a pressão e volume iniciais de 100 kN/m^2 e $0,056 \text{ m}^3$, respectivamente, até ao volume de $0,007 \text{ m}^3$.

Determine:

- a) A pressão final do gás. (Sol.: 800 kPa).
- b) O trabalho realizado. (Sol.: $-11,64 \text{ kJ}$).

Problema 29

0,014 m³ de um gás à pressão de 2070 kN/m² expande até a uma pressão de 207 kN/m², de acordo com a lei $p.v^{1,35} = c$.

Determine o trabalho realizado pelo gás durante a expansão.

(Sol.: 37,3 kJ).

Problema 30

Num estudo de propriedades de um líquido, uma amostra de 2 kg foi aquecida isocoricamente de 400 °C a 450 °C. Foi necessário fornecer 52 W.h de energia sob a forma de calor. Calcule a diferença em energia interna específica entre os estados inicial e final.

(Sol.: 93,6 kJ/kg).

Problema 31

Um sistema é constituído inicialmente por 1,5 kg de uma substância, com energia interna específica de 40 kJ/kg e 3,0 kg da mesma substância com uma energia interna de 60 kJ/kg.

São transferidos 150 kJ de energia para o sistema sob a forma de calor.

Qual será a energia interna da substância no estado final de equilíbrio?

(Sol.: 390 kJ).

Problema 32

Uma amostra de gás não ideal é submetida a um processo de expansão durante o qual a sua pressão e volume estão relacionados como se mostra na tabela 1. A energia interna do gás no início e no fim do processo são 5,0 kJ e 3,3 kJ, respectivamente.

Determine as quantidades de energia transferida como calor e trabalho durante este processo.

Tabela 1

$V [m^3]$	$P [Pa]$
0,03	$2,8 \cdot 10^5$
0,06	$1,9 \cdot 10^5$
0,09	$1,4 \cdot 10^5$
0,12	$1,3 \cdot 10^5$

(Sol.: 14,35 kJ; 16,05 kJ).

Problema 33

Um bloco de 50 kg de ferro a 80 °C é colocado no interior de um tanque rígido e isolado, que contém 0,5 m³ de água líquida a 25 °C.

Determine a temperatura de equilíbrio térmico.

C_p (ferro) = 0,45 kJ/kg.K

C_p (água) = 4,184 kJ/kg.K

(Sol.: 25,6 °C).

BOYLE-MARIOTTE; CHARLES E GAY-LUSSAC**Problema 34**

Um gás à pressão inicial de 300 kN/m² ocupando um volume de 0,14 m³ é submetido a uma expansão isotérmica até à pressão de 60 kN/m². Determine o volume final do gás.

(Sol.: 0,7 m³).

Problema 35

Uma quantidade de gás ocupando $0,2 \text{ m}^3$ à temperatura de $303 \text{ }^\circ\text{C}$ é arrefecido isobaricamente até o seu volume se reduzir a $0,1 \text{ m}^3$.

Determine a temperatura final do gás.

(Sol.: $15 \text{ }^\circ\text{C}$).

EQUAÇÃO DE ESTADO DE UM GÁS PERFEITO

Problema 36

Qual é a massa de ar que se encontra no interior de uma habitação, com dimensões de $6 \times 10 \times 4 \text{ m}$, se a pressão for de 100 kPa e a temperatura $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Considere o ar como gás perfeito.

(Sol.: $280,5 \text{ kg}$)

Problema 37

Considere um reservatório com um volume de $0,5 \text{ m}^3$ e com 10 kg de um gás perfeito, cuja massa molecular é de 24 kg/kmol . A temperatura é de $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Qual é a pressão no interior do reservatório.

(Sol.: 2066 kPa)

Problema 38

Um gás à pressão inicial de 140 kN/m^2 , ocupando um volume de $0,1 \text{ m}^3$ à temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ é comprimido até à pressão de 700 kN/m^2 , sendo então a sua temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$.

Determine o volume final do gás.

(Sol.: $0,0223 \text{ m}^3$).

Problema 39

Um depósito com uma capacidade de 3 m^3 contém oxigénio à pressão de 350 kN/m^2 e à temperatura de $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Se for introduzido mais oxigénio no depósito até se atingir a pressão de $1,05 \text{ MN/m}^2$, determine:

- A massa de oxigénio inicial no depósito. (Sol.: $13,1 \text{ kg}$).
- A massa de oxigénio introduzida, sabendo que a temperatura final é de $70 \text{ }^\circ\text{C}$. (Sol.: $22,2 \text{ kg}$).

Problema 40

2 kg de um gás, ocupando $0,7 \text{ m}^3$ à temperatura de $15 \text{ }^\circ\text{C}$, são aquecidos isocoricamente até à temperatura de $135 \text{ }^\circ\text{C}$. Determine a quantidade de calor transferida e a pressão final do gás.

Considere, $c_p = 1,01 \text{ kJ/kg.K}$ e $R_g = 0,29 \text{ kJ/kg.K}$

(Sol.: $172,8 \text{ kJ}$; $338,1 \text{ kPa}$).

Problema 41

Um gás à pressão inicial de 275 kN/m^2 e à temperatura de $185 \text{ }^\circ\text{C}$, ocupando um volume de $0,09 \text{ m}^3$, é submetido a uma transformação isobárica ficando, no estado final, com uma temperatura de $15 \text{ }^\circ\text{C}$. Determine a quantidade de calor transferida e o trabalho realizado durante a transformação.

Considere, $c_p = 1,005 \text{ kJ/kg.K}$ e $R_g = 0,29 \text{ kJ/kg.K}$

(Sol.: $-31,78 \text{ kJ}$; $-9,18 \text{ kJ}$).

VARIAÇÃO DE ENTROPIA

Problema 42

Determine a variação de entropia do gás que constitui o sistema e sofre a transformação descrita no problema anterior.

Assuma que, $\Delta S = m.c_v \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} + m.R_g \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$

(Sol.: $-86,7 \text{ J}$).

TRANSFORMAÇÕES POLITRÓPICAS EM GASES PERFEITOS

Problema 43

Um gás à pressão inicial de 300 kN/m^2 , e à temperatura de 25°C é comprimido politropicamente até atingir a temperatura de 180°C . Sabendo que o expoente politrópico é igual a 1,4. Determine a pressão final do gás.

(Sol.: $1299,3 \text{ kPa}$).

Problema 44

Uma quantidade de gás ocupando $1,2 \text{ l}$ à temperatura de 150°C é submetido a uma expansão politrópica até atingir o volume de $3,6 \text{ l}$. Sabendo que $n = 1,4$.

Determine a temperatura final do gás.

(Sol.: $272,7 \text{ K}$).

Problema 45

Um depósito com a capacidade de 300 l contém um gás à pressão de $3,1 \text{ MN/m}^2$ e à temperatura de 18°C . A válvula de saída é aberta permitindo que se escoe uma parte do gás, e fazendo descer a pressão para $1,7 \text{ MN/m}^2$ e a temperatura para 15°C no interior do depósito. Nestas condições, determine:

- a) Massa de gás que saiu do depósito. (Sol.: $5,5 \text{ kg}$).
- b) Se o gás que ficou no depósito voltar à temperatura inicial (18°C), qual terá sido a quantidade de calor transferida. (Sol.: $13,24 \text{ kJ}$).

A massa volúmica do gás, a 0°C e $101,325 \text{ kN/m}^2$, é igual a $1,429 \text{ kg/m}^3$.

Considere ainda, $\gamma = 1,4$ (ou $c_p = 0,909 \text{ kJ/kg.K}$).

Problema 46

$0,23 \text{ kg}$ de ar à pressão de $1,7 \text{ MN/m}^2$ e à temperatura de 200°C sofrem uma expansão politrópica até à pressão de $0,34 \text{ MN/m}^2$. Sabendo que $n = 1,35$, determine o trabalho realizado pelo ar durante a expansão.

Considere, $R_g = 0,29 \text{ kJ/kg.K}$.

(Sol.: $30,8 \text{ kJ}$).

Problema 47

0,675 kg de um gás à pressão de $1,4 \text{ MN/m}^2$ e à temperatura de $280 \text{ }^\circ\text{C}$ sofrem uma expansão até atingirem um volume quádruplo do inicial. Sabendo que a expansão é politrópica de expoente igual a 1,3, determine:

- a) Os volumes, inicial e final, do gás. (Sol.: $0,0765 \text{ m}^3$; $0,306 \text{ m}^3$).
- b) A pressão final do gás. (Sol.: $230,9 \text{ kPa}$).
- c) A temperatura final do gás. (Sol.: $364,8 \text{ K}$).

Considere, $R_g = 0,287 \text{ kJ/kg.K}$.

Problema 48

0,25 kg de ar à pressão de 140 kN/m^2 ocupando $0,15 \text{ m}^3$ são comprimidos politropicamente até à pressão de $1,4 \text{ MN/m}^2$.

Sabendo que o expoente politrópico é igual a 1,25, determine:

- a) A variação da energia interna do ar. (Sol.: $30,7 \text{ kJ}$).
- b) O trabalho realizado. (Sol.: $-49,3 \text{ kJ}$).
- c) O calor transferido. (Sol.: $-18,6 \text{ kJ}$).

Considere, $c_p = 1,005 \text{ kJ/kg.K}$ e $c_v = 0,718 \text{ kJ/kg.K}$.

TRANSFORMAÇÕES ADIABÁTICAS EM GASES PERFEITOS

Problema 49

Um gás à pressão de 700 kN/m^2 , ocupando um volume de $0,015 \text{ m}^3$, é submetido a uma expansão adiabática até à pressão de 140 kN/m^2 . Determine:

- a) O volume final do gás. (Sol.: $0,048 \text{ m}^3$).
- b) O trabalho realizado. (Sol.: $9,7 \text{ kJ}$).
- c) A variação da energia interna. (Sol.: $-9,7 \text{ kJ}$).

Considere, $c_p = 1,046 \text{ kJ/kg.K}$ e $c_v = 0,752 \text{ kJ/kg.K}$.

Problema 50

0,2 kg de um gás à temperatura de 15 °C são comprimidos adiabaticamente até um quarto (1/4) do volume inicial, ficando à temperatura de 237 °C. Sabendo que o trabalho realizado durante a compressão foi de 33 kJ, determine os calores específicos a pressão e volume constantes e a constante característica do gás.

(Sol.: 1,049 kJ/kg.K; 0,743 kJ/kg.K; 0,306 kJ/kg.K).

Problema 51

Ar sofre uma compressão politrópica num sistema cilindro-pistão, desde $P_1 = 1$ bar, $T_1 = 22$ °C até $P_2 = 5$ bar.

Recorrendo à equação dos gases perfeitos, determine o trabalho e o calor transferido por unidade de massa, se o expoente politrópico for 1,3.

(Sol.: – 126,9 kJ/kg; – 31,16 kJ/kg)

Problema 52

Uma quantidade de um gás ocupa um volume de 0,3 m³ à pressão de 100 kN/m² e à temperatura de 20 °C. O gás é comprimido isotermicamente até à pressão de 500 kN/m², sofrendo depois uma expansão adiabática até ao volume inicial. Represente as transformações nos diagramas p-v e t-s.

Determine:

- a) O calor transferido durante a compressão. (Sol.: –48,3 kJ).
- b) A variação da energia interna durante a expansão. (Sol.: –35,6 kJ).
- c) A massa do gás. (Sol.: 0,358 kg).

Considere $\gamma = 1,4$ e $c_p = 1,0$ kJ/kg.K.

Problema 53

Uma quantidade de um gás ocupa um volume de $0,3 \text{ m}^3$ à pressão de 100 kN/m^2 e à temperatura de 20°C . O gás é comprimido isotermicamente até à pressão de 500 kN/m^2 , sofrendo depois uma expansão adiabática até ao volume inicial. Represente as transformações nos diagramas p-v e t-s.

Determine:

- a) O volume do gás no fim da compressão. (Sol.: $0,06 \text{ m}^3$).
- b) A pressão do gás no fim da expansão. (Sol.: $52,6 \text{ kPa}$).
- c) O trabalho realizado em cada uma das transformações. (Sol.: $-48,3 \text{ kJ}$; $35,5 \text{ kJ}$).

Considere $\gamma = 1,4$ e $c_p = 1,0 \text{ kJ/kg.K}$.

Problema 54

Um gás à pressão de $1,4 \text{ MN/m}^2$ e à temperatura de 360°C sofre uma expansão adiabática até à pressão de 100 kN/m^2 . O gás é depois aquecido isocoricamente até atingir novamente a temperatura de 360°C , altura em que a pressão é de 220 kN/m^2 .

Finalmente o gás é comprimido isotermicamente até atingir a pressão inicial.

Esboce os diagramas p-v e t-s para este ciclo e, sabendo que a massa de gás é de $0,23 \text{ kg}$, determine:

- a) O valor do expoente adiabático, γ (Sol.: $1,426$).
- b) A variação da energia interna do gás durante a expansão adiabática. (Sol.: $-56,14 \text{ kJ}$).
- c) A variação da entropia do gás durante a compressão isotérmica. (Sol.: $-0,13 \text{ kJ/K}$).

Considere $c_p = 1,005 \text{ kJ/kg.K}$.

MISTURA DE GASES

Problema 55

Um depósito com a capacidade de 1000 l contém uma mistura gasosa, cuja composição é a seguinte:

CH_4 – 90%

C_2H_6 – 5%

N_2 – 5%

Sabendo que a mistura se encontra à pressão de 7 bar e à temperatura de 20 °C, determine:

- A pressão parcial dos constituintes. (Sol.: 6,3 bar; 0,35 bar; 0,35 bar).
- A massa da mistura de cada constituinte e a massa total da mistura. (Sol.: 4,14 kg; 0,431 kg; 0,402 kg).

Problema 56

Passar para percentagem ponderal a composição da mistura a seguir indicada em percentagem volumétrica:

CH_4 – 90%

C_2H_6 – 5%

N_2 – 5%

(Sol.: 83,2%; 8,7%; 8,1%).

Problema 57

Passar para percentagem volumétrica a composição da mistura a seguir indicada em percentagem ponderal:

C_3H_8 – 85%

H_2 – 8%

N_2 – 6%

S – 1%

(Sol.: 31,2%; 64,8%; 3,5%; 0,5%).

Problema 58

Um sistema cilindro-pistão contém 0,9 kg de ar à temperatura e pressão de, respectivamente, 300 K e 1 bar. O ar é comprimido até que a temperatura atinja os 470 K e a pressão seja de 6,0 bar. Durante a compressão considere que há uma transferência de calor do ar para a vizinhança de 20 kJ.

Recorrendo à equação dos gases perfeitos determine o trabalho realizado durante o processo.

(Sol.: – 130,9 kJ)

Problema 59

Dois tanques encontram-se ligados por uma válvula. Um tanque contém 2 kg de monóxido de carbono (g) a 77 °C e à pressão de 0,7 bar.

O outro tanque contém 8 kg do mesmo gás a 27 °C e 1,2 bar.

Abre-se a válvula e os gases dos tanques misturam-se, ao mesmo tempo que se transfere calor da vizinhança.

A temperatura no estado de equilíbrio final é de 42 °C. Recorrendo à equação dos gases perfeitos, determine:

- a) A pressão no estado final. (Sol.: 0,105 MPa).
- b) O calor transferido no processo. (Sol.: 37,25 kJ)

SUBSTÂNCIA PURA

Problema 60

Um recipiente bem isolado com um volume de 0,25 m³ contém vapor saturado a 90 °C. A água é agitada rapidamente por uma ventoinha até que a pressão atinja 1,5 bar. Determine a temperatura final e o trabalho realizado durante o processo.

(Sol.: 495,5 °C; – 69,02 kJ)

Problema 61

Água à pressão de 10 bar e à temperatura de 400 °C sofre dois processos de transformação em série, dentro de um dispositivo cilindro-pistão.

Processo 1-2: A água é arrefecida isobaricamente até ao estado de vapor saturado.

Processo 2-3: A água é arrefecida a volume constante até à temperatura de 150 °C.

- Represente ambos os processos nos diagramas T-v e p-v.
- Determine o trabalho total realizado, kJ/kg (Sol.: – 112,2 kJ/kg).
- Determine o calor total transferido, kJ/kg (Sol.: – 1486,2 kJ/kg).

Problema 62

Um quilograma de ar sofre um ciclo termodinâmico que consiste nos seguintes 3 processos:

Processo 1-2: transformação isocórica.

Processo 2-3: expansão isotérmica.

Processo 3-1: transformação isobárica.

Considere:

Estado inicial, $T_1 = 300$ K, $P_1 = 1$ bar.

Estado 2 – $P_2 = 2$ bar.

Recorrendo à equação dos gases perfeitos:

- Represente o ciclo no diagrama p-v.
- Determine a temperatura no estado 2 (Sol.: 600 K).
- Determine o volume específico no estado 3 (Sol.: 1,72 m³/kg).

PROPRIEDADES DE UMA SUBSTÂNCIA PURA

Problema 63

Um dispositivo cilindro-pistão, inicialmente com vapor de água a 3,0 MPa e a 300 °C (estado 1) é arrefecido isocoricamente até à temperatura de 200 °C (estado 2). A água é então comprimida isotermicamente até à pressão de 2,5 MPa (estado 3).

- Represente nos diagramas p-v e T-v os estados descritos.
- Determine os volumes específicos de cada um dos estados e o título do estado 2 (Sol.: $v_1 = v_2 = 0,08114$ m³/kg; $x_2 = 63,4$ %; $v_3 = 0,001197$ m³/kg).

Problema 64

Determine o estado e o volume específico da água à temperatura de 200 °C e para cada uma das seguintes pressões:

- a) 5,0 MPa (Sol.: 0,001157 m³/kg).
- b) 1,0 MPa (Sol.: 0,206 m³/kg).

Problema 65

Determine a temperatura e o título (caso exista) para a água à pressão de 300 kPa e para cada um dos seguintes volumes específicos:

- a) 0,5 m³/kg (Sol.: vapor húmido, T = 133,6 °C, x = 82,5 %).
- b) 1,0 m³/kg (Sol.: vapor sobreaquecido, T = 379,8 °C).

Problema 66

Um reservatório fechado com água no seu interior, contém 0,1 m³ de líquido saturado e 0,9 m³ de vapor saturado em equilíbrio a 30 °C. Determine a percentagem de vapor em base ponderal (massa).
(Sol.: 0,03 %).

LÍQUIDOS E VAPORES

Problema 67

Determine os valores, aproximado e exacto, da entalpia específica da água líquida à temperatura de 150 °C e à pressão de 5,0 MN/m².
(Sol.: 632,2 kJ/kg; 635,4 kJ/kg).

Problema 68

Uma caldeira produz 20000 kg/h de vapor de água à pressão de 6,0 MN/m² e à temperatura de 360 °C.

Determine a quantidade de água à temperatura de 15 °C que é necessária injectar na tubagem de vapor que sai da caldeira, para que a temperatura desta baixe para 320 °C.
(Sol.: 820,2 kg).

Problema 69

Vapor de água à pressão de 1,568 MPa, com um título de 0,92, sofre uma expansão isentrópica até à pressão de 196 kPa, sendo depois submetido a uma expansão isotérmica até à pressão de 19,6 kPa.

Recorrendo ao diagrama de Mollier, determine:

- O estado final do vapor. (Sol.: Vapor sobreaquecido; 120 °C; 19,6 kPa).
- A variação de entalpia específica em cada transformação. (Sol.: -330 kJ/kg; 400 kJ/kg).
- A variação de entropia específica em cada transformação. (Sol.: 0 kJ/kg.K; 2 kJ/kg.K).

Problema 70

Vapor de água à pressão de 20 kg/cm², com um título de 0,875, é aquecido isobaricamente até à temperatura de 350 °C, sofrendo então uma expansão isentrópica até à pressão de 2,5 kg/cm². O vapor passa em seguida por um estrangulamento de onde sai à pressão de 0,2 kg/cm².

Recorrendo ao diagrama de Mollier, determine:

- O estado final do vapor. (Sol.: Vapor sobreaquecido; 2700 kJ/kg; 19,6 kPa; 8,2 kJ/kg.K; 110 °C).
- A variação de entalpia e entropia específica em cada uma das transformações. (Sol.: 2550 kJ/kg; 5,8 kJ/kg.K; 3150 kJ/kg; 7 kJ/kg.K; 2700 kJ/kg; 7 kJ/kg.K; 2700 kJ/kg; 8,2 kJ/kg.K).

Problema 71

Vapor de água à pressão de 25,48 kN/m² passa por um condensador, saindo condensado à temperatura de 60 °C. A água de arrefecimento circula no condensador à razão de 45 kg/min, entrando a 15,6 °C e saindo a 32,2 °C.

Sabendo que o caudal de vapor é de 2 kg/min, determine o estado do vapor à entrada do condensador.

(Sol.: Vapor húmido; 65,4 °C; 1906,1 kJ/kg; 25,48 kPa; $x_1 = 0,658$).

Problema 72

Vapor seco saturado à pressão de $1,24 \text{ MN/m}^2$ circula num tubo de 150 mm de diâmetro interno, à velocidade de 24 m/s. Determine:

- Caudal de vapor. (Sol.: 2,71 kg/s).
- Se este vapor passar por um estrangulamento e dele sair à pressão de $143,33 \text{ kN/m}^2$, em que estado ficará? (Sol.: Vapor sobreaquecido; $156,1 \text{ }^\circ\text{C}$; $2786,4 \text{ kJ/kg}$).
- Introduzindo 4,5 kg deste vapor, que passou pelo estrangulamento, um tanque contendo 90 kg de água à temperatura inicial de $21,1 \text{ }^\circ\text{C}$, qual será a sua temperatura final. (Sol.: $51,8 \text{ }^\circ\text{C}$).

Problema 73

Uma turbina de vapor debita uma potência de 3 MW quando recebe vapor à pressão de $3,0 \text{ MN/m}^2$ e à temperatura de $320 \text{ }^\circ\text{C}$.

Sabendo que o vapor sai da turbina à pressão de $9,6 \text{ kN/m}^2$ e com um título de 0,9, determine:

- O caudal de vapor (Sol.: 4,3 kg/s).
- A área da secção recta da tubagem de escape da turbina, se a velocidade do vapor for de 75 m/s (Sol.: $0,785 \text{ m}^2$).

Problema 74

Entra vapor num tubo longo e horizontal, com um diâmetro de entrada de 12 cm, a 1 MPa e $250 \text{ }^\circ\text{C}$, com uma velocidade de 2 m/s. Mais a jusante, as condições são de 800 kPa e $200 \text{ }^\circ\text{C}$ e o diâmetro é de 10 cm. Determine:

- O caudal mássico de vapor (Sol.: 0,0972 kg/s).
- A taxa de transferência de calor (Sol.: $-9,7 \text{ kJ/s}$).

Problema 75

Uma válvula isolada termicamente é utilizada para estrangular vapor de água desde 8 MPa e $500 \text{ }^\circ\text{C}$ para 6 MPa. Determine a temperatura final do vapor. (Sol.: $490 \text{ }^\circ\text{C}$).

Problema 76

Numa turbina adiabática entra vapor de água em regime permanente. As condições de entrada são 10 MPa, 450 °C e 80 m/s, e as de saída são 10 kPa, título de 92 % e 50 m/s.

O caudal mássico de vapor é de 12 kg/s. Determine:

- a) A variação de energia cinética (Sol.: -1,95 kJ/kg).
- b) A potência debitada (Sol.: 10,2 MW).
- c) A área de entrada da turbina (Sol.: 0,00446 m²).

Problema 77

Um aquecedor de água a funcionar com fluxo uniforme possui duas entradas e uma saída. Pela entrada 1 entra vapor de água a 7 bar e a 200 °C com um caudal mássico de 40 kg/s.

Pela entrada 2 entra água líquida a 7 bar e a 40 °C, por uma área de 25 cm². Pela saída 3 sai líquido saturado a 7 bar com um caudal volúmico de 0,06 m³/s.

Determine os caudais mássicos na entrada 2 e na saída 3, assim como a velocidade V_2 .

(Sol.: $\dot{m}_2 = 14,15$ kg/s; $\dot{m}_3 = 54,15$ kg/s; $V_2 = 5,705$ m/s).

Problema 78

Entra vapor por um bocal que funciona com fluxo estacionário à pressão de 40 bar, à temperatura de 400 °C e com uma velocidade de 10 m/s.

À saída a pressão é 15 bar e a velocidade é de 665 m/s. O caudal mássico de atravessamento é de 2 kg/s.

Considerando que não existe transferência de calor ao longo do bocal e que a variação de energia potencial de posição é desprezável, determine a área de saída do bocal.

(Sol.: $4,91 \cdot 10^{-4}$ m²).

Problema 79

4600 kg/h de vapor atravessam uma turbina que funciona em fluxo estacionário. A turbina desenvolve uma potência de 1000 kW.

Na entrada, a pressão é de 60 bar, a temperatura é de 400 °C e a velocidade é de 10 m/s.

À saída, a pressão baixou para 0,1 bar, sendo o título de 90 % e a velocidade de 50 m/s.

Calcule a taxa de transferência de calor entre a turbina e a vizinhança, em kW.

(Sol.: – 61,57 kW).

Problema 80

Entra ar à pressão de 1 bar, à temperatura de 290 K e com uma velocidade de 6 m/s num compressor que funciona em fluxo estacionário, e que possui uma secção de entrada com 0,1 m².

À saída, a pressão passou para 7 bar, a temperatura para 450 K e a velocidade para 2 m/s. O compressor rejeita calor à taxa de 180 kJ/min.

Recorrendo à equação dos gases perfeitos, determine a potência necessária na entrada do compressor.

(Sol.: – 119,4 kW).

Problema 81

Uma bomba eleva água numa tubagem à taxa de 10 kg/s. Na entrada da tubagem, a pressão é de 1 bar, a temperatura é de 20 °C e a velocidade é de 3 m/s.

Na saída, localizada 15 m acima da entrada, temos: 1,4 bar, 20 °C e 12 m/s.

Determine a potência que a bomba tem que fornecer. A aceleração gravítica local é de 9,75 m/s².

(Sol.: 2,54 kW).

Problema 82

Entra vapor num condensador de uma central térmica a 1 bar com um título de 95 %. O condensado sai a 0,1 bar e a 45 °C.

Entra água de arrefecimento (circulação independente do vapor) a 20 °C e sai a 35 °C, sem variação na pressão. Podem-se desprezar quaisquer entradas de calor no condensador a partir da vizinhança e variações de energia cinética e potencial.

Determine:

- Os caudais de abastecimento de vapor e de água de arrefecimento (Sol.: 2276,01 kg/s; 62,7 kg/s).
- A taxa de transferência de calor entre o vapor e a água de arrefecimento (Sol.: – 2276,7 kJ/kg).

CICLO DE CARNOT

Problema 83

A razão de expansão total de um ciclo de Carnot é 15/1. As temperaturas limites do ciclo são 260 °C e 21 °C. Determine:

- As razões de compressão das transformações isotérmica e adiabática (Sol.: 3,39).
- O rendimento térmico do ciclo (Sol.: 44,8 %).

Considere $\gamma = 1,4$.

Problema 84

Um motor térmico funciona segundo um ciclo de Carnot. As temperaturas das fontes quente e fria são, respectivamente, 1000 K e 300 K. Se for fornecido calor a uma taxa de 800 kJ/min, determine:

- O rendimento térmico do motor (Sol.: 70 %).
- A potência produzida durante o ciclo (Sol.: 9,33 kW).

Problema 85

Um motor térmico a funcionar segundo um ciclo de Carnot tem um rendimento térmico de 55 %. A taxa de calor rejeitado para o ambiente (à temperatura de 15 °C) é de 800 kJ/min. Determine:

- a) A potência de saída do motor (Sol.: 16,3 kW).
- b) A temperatura da fonte quente (Sol.: 640 K).

CICLOS OTTO E DIESEL

Problema 86

Um ciclo Otto tem uma razão de compressão de 8. No início do processo de compressão, o ar está a 100 kPa e a 17 °C.

Durante o aquecimento isocórico é transferido calor com uma taxa de 800 kJ/kg. Determine:

- a) A temperatura e pressão máximas atingidas durante o ciclo. (Sol.: 1780,4 K; 4,9 MPa).
- b) O trabalho produzido (Sol.: 451,4 kJ/kg).
- c) O rendimento térmico (Sol.: 56,5%).

Problema 87

Um ciclo Diesel ideal, em que o fluido operante é o ar, tem uma razão de compressão de 18. A taxa de combustão isobárica é igual a 2.

No início do processo de combustão, o fluido operante está a uma pressão de 101,35 kPa, a uma temperatura de 26,67 °C e tem um volume de 75,5 l.

Determine:

- a) A temperatura e pressão do ar no final de cada processo (Sol.: 299,67 K; 101,35 kPa; 952,25 K; 5797 kPa; 1904,5 K; 5797 kPa; 790,8 K; 267,5 kPa).
- b) O trabalho produzido (Sol.: 53,85 kJ).
- c) O rendimento térmico (Sol.: 63,2 %).

Problema 88

A taxa de compressão de um motor que funciona segundo um ciclo Otto é de 9,5. Antes do processo de compressão isentrópica o ar está a 100 kPa, 17 °C e ocupa um volume de 600 cm³. A temperatura no final do processo de expansão isentrópica é 800 K.

Determine:

- a) A temperatura e pressão máximas atingidas durante o ciclo (Sol.: 1968,7 K; 6449,2 kPa).
- b) A quantidade de calor transferida durante a adição de calor (em kJ) (Sol.: 0,65kJ).
- c) O rendimento térmico (Sol.: 59,4%).

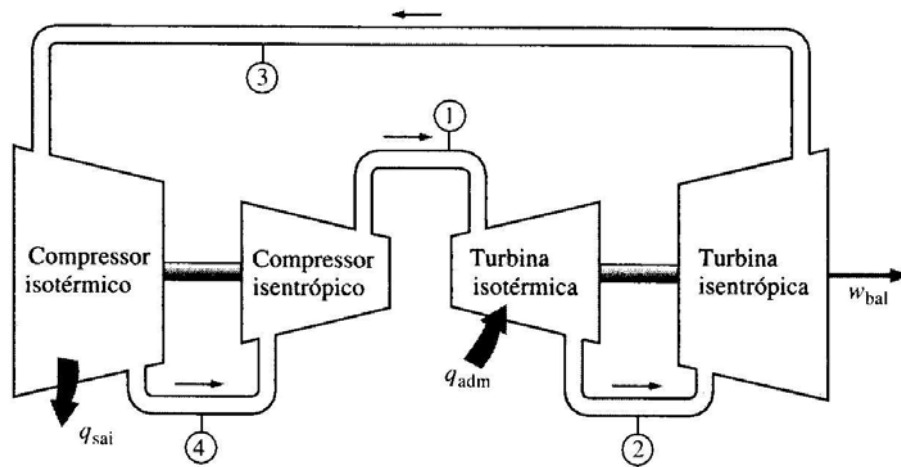
Problema 89

Um ciclo Diesel ideal tem uma razão de compressão de 18,2. No início do processo de compressão o ar está a 27 °C e 0,1 MPa.

No final do processo de adição de calor a temperatura é de 2000 K. Determine:

- a) A taxa de combustão isobárica (Sol.: 2,09).
- b) O calor rejeitado por unidade de massa (Sol.: -388,7 kJ).
- c) O rendimento térmico (Sol.: 62,9 %).

CICLOS DE POTÊNCIA



Ciclo de Carnot com escoamento em regime permanente.

Problema 90: Derivação do rendimento de um ciclo de Carnot

Mostre que o rendimento térmico de um ciclo de Carnot, que funciona entre os limites de temperatura T_Q e T_F , é função apenas destas duas temperaturas, e é dado pela equação $\eta_{t,Carnot} = 1 - \frac{T_F}{T_Q}$.

CICLO DE STIRLING E DE ERICSSON

Problema 91: Rendimento térmico do ciclo de Ericsson

Utilizando um gás perfeito como fluido operante, mostre que o rendimento térmico de um ciclo de Ericsson é idêntico ao de um ciclo de Carnot, funcionando entre os mesmos limites de temperatura.

CICLO DE BRAYTON: O CICLO IDEAL PARA TURBINAS A GÁS

Problema 92: Ciclo simples ideal de Brayton

Uma central funcionando com um ciclo de Brayton apresenta uma relação de pressão de 8. A temperatura do gás à entrada do compressor é de 300 K e de 1300 K na entrada da turbina. Considerando as hipóteses para o ar padrão, determine:

- a) Temperatura de saída do compressor e da turbina (Sol.: 540 K; 770 K).
- b) Relação entre os trabalhos (Sol.: 0,402).
- c) Rendimento térmico (Sol.: 42,6 %).

DESVIO ENTRE OS CICLOS DE TURBINA A GÁS REAIS E IDEAIS

Problema 93: Ciclo real de uma turbina a gás

Com base no problema anterior e considerando um rendimento do compressor de 80 %, e 85 % para a turbina, determine:

- a) Relação de trabalhos (Sol.: 0,592).
- b) Rendimento térmico (Sol.: 26,6 %).
- c) Temperatura de saída da turbina da central térmica (Sol.: 853 K).

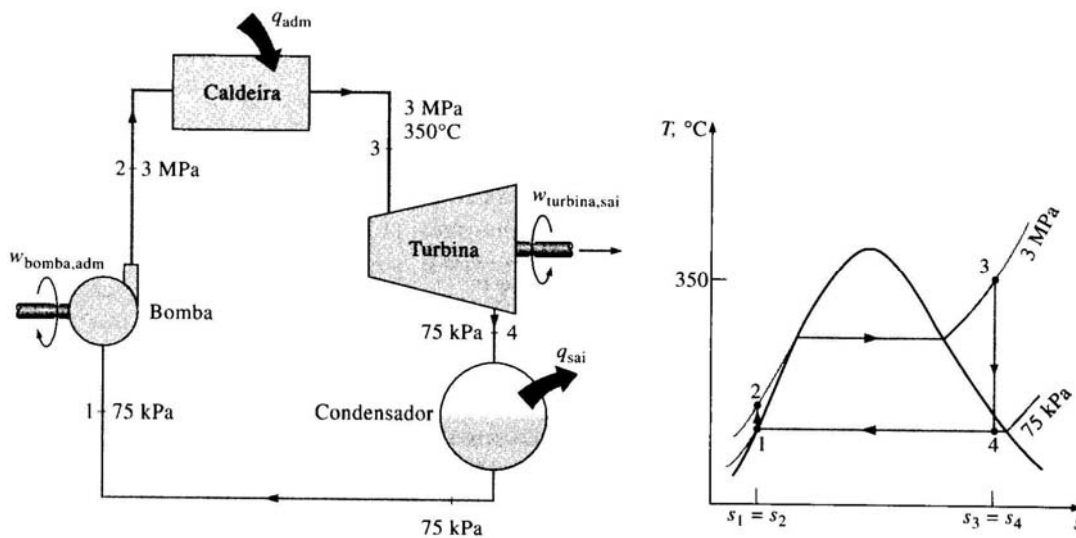
CICLOS A VAPOR E COMBINADOS

CICLO DE RANKINE: O CICLO IDEAL DE POTÊNCIA A VAPOR

Problema 94: Ciclo de Rankine simples ideal

Considere uma central térmica a vapor de água que funciona com o ciclo de Rankine simples e ideal. Na turbina entra vapor a 3 MPa e 350 °C, sendo condensado num condensador à pressão de 75 kPa. Determine o rendimento térmico do ciclo.

(Sol.: 26 %).



Problema 95

Vapor é o fluido operante num ciclo de Rankine ideal. Entra vapor saturado na turbina a 8,0 MPa e sai líquido saturado do condensador à pressão de 0,008 MPa. A potência líquida desenvolvida no ciclo é de 100 MW. Determine:

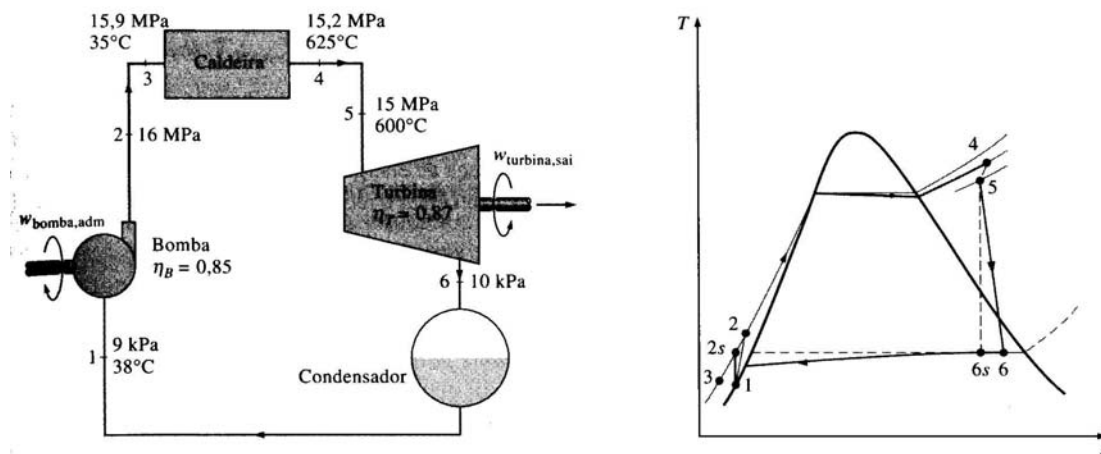
- O rendimento térmico (Sol.: 37,1 %).
- A relação entre os trabalhos desenvolvidos no compressor e na turbina (Sol.: 0,0084).
- O caudal mássico de vapor (Sol.: $3,77 \cdot 10^5$ kg/h).
- A taxa de transferência de calor que entra na caldeira (Sol.: 269,8 MW).
- A taxa de calor rejeitada no condensador (Sol.: 169,8 MW).
- O caudal mássico de água de alimentação do condensador, se esta entrar a 15 °C e sair a 35 °C. (Sol.: $7,3 \cdot 10^6$ kg/h).

DESVIO ENTRE OS CICLOS DE POTÊNCIA A VAPOR REAIS E IDEAIS

Problema 96: Ciclo de potência a vapor real

Uma central térmica de vapor de água funciona com o ciclo ilustrado na figura seguinte. Sabendo que o rendimento adiabático da turbina é de 87 % e o da bomba é de 85 %, determine:

- Rendimento térmico do ciclo (Sol.: 35,9 %).
- Potência debitada pela central através de um caudal de 15 kg/s (Sol.: 18,9 MW).



Problema 97: Efeitos da temperatura e da pressão da caldeira no rendimento

Considere uma central térmica de vapor que funciona com um ciclo de Rankine ideal. O vapor de água entra na turbina a 3 MPa e 350 °C e é condensado à pressão de 10 kPa. Determine:

- Rendimento térmico desta central (Sol.: 33,5 %).
- Rendimento térmico se o vapor for sobreaquecido até 600 °C em vez de 350 °C (Sol.: 37,3 %).
- Rendimento térmico se a pressão for aumentada para 15 MPa, enquanto se mantém a temperatura da turbina a 600 °C (Sol.: 43 %).