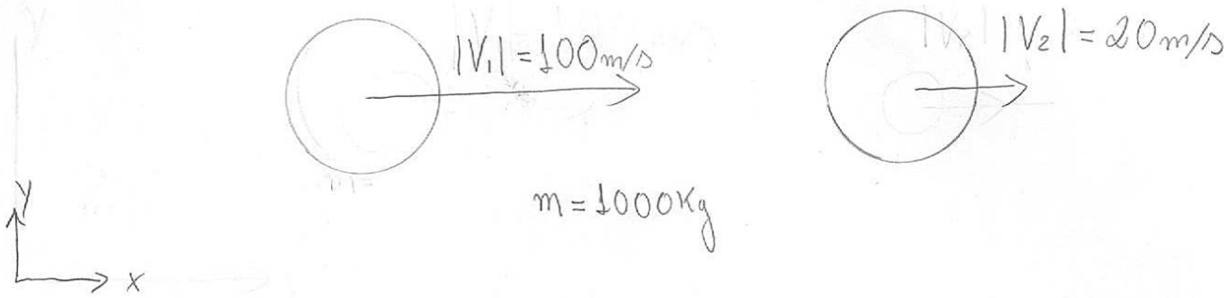
2.6 Um objeto cuja massa é de 1000 kg, inicialmente possuindo uma velocidade de 100 m/s, desacelera até uma velocidade final de 20 m/s. Qual é a variação de energia cinética do objeto, em kJ?

Estado ① Estado ②



A energia cinética de um corpo de massa m a velocidade V é dado por:

$$EC = \frac{1}{2} m V^2$$

Logo a eneria em cada um dos estados

$$EC_1 = \frac{1}{2} m V_1^2 \quad e \quad EC_2 = \frac{1}{2} m V_2^2$$

A variação de energia cinética

$$\Delta EC = \frac{1}{2} m V_2^2 - \frac{1}{2} m V_1^2 = \frac{1}{2} m (V_2^2 - V_1^2)$$

Substituindo os valores do problema

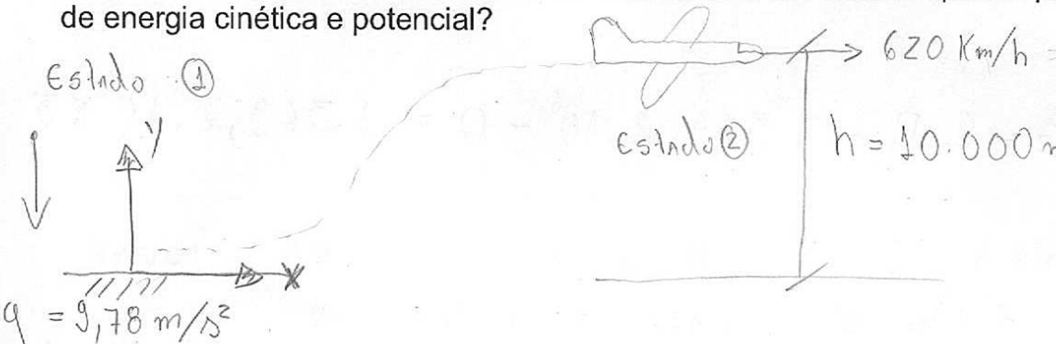
$$\Delta EC = \frac{1}{2} \times 1000 \times (20^2 - 100^2) \times (Kg) \times \left(\frac{m}{s}\right)^2 = -4{,}8 \times 10^6 \underbrace{\frac{Kg\, m}{s^2}}_{N} m$$

$$\Delta EC = -4{,}8 \times 10^6 \overbrace{N \cdot m}^{J} = -4800{,}0\ KJ$$

2.7 Um avião turbo-hélice de 30 lugares, cuja massa é de 14.000 kg, decola de um aeroporto e eventualmente alcança sua velocidade de cruzeiro de 620 km/h e uma altitude de 10.000 m. Para $g = 9,78\ m/s^2$, determine a

variação na energia cinética e a variação na energia potencial do avião, ambas em kJ.

Supondo que o avião use um querosene que possui 44 MJ de energia química a ser liberada na combustão, qual é a quantidade de combustível necessária apenas para suprir as variações de energia cinética e potencial?



$g = 9,78\ m/s^2$

Inicialmente quando o avião estava na origem (0,0) sua energia cinética e potencial gravitacional eram zero.

$$EC_1 = \frac{1}{2} m V^2 = 0 \quad ; \quad EP_1 = m \cdot g \cdot h = 0$$

Para o estado ② a energia cinética e potencial em relação a origem

$$EC_2 = \frac{1}{2} \times m \times V^2 = \frac{1}{2}(14 \times 10^3) \times \left(620 \left(\frac{Km}{h}\right)\left(\frac{1000\,m}{Km}\right)\left(\frac{1h}{3600\,s}\right)\right)^2$$

$$EC_2 = 207,6 \times 10^6 \underbrace{\frac{Kg\,m}{s^2}}_{N} \times m \quad J$$

$$EC_2 = 207,6 \times 10^3\ KJ$$

$$EP_2 = m \times g \times h = 14 \times 10^3 \times 9,78 \times 1 \times 10^4 \times \underbrace{\overbrace{(Kg) \times \left(\frac{m}{s^2}\right)}^{N} \times m}_{J}$$

$$EP_2 = 1.369,2 \times 10^6\ KJ$$

Portanto a variação de energia cinética e potencial entre o estado 1 e 2

$$\Delta EC = EC_2 - EC_1 = 207,6 \times 10^3 KJ - 0 = 207,6 \times 10^3 KJ$$

$$\Delta EP = EP_2 - EP_1 = 1.369,2 \times 10^6 - 0 = 1.369,2 \times 10^6 KJ$$

Assim a energia total necessaria para levar o avião do estado 1 para o estado 2.

$$\Delta E = \Delta EC + \Delta EP = 207,6 \times 10^3 + 1.369,2 \times 10^6 KJ$$

$$\underline{\Delta E = 1.369.407.600,0 \ KJ}$$

Para um avião consumindo querosene a quantidade de combustivel necessaria para produzir esta mudança de estado é dado por:

$$m_c \times EQ = \Delta E$$

$$m_c = \frac{\Delta E}{EQ} = \frac{1.369.407,0}{44,0} \frac{MJ}{\frac{MJ}{Kg}}$$

$$\underline{m_c = 31.122,87 \ Kg}$$

3

2.17 Jack, que pesa 150 lbf (667,2 N), corre 5 milhas em 43 minutos em uma esteira inclinada de 1 grau. O visor da esteira mostra que ele *queimou* 620 kcal (2595,8 kJ). Para Jack consumir o mesmo número de calorias, quantas taças de sorvete de baunilha ele pode tomar após o seu treinamento?

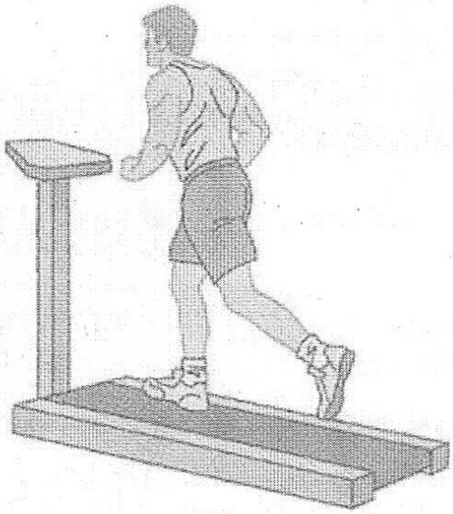


Fig. P2.17

Para um atleta que queimou 620 Kcal em um exercício, e pretende repor esta energia consumida ingerido sorvete, deve consumir a seguinte quantidade de sorvete

$$C_S \times E_S = E_{consumida}$$

Considerando que a enegia presente no alimento é de $200 \frac{Kcal}{Copo}$

$$C_S = \frac{620 \cancel{Kcal}}{200 \frac{\cancel{Kcal}}{copo}} = \underline{3{,}1 \text{ Copos}}$$

2.22 As duas forças mais importantes que se opõem ao movimento de um veículo em uma estrada plana são a resistência dos pneus ao rolamento, F_r, e a força de arrasto aerodinâmico do ar escoando ao redor do veículo, F_d, dadas, respectivamente, por

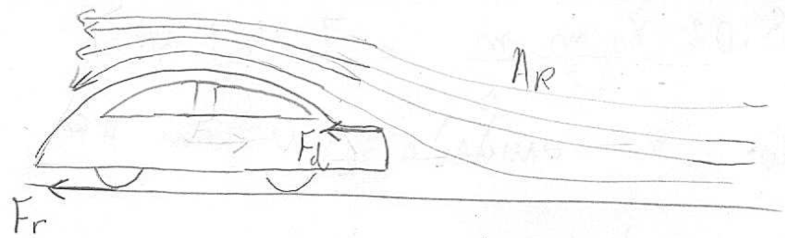
$$F_r = fW, \qquad F_d = C_d A \tfrac{1}{2} \rho V^2$$

sendo f e C_d constantes conhecidas como coeficiente de resistência ao rolamento e coeficiente de arrasto, respectivamente. W e A são o peso do veículo e a área frontal projetada, respectivamente. V é a velocidade do veículo e ρ é a massa específica do ar. Para um carro de passeio com W = 3550 lbf (15,8 kN), A = 23,3 ft² (2,2 m²) e C_d = 0,34, e quando f = 0,02 e ρ = 0,08 lb/ft³ (1,3 kg/m³)

(a) determine a potência necessária, em HP, para vencer a resistência ao rolamento e o arrasto aerodinâmico quando V é 55 mi/h (24,6 m/s).

(b) faça um gráfico da velocidade do veículo entre 0 e 75 mi/h (33,5 m/s) *versus* (i) a potência para vencer a resistência ao rolamento, (ii) a potência para vencer o arrasto aerodinâmico e (iii) a potência total, todas em HP.

Quais as implicações para a economia de combustível do veículo que podem ser deduzidas dos resultados do item (b)?



As forças que um veiculo de vencer para se manter em movimento são

Fr = força de resistência = f W

Fd = força de Arrasto aerodinâmico = $Cd \times A \times \frac{1}{2} \times \rho \times V^2$

Utilizando as informações dadas no problema

W = 15,8 KN ; A = 2,2 m² ; Cd = 0,34 ; f = 0,02 e ρ = 1,3 Kg/m²

(a) Qual a Potência necessaria para o veículo se manter a velocidade de 24,6 m/s

5

Solução:

$\dot{W} = F \times V$ (Trabalho é força x velocidade) eq 2.13

A potência dissipada para vencer o atrito dos pneus

$$\dot{W}_r = F_r \times V = (f \cdot \omega) V = 0{,}02 \times 15{,}8 \times 10^3 (N) \times 24{,}6 \left(\frac{m}{s}\right)$$

$$\dot{W}_r = 7{,}77 \times 10^3 \frac{N\,m}{s} = 7{,}77 \cdot \frac{KJ}{s} = 7{,}77\ KW$$

A potência dissipada para vencer o arraste provocado pelo deslocamento do ar

$$\dot{W} = F_d \cdot V = \left(C \times A \times \frac{1}{2} \times \rho \times V^2\right) V = 0{,}34 \times 2{,}2 (m^2) \times \frac{1}{2} \times 1{,}13 \left(\frac{Kg}{m^3}\right) \times \left(24{,}6\ \frac{m}{s}\right)^3$$

$$\dot{W}_d = 7238{,}02\ \frac{Kg\,m}{s^2}\,\frac{m}{s} = 7{,}24\ KW$$

Transformando a unidade KW em HP

$$\dot{W}_r = 7{,}77\ KW \left| \frac{1\ HP}{0{,}7457\ KW} \right| = 10{,}4\ HP$$

$$\dot{W}_d = 7{,}24\ KW \left| \frac{1\ HP}{0{,}7457\ KW} \right| = 9{,}7\ HP$$

(b) O veículo dissipa mais potência a elevadas velocidade.

- A força de arrasto aumenta em razão cubica da velocidade.

(6)

Força de atrito ao rolamento

$F_r = f \cdot \omega$

Força de arrasto ar-superficie do veiculo

$F_d = C_d \cdot A \cdot 1 / 2 \cdot V^2$

Potência para vencer o atrito entre Pneus e solo

$\dot{W}_r = F_r \cdot V \cdot F_{conversão}$

Potência para vencer o arrasto imposto pelo Ar

$\dot{W}_d = F_d \cdot V \cdot F_{conversão}$

Potência total para o Veículo se manter a Velocidade V

$\dot{W}_{total} = \dot{W}_r + \dot{W}_d$

Constantes Fornecidas pelo Execício

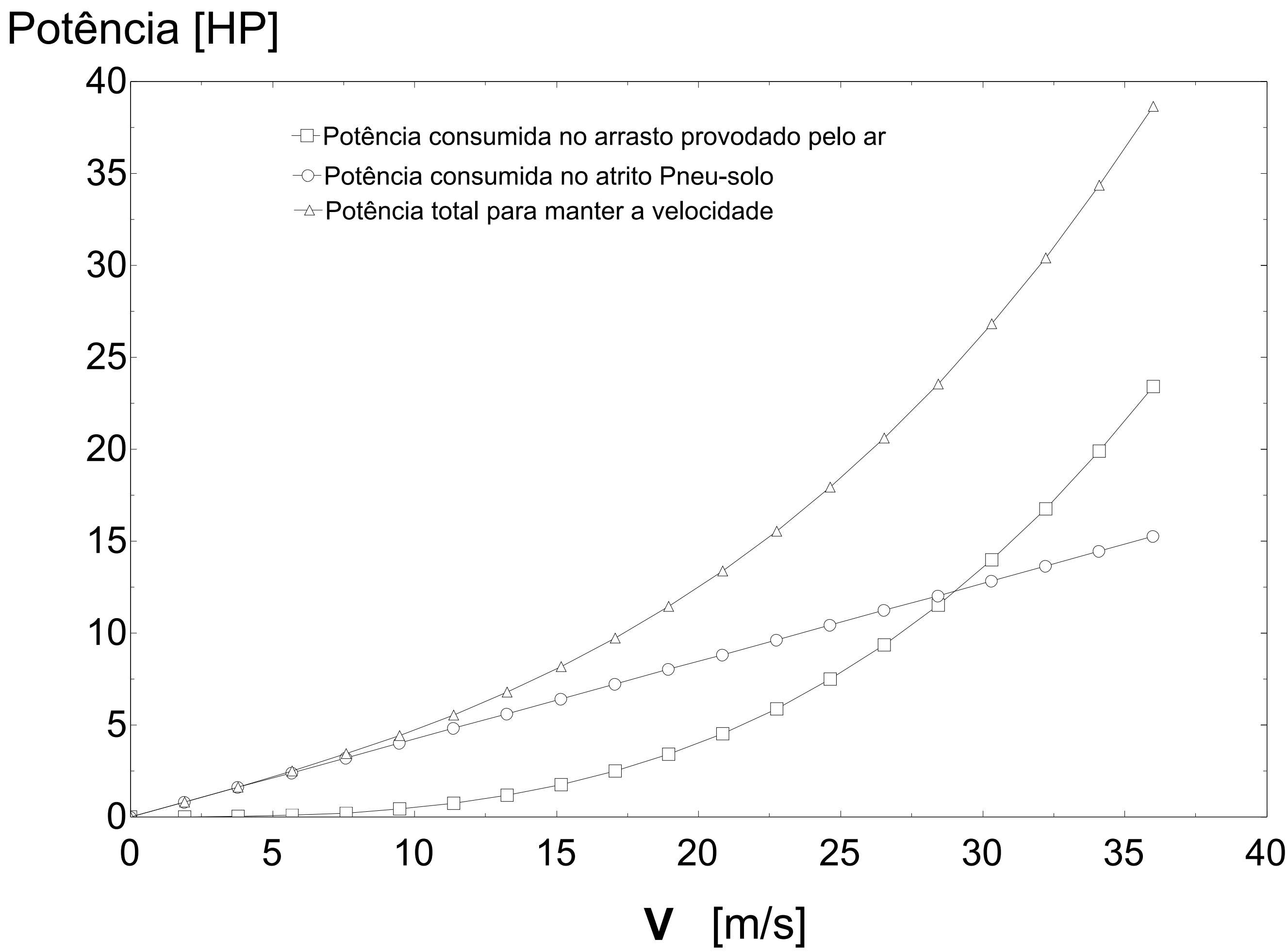
$\omega = 15,8 \cdot 10^3$ [N]

$A = 2,2$ [m²]

$C_d = 0,34$ [Adimensional]

$f = 0,02$ [Adimensional]

$F_{conversão} = \dfrac{1}{745,7 \quad [W/HP]}$


Potência [HP]
Potência consumida no arrasto provodado pelo ar
Potência consumida no atrito Pneu-solo
Potência total para manter a velocidade
0
5
10
15
20
25
30
35
40
0
5
10
15
20
25
30
35
40
V [m/s]

2.31 Um conjunto cilindro-pistão orientado horizontalmente contém ar aquecido, conforme ilustrado na Fig. P2.31. O ar se resfria lentamente, de um volume inicial de 0,003 m³ até um volume final de 0,002 m³. Durante esse processo, a mola exerce uma força que varia linearmente de um valor inicial de 900 N até um valor final zero. A pressão atmosférica é 100 kPa, e a área da face do pistão é 0,018 m². O atrito entre o pistão e a parede do cilindro pode ser desprezado. Para o ar, determine as pressões inicial e final, em kPa, e o trabalho, em kJ.

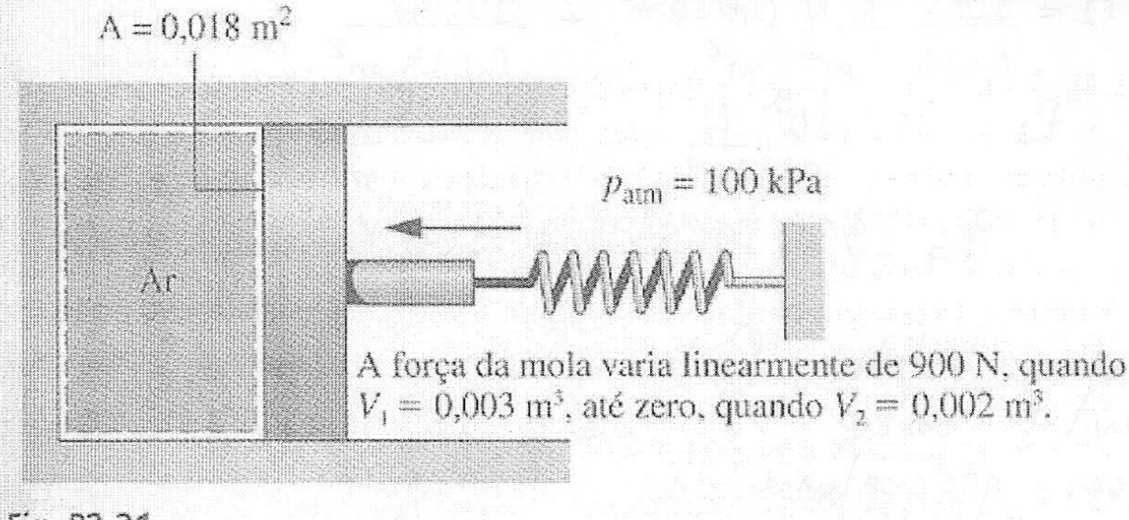
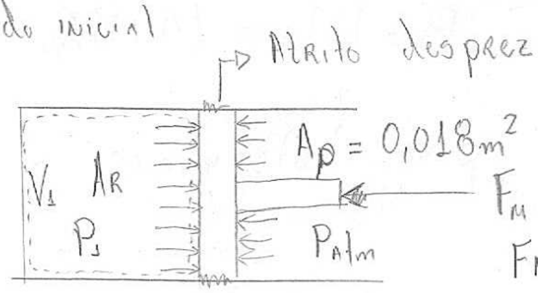


Fig. P2.31

Estado inicial



F_M = força aplicada no pistão pela mola [N]
$F_M = 900 N$

Como o atrito entre o pistão cilindro é desprezivel a resultante das forças atuando no pistão deve ser nula.

$P = \frac{F}{A}$ logo

$F = P \times A$

$P_1 \times A_p = P_{Atm} \times A_p + F_M$ ou $P_1 = P_{Atm} + \frac{F_M}{A_p}$

Substituindo os dados do problema

$$P_1 \times 0,018\,m^2 = 100\,KPa \times 0,018\,m^2 + 900\,N$$

$$P_1 = \frac{100}{0,018}\,\frac{KN}{\cancel{m^2}}\,\frac{\cancel{0,018\,m^2}}{\cdot m^2} + \frac{900\,N}{0,018\,m^2}$$

$$P_1 = 100 \times 10^3\,\frac{N}{m^2} + 50 \times 10^3\,\frac{N}{m^2}$$

$$P_1 = 150 \times 10^3\,\underbrace{\frac{N}{m^2}}_{Pa} = 150\,KPa$$

Para o estado final onde a força da mola atuando sobre o pistão é zero, as únicas forças que atuam são as forças devido a pressão

$$P_1 \times A_p = P_{Atm} \times A_p \quad \text{logo} \quad P_1 = P_{Atm} = 100\,KPa$$

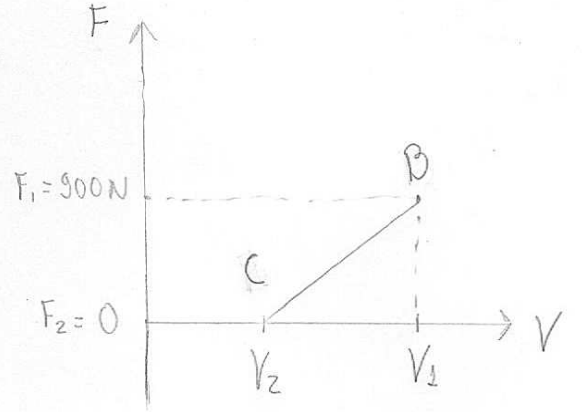
Utilizando a equação 2.17 para determinar o trabalho realizado sobre o gás

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV$$

A pressão no gás entre o estado inicial e final

$$P_{AR} = P_{Atm} + \frac{F_M}{A_p}$$

Antes de substituir a pressão na integral é necessario escrever $P(V)$, o problema fornece que a variação ocorre da força é linear



A equação que fornece F(V) passando pelo ponto B e C

$$F_M - 0 = \left(\frac{900-0}{0{,}003-0{,}002}\right)(V-0{,}002)$$

$$F_M(V) = 9 \times 10^5 (V - 0{,}002) \ (N)$$

$B(V_1, F_1)$; $C(V_2, F_2)$

Substituindo F(V) na equação do trabalho

$$W = \int_{V_1}^{V_2} \left(P_{Atm} + \frac{F_M}{A}\right) dV = \int_{V_1}^{V_2} \left[100 \times 10^3 \frac{N}{m^2} + \frac{9 \times 10^5 (V-0{,}002)(N)}{(0{,}018)(m^2)}\right] dV$$

$$W = \int_{0{,}003}^{0{,}002} \left[\cancel{100 \times 10^3} \frac{N}{m^2} + \left(5 \times 10^7 V - \cancel{100 \times 10^3}\right) \frac{N}{m^2}\right] \cdot dV$$

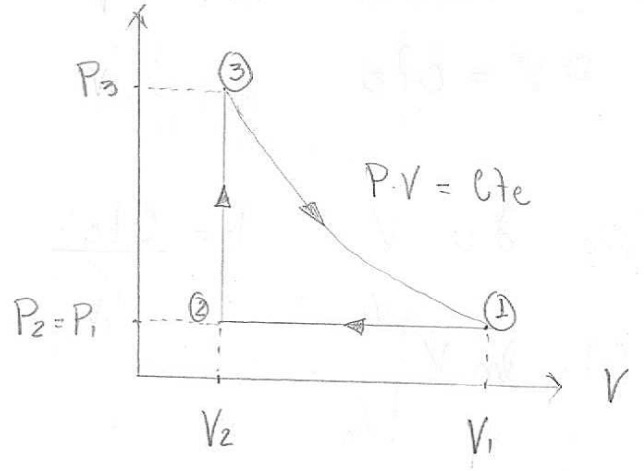
$$W = \left[\frac{5 \times 10^7 V^2}{2}\right|_{0{,}003}^{0{,}002} = 2{,}5 \times 10^7 (0{,}002^2 - 0{,}003^2)(N \cdot m)$$

$$W = -125 \ N \cdot m = -0{,}125 \times 10^3 \ J = \underline{-0{,}125 \ KJ}$$

2.34 – Ar contido em um conjunto cilindro-pistão passa por 3 processos em série:
Processo 1-2: compressão a pressão constante de p1= 10 lbf/in^2 (68,9 kPa) e V1 = 4 ft^3 (0,11 m^3) até o estado 2.
Processo 2-3: aquecimento a volume constante até o estado 3, onde p3 = 50 lbf/in^2 (344,7 kPa).
Processo 3-1: expansão até o estado inicial, durante a qual a relação pressão-volume é pV = cte
Esboce os processos em série num diagrama p-V. Determine:
a) o volume no estdao 2, em ft^3
b) o trabalho para cada processo, em BTU.

QUEM QUISER, PODE RESOLVER A QUESTÃO NO SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES.

Processos apresentados no diagrama P.V



$P_1 = P_2 = 68\ KPa$

$V_1 = 0{,}11\ m^3$

$P_3 = 344{,}7\ KPa$

(a) Como P.V = Cte no processo 3 → 1

$P_3 \times V_3 = cte = P_1 V_1$

Substituindo

$344{,}7\ \cancel{KPa} \times V_3 = 68\ \cancel{KPa} \times 0{,}11\ m^3 \Rightarrow \underline{V_3 = 2{,}17 \times 10^{-2}\ m^3 = V_2}$ //

(b) O trabalho em cada processo

Processo 1 - 2

$$W_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p . dV$$ (Como p é conhecido e constante)

$$W_{12} = p_2 (V_2 - V_1) = 68\ K\frac{N}{m^2} (2{,}17 \times 10^{-2} - 0{,}11)\ m^3 = \underline{-6{,}00\ KJ}$$ //

(10)

Processo 2 -> 3

$$W_{2\to 3} = \int_2^3 p\, dV \Rightarrow V = cte \text{ logo } W_{2\to 3} = 0$$

Processo 3 -> 1

$$W_{3\to 1} = \int_{V_3}^{V_1} p \cdot dV \quad \text{onde} \quad p \cdot V = cte$$

isolando p em função de V $\quad P = \frac{Cte}{V}$

$$W_{3\to 1} = \int_{V_3}^{V_1} \frac{Cte}{V}\, dV = Cte \ln V \Big|_{V_3}^{V_1}$$

$$W_{3\to 1} = Cte \ln V_1 - \ln V_3 = Cte \ln\left(\frac{V_1}{V_3}\right)$$

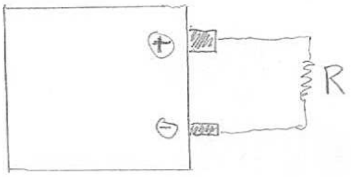
onde $cte = P_1 \times V_1 = P_3 \times V_3 = 7{,}48 \ KN \cdot m$

$$W_{3\to 1} = 7{,}48\ KJ \ln\left(\frac{0{,}11}{2{,}17 \times 10^{-2}}\right)$$

$$W_{3\to 1} = 12{,}41\ KJ$$

2.37:

37 Uma bateria de 10 V fornece uma corrente constante de 0,5 A para uma resistência por 30 min. (a) Determine a resistência, em ohms. (b) Para a bateria, determine a quantidade de energia transferida por trabalho, em kJ.



(a) Resistência e corrente em um circuito estão relacionados da seguinte forma

$U = R\,i$

U = tensão (Volts)
R = Resistência (Ω)
i = Corrente (A)

$10(V) = R \times 0{,}5\,A$

$R = 20\,\Omega$

(b) A potência dissipada pelo circuito

$\dot{W}$ = Potência

$\dot{W} = U \times i$

$\dot{W} = 10 \times 0{,}5\ (\text{Volts})(A) = 5\ \text{Watts} = 5\ \frac{J}{s}$

Para o intervalo de 30 minutos ou 30 x 60 s

$W = \int \dot{W}\,dt = 5\,(W)\ 30\,\text{min} \left| \frac{60\,s}{1\,\text{min}} \right| = 9\,KJ$

12

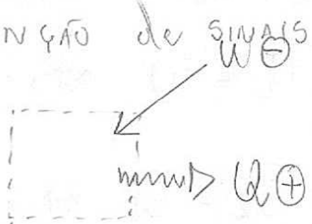
2.53 Cada linha na tabela a seguir fornece informações sobre um processo em um sistema fechado. Cada entrada possui as mesmas unidades de energia. Complete os espaços em branco na tabela.

Processo	Q	W	E_1	E_2	ΔE
a	+50	−20	−20	+50	+70
b	+50	+20	+20	+50	+30
c	−40	−60	+40	+60	+20
d	−90	−90	+50	+50	0
e	+50	+150	+20	−80	−100

• Considerando $\Delta EC = \Delta EP = 0$

Para um sistema fechado a 1ª lei pode ser apresentada da seguinte forma

• Convenção de sinais



$$\Delta E = Q - W$$

↳ Sistema fechado (não entra nem sai massa)

Considerando $\Delta E = E_2 - E_1$

onde

E_1 = energia do sistema antes do processo

E_2 = energia do sistema depois do processo

Processo (A)

$$\Delta E = E_2 - E_1 = Q - W \Rightarrow +70 = +50 - E_1 = Q - (-20)$$

$$E_1 = -70 + 50 \qquad Q = 70 - 20$$

$$\underline{E_1 = -20} \qquad \underline{Q = +50}$$

Processo (B)

$$\Delta E = E_2 - E_1 = Q - W \Rightarrow \Delta E = +50 - (+20) = +50 - W$$

$$-W = 30 - 50$$

$$\underline{\Delta E = +30} \qquad \underline{W = +20}$$

Processo C

$\Delta E = E_2 - E_1 = Q - W \Rightarrow +20 = +60 - E_1 = Q - (-60)$

$-E_1 = +20 - 60$ $\quad$ $Q = +20 - 60$

$\underline{E_1 = +40}$ $\quad$ $\underline{Q = -40}$

Processo D

$\Delta E = E_2 - E_1 \Rightarrow 0 = +50 - E_1 \Rightarrow \underline{E_1 = +50}$

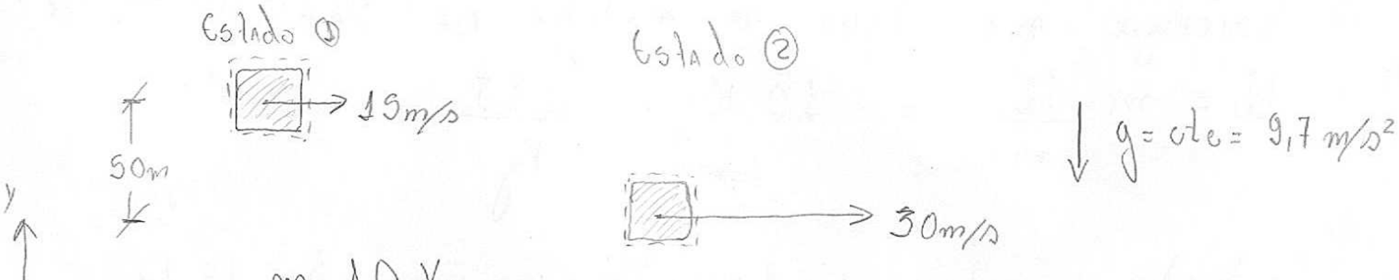
$0 = Q - W \Rightarrow Q = W \Rightarrow \underline{Q = -90}$

Processo E

$\Delta U = Q - W \Rightarrow \Delta U = +50 - (+150) = \underline{-100}$

$\Delta E = E_2 - E_1 \Rightarrow -100 = E_2 - (+20) = \underline{-80}$

2.55 Uma massa de 10 kg passa por um processo durante o qual há transferência de calor da massa, a uma taxa de 5 kJ por kg, e um decréscimo de 50 m relativo à altura, e um aumento na velocidade de 15 m/s para 30 m/s. A energia interna específica diminui de 5 kJ/kg e a aceleração da gravidade é constante e vale $g = 9{,}7$ m/s². Determine o trabalho para o processo, em kJ.



$m = 10\ Kg$

A 1ª Lei para um sistema fechado pode ser escrita na forma

$$\Delta U + \Delta EP + \Delta EC = Q - W$$

Considerando que o sistema passa por um processo 1 → 2

$$\Delta U = E_2 - E_1 \; ; \; \Delta EP = EP_2 - EP_1 \; ; \; \Delta EC = EC_2 - EC_1$$

onde:

$$\Delta U = E_2 - E_1 = m \cdot \Delta u \; ; \; \Delta EP = m g (h_2 - h_1) \; ; \; \Delta EC = \frac{1}{2} \cdot m (V_2^2 - V_1^2)$$

Substituindo os dados do problema

$$\Delta U = m \cdot \Delta u = 10\ \cancel{Kg} \times -5 \left(\frac{KJ}{\cancel{Kg}} \right) = -50\ KJ$$

$$\Delta EP = m \cdot g \cdot \overbrace{(h_2 - h_1)}^{\Delta h} = 10 (Kg) \times 9{,}7 \times \left(\frac{m}{s^2} \right) \times -50 (m) = -4{,}85 \times 10^3 \frac{Kg\ m^2}{s^2}$$

$$\Delta EP = -4{,}85 \times 10^3 \overbrace{\frac{Kg \cdot m}{s^2}}^{N} \cdot m = -4{,}85\ KJ$$

$$\Delta EC = \frac{1}{2} m (V_2^2 - V_1^2) = \frac{1}{2} \times 10 (Kg) (30^2 - 15^2) \left(\frac{m^2}{s^2}\right) = 3,375 \times 10^3 \frac{Kg\, m^2}{s^2}$$

$$\Delta EC = 3,375\ KJ$$

A energia que deixa o sistema na forma de calor

$$Q = m \cdot \frac{Q}{m} = 10\ Kg \times \frac{(-)5\ KJ}{Kg} = -50\ KJ$$

Isolando o termo trabalho na eq da 1º Lei

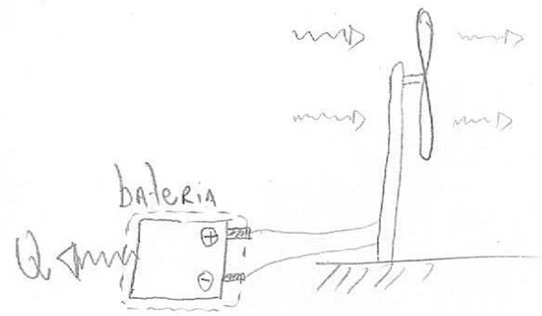
$$W = Q - \Delta U - \Delta EP - \Delta EC$$

Substituindo os dados obtidos

$$W = -50 KJ - (-50\ KJ) - (-4,85\ KJ) - (+3,375\ KJ)$$

$$\underline{W = +1,475\ KJ}$$

2.58 Um gerador elétrico acoplado a um catavento produz uma potência elétrica média de saída de 15 kW. A potência é usada para carregar uma bateria. A transferência de calor da bateria para a vizinhança ocorre a uma taxa constante de 1,8 kW. Para 8 horas de operação, determine a quantidade total de energia armazenada na bateria, em kJ.



O sistema avaliado é a bateria, portanto não ocorre fluxo de massa na superfície. As únicas formas de interação entre o sistema (bateria) e o meio são trabalho (corrente elétrica) e energia térmica (calor), logo a 1ª lei é dada por

$$\Delta U = Q - W$$

Considerando o processo como o tempo decorrido de 8 horas, calor e trabalho são calculados da seguinte forma

$$Q = \int_0^{8\,horas} \dot{Q}\, dt = \underbrace{(-1{,}8\ \frac{KJ}{s})}_{\text{calor saindo é negativo}} \times 8\,h \times \left|\frac{3600\,s}{1\,h}\right|$$

$$Q = 51\,540\ KJ$$

$$W = \int_0^{8\,horas} \dot{W}\, dt = \dot{W}\,\Delta t = -15\ K\frac{J}{s}\ 8\,h\left|\frac{3600\,s}{1\,h}\right|$$

$$W = -432{,}0 \times 10^3\ KJ$$

• Substituindo na equação geral da 1ª Lei

$$\Delta E = Q - W$$

$$\Delta E = -51\,840 - (-432\,000) =$$

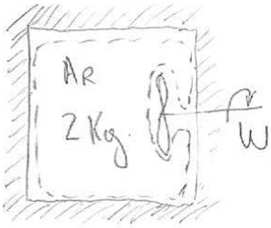
$$\Delta E = 380\,460{,}0 \text{ KJ}$$

$$\underline{\Delta E = 3{,}8 \times 10^{5} \text{ KJ}} \; //$$

18

2.64 Dois quilogramas de ar estão contidos em um tanque rígido bem isolado, com volume de 0,6 m³. O tanque está equipado com um agitador que transfere energia para o ar a uma taxa constante de 10 W durante 1 h. Se não houver variação nas energias cinética e potencial, determine

(a) o volume específico no estado final, em m³/kg.
(b) a transferência de energia através de trabalho, em kJ.
(c) a variação da energia interna específica do ar, em kJ/kg.



Dados:

$V = 0{,}6\ m^3$

$\dot{W} = (-)10\ W$

↳ trabalho entrando no sistema.

$\Delta t = 1$ hora

$\Delta EC = \Delta EP = 0$

ⓐ O Volume específico do fluido é constante e igual a

$$v_1 = v_2 = \frac{V}{m} = \frac{0{,}6\ m^3}{2\ Kg} = \underline{0{,}3\ \frac{m^3}{Kg}}$$

ⓑ
$$W = \int_0^{1\,hora} \dot{W}\, dt = \dot{W}\,\Delta t = \left(-10\ \frac{J}{s}\right) \times 1h \times \left|\frac{3600\,s}{1h}\right| =$$

$$W = -36000 J = \underline{-36\ KJ}$$

ⓒ A equação da 1ª lei para um sistema

$$\Delta U + \cancelto{0}{\Delta EP} + \cancelto{0}{\Delta EC} = \cancelto{\text{Sistema isolado} = 0}{Q} - W$$

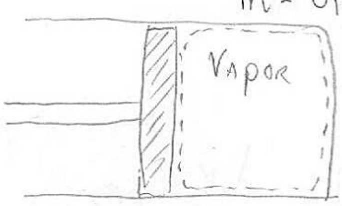
$$\Delta U_{1 \to 2} = -(-36\ KJ) = 36\ KJ$$

onde

$$\Delta U = m\,\Delta u \Rightarrow \Delta u = \frac{36\ KJ}{2\ Kg} = \underline{18\ \frac{KJ}{Kg}}$$

2.66 Vapor em um conjunto cilindro-pistão passa por um processo politrópico, com $n = 2$, de um estado inicial onde $p_1 = 500$ lbf/in² (3,4 MPa), $v_1 = 1{,}701$ ft³/lb (0,11 m³/kg), $u_1 = 1363{,}3$ Btu/lb (3171 kJ/kg) até um estado final onde $u_2 = 990{,}58$ Btu/lb (2304,1 kJ/kg). Durante o processo, há uma transferência de calor do vapor de magnitude 342,9 Btu (361,8 kJ). A massa de vapor é 1,2 lb (0,54 kg). Desprezando as variações nas energias cinética e potencial, determine o trabalho, em Btu, e o volume específico final, em ft³/lb.

O sistema contido dentro do cilindro pistão passa por um processo politrópico



Estado ① Processo politrópico $n=2$ Estado ②

$P_1 = 3{,}4$ MPa

$v_1 = 0{,}11 \frac{m^3}{Kg}$

$Q_{1\to 2} = -361{,}8$ KJ

$u_1 = 3171{,}0 \frac{KJ}{Kg}$

$u_2 = 2304{,}1 \frac{KJ}{Kg}$

$\Delta EP = \Delta EC = 0$ (Hipótese do problema)

Equação de 1ª Lei para um sistema

$$\Delta U + \cancel{\Delta EP}^{0} + \cancel{\Delta EC}^{0} = Q - W$$

$$m(u_2 - u_1) = -361{,}8 \text{ KJ} - W$$

$$0{,}54(Kg)(2304{,}1 - 3171{,}0)\frac{KJ}{Kg} = -361{,}8 \text{ KJ} - W$$

$$+468{,}13 \text{ KJ} - 361{,}8 \text{ KJ} = W = 106{,}33 \text{ KJ}$$

Convertendo a unidade KJ → Btu

$$W = 106{,}33 \text{ KJ} \times \left| \frac{0{,}9478 \text{ Btu}}{1 \text{ KJ}} \right| \Rightarrow \underline{W = 100{,}76 \text{ Btu}}$$

20

Considerando que o processo é politropico

$$p \cdot v^n = \text{Constante (cte)}, \quad p/ \ n = 2 \quad p v^2 = cte$$

O trabalho entre no processo ① → ②

$$W = \dot{m} \int_{V_1}^{V_2} p \, dv$$, Substituindo a equação de $p(v)$

$$W = \dot{m} \int_{V_1}^{V_2} \frac{Cte}{v^2} dv \Rightarrow \dot{m} \int_{V_1}^{V_2} Cte \, v^{-2} dv = \left. \frac{Cte \, v^{-1}}{-1} \right|_{V_1}^{V_2}$$

$$W = -\dot{m} \, (Cte) \times \left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right) \quad \text{eq. } \underline{A}$$

, como p e v são conhecidas no estado inicial ① é possível determinar cte

$$cte = 3{,}4 \times 10^6 (Pa) \times (0{,}11)^2 \left(\frac{m^3}{Kg} \right)$$

$$cte = 41{,}14 \times 10^3 \frac{N}{m^2} \frac{m^3}{Kg} = 41{,}14 \frac{KJ}{Kg}$$

Como o trabalho é conhecido é possível determinar v_2 substituindo os dados na eq $\underline{A}$

$$-106{,}33 \, KJ = -0{,}54 \, \cancel{Kg} \times 41{,}14 \, \frac{KJ}{\cancel{Kg}} \times \left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{0{,}11 \frac{m^3}{Kg}} \right)$$

$$4{,}78 = \left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{0{,}11} \right) \frac{Kg}{m^3}$$

$$v_2 = 0{,}2319 \frac{m^3}{Kg}$$, convertendo a unidade

21

$$v_2 = 0{,}2319 \frac{m^3}{Kg} \left| \frac{35{,}315 \, ft^3}{1 m^3} \right| \times \left| \frac{1 \, Kg}{2{,}2046 \, lb} \right| \Rightarrow v_2 = 3{,}71 \frac{ft^3}{lb}$$

2.76 Um gás em um conjunto cilindro-pistão percorre um ciclo termodinâmico composto por três processos:

Processo 1-2: volume constante, $V = 0{,}028\ m^3$, $U_2 - U_1 = 26{,}4$ kJ.

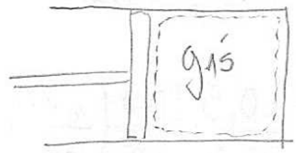
Processo 2-3: expansão com $pV = constante$, $U_3 = U_2$.

Processo 3-1: pressão constante, $p = 1{,}4$ bar, $W_{31} = -10{,}5$ kJ.

Não há variações significativas na energia cinética ou potencial.

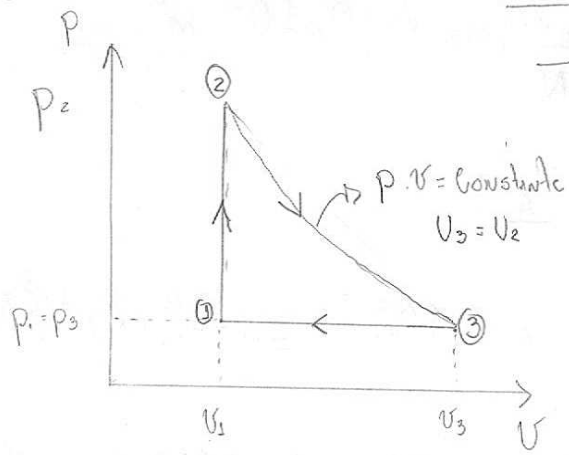
(a) Esboce o ciclo em um diagrama p-V.
(b) Calcule o trabalho líquido para o ciclo, em kJ.
(c) Calcule a transferência de calor para o processo 2-3, em kJ.
(d) Calcule a transferência de calor para o processo 3-1, em kJ.

Este é um ciclo de potência ou de refrigeração?



$\Delta EP = \Delta EC \cong 0$

(a)



$V_1 = V_2 = 0{,}028\ m^3 \quad \Delta U_{1\to 2} = 26{,}4\ KJ$

$p_1 = p_3 = 1{,}4\ bar = 1{,}4 \times 10^5 \dfrac{N}{m^2}$

$W_{3\to 1} = -10{,}5\ KJ$

(b) O trabalho do ciclo é a soma do trabalho em todos os processos

$$W_{total} = W_{1\to 2} + W_{2\to 3} + W_{3\to 1}$$

No processo $1 \to 2$ volume é constante e $W = 0$

Processo $2 \to 3$

$$W_{2\to 3} = \int_{V_2}^{V_3} p\, dV \quad , \quad \text{como} \quad p(V) = \frac{\text{Constante}}{V} = \frac{Cte}{V}$$

$$W_{2\to3} = \int_{V_2}^{V_3} \frac{Cte}{v}\, dv = Cte \ln \frac{V_3}{V_2} \quad eq. A$$

Para determinar V_3

$p \to$ constante no processo $3 \to 1$ $p_1 = p_3$

$$W_{3\to1} = \int_{V_3}^{V_1} p \cdot dV = p(V_1 - V_3) \quad , \text{ isolando } V_3$$

$$V_3 = V_1 - \frac{W_{31}}{p_1}$$

No processo $2 \to 3$ $W_{2\to3} = -10{,}5\ KJ$, logo V_3

$$V_3 = 0{,}028\ m^3 - \frac{-10{,}5\ 10^3 J}{1{,}4 \cdot 10^5}\left(\frac{m^2}{N}\right) \Rightarrow V_3 = 0{,}103\ m^3$$

Substituindo V_3 na equação $\underline{A}$

$$Cte = p_3 \times V_3 = 1{,}4 \times 10^5 \times \frac{N}{m^2} \times 0{,}103\ m^3 = 144{,}2 \times 10^3 N \cdot m$$

$$W_{2\to3} = 14{,}42\ KJ \times \ln\left(\frac{0{,}103}{0{,}028}\right) \Rightarrow W_{2\to3} = 18{,}782\ KJ$$

Somando os trabalhos nos três processos que compõem o ciclo.

$$W_{total} = 0 + 18{,}782 - 10{,}5 \Rightarrow \underline{W_{total} = 8{,}28\ KJ}$$

(c) Processo $2 \to 3$ $Q_{2\to3} = ?$

No processo $2 \to 3$ $U_3 = U_2$, logo pela 1ª lei

$$\cancel{\Delta U_{2\to3}}^{\,0} = Q_{2\to3} - W_{2\to3} \Rightarrow Q_{2\to3} = W_{2\to3}$$

$$\underline{Q_{2\to3} = 14{,}42\ KJ}$$

d) Transferência de calor no processo $3 \to 1$ (KJ)

Pela 1ª lei $\Delta U_{3\to1} = Q_{3\to1} - W_{3\to1}$

$$Q_{3\to1} = \Delta U_{3\to1} + W_{3\to1}$$

Para determinar a variação de energia interna no processo $3 \to 1$, utiliza-se a relação de que em um ciclo a variação de energia interna é igual a zero, logo

$$\Delta U_{1\to2} + \cancel{\Delta U_{2\to3}}^{0} + \Delta U_{3\to1} = 0$$

$$\Delta U_{3\to1} = -\Delta U_{1\to2} = -26{,}4\,KJ$$

Substituindo na equação da 1ª lei $3 \to 1$

$$Q_{3\to1} = -26{,}4\,KJ - 10{,}5\,KJ$$

$$\underline{Q_{3\to1} = -36{,}9\,KJ}$$

24

2.89 Um refrigerador doméstico opera continuamente, e com um coeficiente de desempenho de 2,4 remove energia do espaço refrigerado numa taxa de 600 Btu/h (175,8 W). Calculando a eletricidade a \$0,08 por kW · h, determine o custo de eletricidade em um mês em que o refrigerador opera por 360 horas.

Coeficiente de desempenho $\beta = 2,4$

$$\dot{Q}_{IN} = 175,8\,W$$
$$Custo = 0,08\ /KW \cdot h$$

O coeficiente de desempenho do refrigerador é definido como

$$\beta = \frac{\dot{Q}_{IN}}{\dot{W}_{ciclo}}$$, onde

$\dot{Q}_{IN}$ é a taxa de energia que o refrigerador retira do espaço refrigerado

$\dot{W}_{ciclo}$ é o consumo de potência necessario para retirar a carga térmica $\dot{Q}_{IN}$

Portanto a potência consumida pelo refrigerador

$$\dot{W}_{ciclo} = \frac{\dot{Q}_{IN}}{\beta} = \frac{175,8\,W}{2,4} \Rightarrow \dot{W}_{ciclo} = 73,08\,W$$

$$Custo\_total = \dot{W}_{ciclo} \times h \times Custo = 73,08(W) \times 360(h) \times 0,08\left(\frac{1}{KW\,h}\right)$$

$$Custo\_total = \frac{2104}{10^3} = 2,10\ /\text{Mês}$$