GUET / 81 / 02

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA
GABINETE DE FLUIDOS E CALOR

TERMODINAMICA GERAL

1ª LEI DA TERMODINAMICA

I - REGIME PERMANENTE
II - REGIME UNIFORME
(Problemas)

Por CLITO FELIX ALVES AFONSO
ISMENIO JULIO DA SILVA AZEVEDO
ALBINO JOSE PARENTE DA SILVA REIS

PROBLEMA 1 - Alguns anos atrás um conhecido arquitecto projectou um edifício com 1800 m de altura. Suponhamos que em tal edifício o vapor para o sistema de aquecimento entra num tubo ao nível da rua como vapor saturado seco a 2 Kgf/cm^2. No último andar do edifício a pressão no tubo é de 1 Kgf/cm^2 e o calor transferido do vapor à medida que ele sobe é de 30 Kcal/Kg. Qual é o título do vapor na extremidade superior do tubo?

RESOLUÇÃO

Aplicando a 1ª lei da termodinâmica a sistemas em regime permanente e desprezando variações de energia cinética, temos:

$$_1\dot{Q}_2 - {_1\dot{W}_2} = \dot{m}(h_2-h_1+gz_2-gz_1)$$

Por se tratar somente de aquecimento: $_1W_2=0$; considerando o nível da rua como a cota de referência: $z_1=0$. Então a 1ª lei vem depois de feitas as devidas simplificações:

$$_1\dot{Q}_2 = \dot{m}(h_2-h_1+gz_2)$$

ou por unidade de massa:

$$_1q_2 = h_2-h_1+gz_2$$

$$h_2 = {_1q_2}+h_1-gz_2$$

Das tabelas obtem-se:

$$h_1 = 2705.929 \text{ KJ/Kg}$$

Tendo-se então:

$$h_2 = -30 \times 4.1868 + 2705.929 - 9.8 \times 1800/10^{-3}$$

$$h_2 = 2562.268 \text{ KJ/Kg}$$

A 1 Kgf/cm^2 tem-se: $\left| \begin{array}{l} h_l = 415.289 \text{ KJ/Kg} \\ h_v = 2674.528 \text{ KJ/Kg} \end{array} \right.$

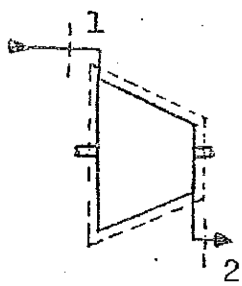
obtendo-se então na extremidade superior do tubo:

$$x_2 = \frac{2562.268 - 415.289}{2674.528 - 415.289}$$

$$x_2 \cong 95\%$$

— o O o —

PROBLEMA 2 - Uma turbina pequena e de alta velocidade opera com ar comprimido e produz 0.1 HP. As condições de admissão e descarga são respectivamente 4Kgf/cm^2, 27^{o}C e 1 Kgf/cm^2, -50^{o}C. Supondo que as velocidades do ar são baixas calcular o fluxo de massa de ar comprimido



RESOLUÇÃO

Aplicando a 1ª lei da termodinâmica ao volume de controle indicado:

$$_1\dot{Q}_2 - _1\dot{W}_2 = \dot{m}(h_2 - h_1 + c_2^2/2 - c_1^2/2 + gz_2 - gz_1)$$

Considerando que a variação de cota entre a entrada e a saída é desprezável, que a turbina é adiabática, a expressão da 1ª lei depois de feitas as devidas simplificações toma a forma:

$$-_1\dot{W}_2 = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

Considerando ainda o ar como gás perfeito:

$$-_1\dot{W}_2 = \dot{m}\, c_p (T_2 - T_1)$$

em que: $c_p = 1.227$ KJ/Kg°K

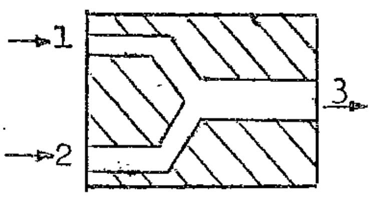
1 HP $= 0.746$ KW

Então:

$$-0.1\times 0.746 = \dot{m}\times 1.227\,(-50-27)$$

$$\dot{m} = 0.00079 \text{ Kg/s}$$

——— o O o ———



PROBLEMA 3 - Amónia líquida a 15°C, 12.152 atm. é misturada num processo em regime permanente com vapor de amónia saturado à pressão de 12.252 atm. Os caudais mássicos de líquido e de vapor são iguais e após a mistura a pressão é de 9.024 atm. e o título de 85%. Determine a quantidade de calor transferida por Kg de mistura.

RESOLUÇÃO

Uma vez que não há realização de trabalho no volume de controle, e desprezando variações de energia cinética e potencial, pela 1ª lei obtem-se:

$$\dot{Q} = \sum \dot{m}_i h_i$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_1 h_1$$

Porém : $\dot{m}_3 = \dot{m}_1 + \dot{m}_2$ e como $\dot{m}_1 = \dot{m}_2$:

$$\dot{m}_3 = 2m_1 = 2m_2$$

Ficando então a 1ª lei com a forma:

$$\dot{Q} = \dot{m}_3(\,h_3 - h_2/2 - h_1/2\,)$$

ou por Kg de mistura:

$$\bar{q} = h_3 - h_2/2 - h_1/1$$

À pressão de 12.252 atm. e à temperatura de 15°C a amónia encontra-se no estado de líquido comprimido, uma vez que a temperatura de saturação à mesma pressão é de 31°C. Assim:

$$h_1 \simeq h_{liq}(T-15°C) = 488.683 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_2 = h_v(T-15°C) = 1706.330 \text{ KJ/Kg}$$

a p = 9.024 atm. $\left| \begin{array}{l} h_l = 517.154 \text{ KJ/Kg} \\ h_v = 1700.259 \text{ KJ/Kg} \end{array} \right.$

$$h_3 = (1-0.85)517.154 + 0.85 \times 1700.259 =$$

$$h_3 = 1522.793 \text{ KJ/Kg}$$

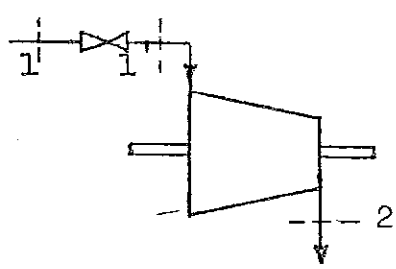
Substituindo os valores obtidos das entalpias na expressão da 1ª lei, tem-se:

$$q = 1522.793 - 1706.330/2 - 488.683/2$$

$$q = 425.28 \text{ KJ/Kg mis.}$$

—— o O o ——

PROBLEMA 4 - Uma pequena turbina a vapor, operando em carga parcial, produz 110 HP com um caudal mássico de 600 Kg/h. O vapor a 14 Kgf/cm^2 e 230°C é estrangulado para 11 Kgf/cm^2 antes de entrar na turbina e a pressão de saída é de 0.07 Kgf/cm^2. Determinar o título ou a temperatura, se sobreaquecido, do vapor na descarga da turbina.



RESOLUÇÃO

Considerando um volume de controle englobando somente a turbina e desprezando nele variações de energia cinética e potencial e supondo a turbina adiabática:

$$-{}_{1'}\dot{W}_2 = \dot{m}(h_2 - h_{1'})$$

Porem devido à válvula de laminagem:

$$h_{1'} = h_1$$

Das tabelas de vapor sobreaquecido tem-se:

$p(Kgf/cm^2)$	$T(^oC)$	$h(KJ/Kg)$
14	220	2856.654
14	230	2880.1
14	240	2903.546

Substituindo na expressão da 1ª lei, obtem-se

$$-0.746\times110 = (h_2 - 2880.1)\ 600/3600$$

$$h_2 = 2387.74\ KJ/Kg$$

À pressão de descarga $= 0.07\ Kgf/cm^2$ têm-se:

$$\begin{vmatrix} h_l = 161.904\ KJ/Kg \\ h_v = 2571.114\ KJ/Kg \end{vmatrix}$$

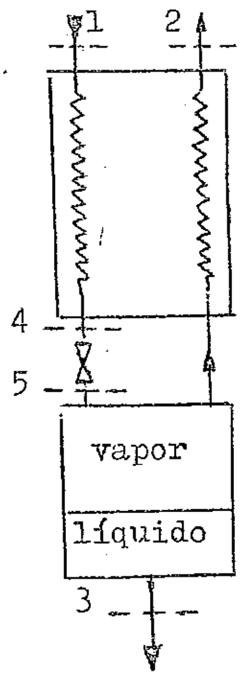
Como $h_l < h_2 < h_v$, o estado à saída é de vapor húmido:

$$x_2 = (h_2 - h_l)/(h_v - h_l)$$

que depois de substituídos os respectivos valores:

$$x_2 = 92.3\%$$

PROBLEMA 5 - Considere o processo indicado na figura para produção de R-12 líquido. O R-12 a 14 Kgf/cm^2, 80°C entra num permutador de calor e é arrefecido pelo vapor saturado que está sendo retirado do recipiente isolado de líquido. O gás a alta pressão é então estrangulado através de uma válvula para a pressão do recipiente de líquido. Este contem líquido e vapor em equilíbrio a 25°C e o vapor que deixa o permutador está a 70°C. Desprezando todas as perdas de pressão com excepção da verificada na válvula de expansão, determine:



a) A fracção de vapor a alta pressão que é liquefeita

b) A pressão e temperatura se sobreaquecido ou o título se saturado do R-12 à entrada e saída do estrangulamento. As evoluções do R-12 no permutador são isobáricas.

RESOLUÇÃO

a) Considerando um volume de controle englobando toda a instalação:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}h$$

Como não há realização de trabalho e admitindo que toda a intalação é adiabática:

$$\dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_1 h_1 = 0$$

Por outro lado:

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1 - \dot{m}_3$$

Então:

$$(\dot{m}_1 - \dot{m}_3)h_2 - \dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_1 h_1 - 0$$

$$\frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1} = \frac{h_1 - h_2}{h_3 - h_2}$$

Determinação das entalpias:

$$h_1 = 613.03 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_3 = 442.838 \text{ KJ/Kg}$$

O ponto 2 é vapor sobreaquecido; a sua pressão é a de saturação correspondente à temperatura de 25°C

$$p_2 = p_s(T = 25^oC) = 6.6363 \text{ atm.}$$

Das tabelas de vapor sobreaquecido:

T (°C)	p (atm.)	h (KJ/Kg)
70	6	615.12
70	6.6363	614.432
70	7	614.04

Obtendo-se finalmente:

$$\frac{m_3}{m_1} = \frac{613.03 - 614.432}{442.838 - 614.432} = 0.817\%$$

b) A pressão à saída da válvula de estrangulamento é a reinante no recipiente de líquido e já calculada:

$$p_5 = p_2 = 6.6363 \text{ atm.}$$

No ponto 5 o estado é de vapor húmido uma vez que depois da válvula existe líquido e vapor. Assim por definição de título:

$$x = \frac{m_v}{m_t} = \frac{m_2}{m_1}$$

que é o complementar da fracção do vapor que é liquefeita e já calculada na alínea a):

$$x_5 = 100 - 0.817 = 99.18\%$$

Para sabermos o estado do R-12 antes da válvula de laminagem basta atendermos a que:

$$h_5 = h_4$$

Das tabelas de vapor saturado a T = 25°C:

$$\left| \begin{array}{l} h_l = 442.838 \text{ KJ/Kg} \\ h_v = 584.519 \text{ KJ/Kg} \end{array} \right.$$

$$h_5 = (1-x_5)h_l + x_5 h_v$$

$$h_5 = (1-0.9918)442.838 + 0.9918 \times 584.519$$

$$h_5 = 583.357 \text{ KJ/Kg} = h_4$$

Não temos mais do que comparar o valor desta entalpia com a de vapor saturado à pressão de 14 Kgf/cm^2 para sabermos o seu estado. Assim:

$$h_v(p=14 \text{ Kgf/cm}^2) = 595.20 \text{ KJ/Kg}$$

Como $h_4 < h_v$ o ponto 4 é vapor húmido.

Interpolando, obtem-se para p= 14 Kgf/cm^2

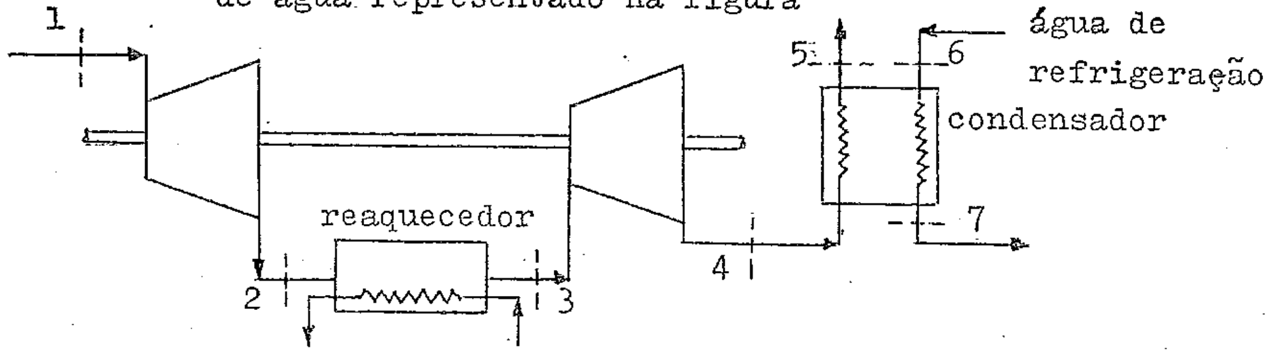
$$\left| \begin{array}{l} h_l = 474.607 \text{ KJ/Kg} \\ h_v = 595.193 \text{ KJ/Kg} \end{array} \right.$$

$$x_4 = \frac{h_4 - h_l}{h_v - h_l}$$

$$x_4 = \frac{583.357 - 474.607}{595.193 - 474.607}$$

$$x_4 = 90.18\%$$

PROBLEMA 6 - Determine a potência do grupo de turbinas de vapor de água representado na figura



Dados:

1 | p - 80 Kgf/cm^2, T - 450°C

2 | p - 5 Kgf/cm^2

3 | p - 5 Kgf/cm^2, T - 397°C

4 | x - 95.5%, T - 55°C

5 | T - 55°C, Líq. saturado

6 | p - 1 Kgf/cm^2, T - 20°C

7 | p - 1 Kgf/cm^2, T - 40°C

$\dot{m}_6$ - 2.71×10^6 Kg/h

${}_2\dot{Q}_3$ - 1.2×10^7 Kcal/h

RESOLUÇÃO

Traçando um volume de controle que englobe as duas turbinas e o reaquecedor e considerando as turbinas adiabáticas:

$${}_2\dot{Q}_3 - \dot{W}_t = \dot{m}_4(h_4 - h_1)$$

Das tabelas de vapor saturado tem-se a 55°C:

$$\left| \begin{array}{l} h_l = 230.19 \text{ KJ/Kg} \\ h_v = 2600.421 \text{ KJ/Kg} \end{array} \right.$$

$$h_4 = (1 - x)h_l + xh_v$$

$$h_4 = (1-0.955)230.19 + 0.955\times2600.421$$

$$h_4 \cong 2493.76 \text{ KJ/Kg}$$

A p= 80 Kgf/cm^2 e T = 450°C → h_1 = 3271.984 KJ/Kg

Conhecendo a potência calorífica absorvida no reaquecedor basta-nos conhecer o caudal mássico que circula nas turbinas para podermos determinar a potência desenvolvida por elas. Porém o referido caudal só poderá ser determinado no condensador. Assim:

$$|{}_6\dot{Q}_7| = |{}_4\dot{Q}_5| \quad \text{e}$$

$${}_6\dot{Q}_7 = \dot{m}_6(h_7 - h_6)$$

Das tabelas de vapor sobreaquecido, a p = 1 Kgf/cm^2

$$\left| \begin{array}{l} T = 20^oC - h = 84.155 \text{ KJ/Kg} = h_6 \\ T = 40^oC - h = 167.472 \text{ KJ/Kg} = h_7 \end{array} \right.$$

$${}_6\dot{Q}_7 = (167.472 - 84.155)\text{x}2.71\text{x}10^6/3600$$

$${}_6\dot{Q}_7 = 62719 \text{ KJ}$$

Por outro lado:

$${}_4\dot{Q}_5 = m_4(h_5 - h_4)$$

A temperatura de 55 °C:

$$\left| \begin{array}{l} h_l = 230.190 \text{ KJ/Kg} = h_5 \\ h_v = 2600.421 \text{ KJ/Kg} \end{array} \right.$$

$$h_4 = (1 - 0.955)\text{x}230.190 + 0.955\text{x}2600.421$$

$$h_4 = 2493.76 \text{ KJ/Kg}$$

$$-62719 = \dot{m}_4(230.190 - 2493.76)$$

$$\dot{m}_4 = 27.7 \text{ Kg/s}$$

E voltando ao volume de controle primitivo:

$$-1.2\text{x}10^7\text{x}4.1868/3600 - \dot{W}_t = 27.7(2493.76-3271984)$$

$$\dot{W}_t = 7600 \text{ KW}$$

PROBLEMA 7 - Os seguintes dados aplicam-se à instalação propulsora a vapor mostrada:

1 p - 61 atm.

2 | p - 60 atm. | T - 46°C

3 | p - 58 atm. | T - 180°C

4 | p - 56 atm. | T - 500°C

5 | p - 54 atm. | T - 490°C

6 | p - 0.1 atm | x - 92% | c - 200 m/s

7 | p - 0.09 atm | T - 43°C

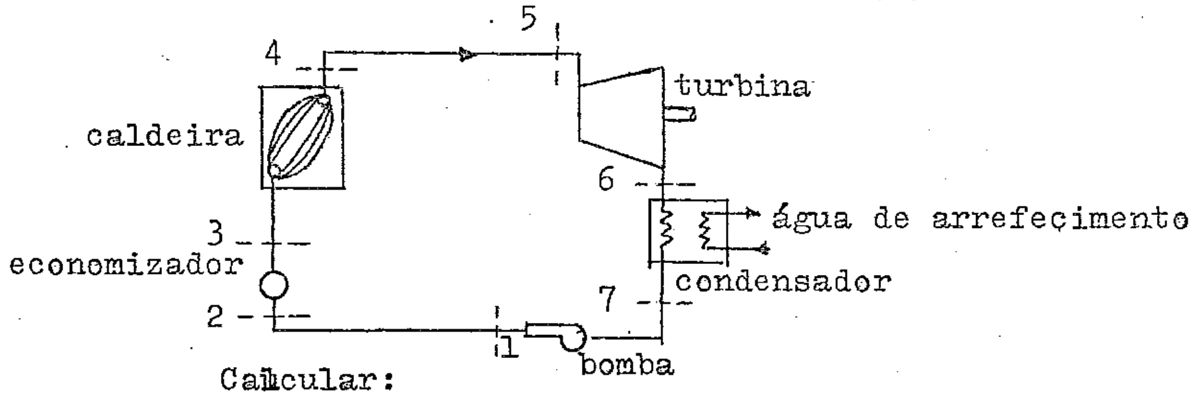
$\dot{m}$ - 90000 Kg/h

W_b - 400 HP

Diametro dos tubos:

Caldeira → turbina - 20 cm

Condensador → caldeira - 7.5 cm



Calcular:

a) Potência produzida pela turbina

b) Calor transferido por hora no condensador, economizador e cldeira

c) Diâmetro do tubo que liga a turbina ao condensador

d) Caudal de água de arrefecimento através do condensador, sabendo-se que a temperatura da mesma sobe de 13°C para 24°C ao atravessar o condensador

RESOLUÇÃO

a) Considerando o volume de controle englobando a turbina e considerando-a adiabática:

$$-{}_5\dot{W}_6 = \dot{m}\left(h_6 - h_5 + \frac{1}{2}c_6^2 - \frac{1}{2}c_5^2 \right)$$

Das tabelas de vapor saturado a p =0.1 atm.:

$$\left| \begin{array}{l} h_l - 190.290 \text{ KJ/Kg} \\ h_v - 2583.256 \text{ KJ/Kg} \end{array} \right. \qquad \left| \begin{array}{l} \rho_l - 990.00 \text{ Kg/m}^3 \\ \rho_v - 0.06689 \text{ Kg/m}^3 \end{array} \right.$$

tendo-se então:

$$h_6 = (1 - 0.92)190.290 + 0.92 \times 2583.256$$

$$h_6' = 2391.818 \text{ KJ/Kg}$$

Das tabelas de vapor sobreaquecido:

	p (atm)	T (°C)	(Kg/m³)	h (KJ/Kg)
	50	480	14.736	3387.540
	50	490	14.512	3410.986
	50	500	14.288	3434.432
p^{to} 5	54	490	15.733	3405.961
	60	480	17.844	3374.142
	60	490	17.565	3398.425
	60	500	17.286	3422.709

A velocidade no ponto 5 virá:

$$\dot{m} = \rho_5 \times A_5 \times c_5$$

$$c_5 = \frac{90000/3600}{15.733 \times \pi 0.2^2/4}$$

$$- c_5 = 50.579 \text{ m/s}$$

Substituindo os valores determinados na expressão da 1ª lei:

$$- {}_5\dot{W}_6 = \frac{90000}{3600}\left(2391.818 - 3405.961 + \frac{1}{2}\frac{200^2}{1000} - \frac{1}{2}\frac{50.579^2}{1000}\right)$$

$${}_5\dot{W}_6 = 24885 \text{ KW}$$

b) A 1ª lei entre o ponto 6 e 7 dá-nos:

$${}_6\dot{Q}_7 = \dot{m}\left(h_7 - h_6 + \frac{1}{2}c_7^2 - \frac{1}{2}c_6^2\right)$$

Considerando o ponto 7 como líquido saturado a p - 0.09 atm:

$$\left|\begin{array}{l} \rho_7 - 990.79 \text{ Kg/m}^3 \\ h_7 - 181.749 \text{ KJ/Kg} \end{array}\right.$$

Tendo-se então:

$$\dot{m} = \rho_7 x A_7 x c_7$$

$$c_7 = \frac{90000/3600}{990.79x\ 0.075^2/4} = 5.71 \text{ m/s}$$

obtendo-se deste modo:

$${}_6\dot{Q}_7 = \left[181.749 - 2391.818 + \frac{(5.71^2 - 200^2)}{2x1000}\right]90000/3600$$

$${}_6\dot{Q}_7 = - 55751.31 \text{ KW}$$

Considerando agora o volume de controle englobando o economizador:

$${}_2\dot{Q}_3 = \dot{m}\left(h_3 - h_2 + \frac{1}{2}c_3^2 - \frac{1}{2}c_2^2\right)$$

Das tabelas de vapor sobreaquecido:

p (atm)	T (^oC)	(Kg/m^3)	h(KJ/Kg)	
50	180	889.44	764.510	
58	180	889.952	765.1796	$p^{to}3$
60	180	890.08	765.347	
60	40	994.73	172.496	
60	46	992.228	197.6168	$p^{to}2$
60	50	990.56	214.364	

$$\dot{m} = \rho_2 x A_2 c_2$$

$$c_2 = \frac{90000/3600}{992.228 x \pi 0.075^2/4}$$

$$c_2 = 5.7 \text{ m/s}$$

$$m = \rho_3 x A_3 x c_3$$

$$c_3 = \frac{90000/3600}{889.952 x \pi 0.075^2/4}$$

$$c_3 = 6.35 \text{ m/s}$$

obtendo-se da expressão da 1ªlei:

$$_2\dot{Q}_3 = \left[765.1796 - 197.6168 + \frac{1}{2x1000} (6.32^2 - 5.7^2) \right] 90000/3600$$

$$_2\dot{Q}_3 = 14189 \text{ KW}$$

Finalmente a 1ª lei aplicada à caldeira:

$$_3\dot{Q}_4 = \dot{m}(h_4 - h_3 + \frac{1}{2} c_4^2 - \frac{1}{2} c_3^2)$$

À temperatura de 500 °C:

p (atm)	(Kg/m^3)	h (KJ/Kg)	
50	14.288	3434.432	
56	16.0868	3427.398	p^{to} 4
60	17.286	3422.709	

$$\dot{m} = \rho_4 x A_4 x c_4$$

$$c_4 = \frac{90000/3600}{16.0868x\ 0.2^2/4}$$

$$c_4 = 49.46 \text{ m/s}$$

$$_3\dot{Q}_4 = \left[3427.398 - 765.1796 + \frac{1}{2x1000}(\ 49.46^2 - 6.35^2)\right] 90000/3600$$

$$_3\dot{Q}_4 = 66585 \text{ KW}$$

c) $$\rho_6 = (1-0.92)990 + 0.92x0.06689 = 79.26 \text{ Kg/m}^3$$

$$\dot{m} = \rho_6 x A_6 x c_6 = \rho_6 \frac{\pi d_6^2}{4} c_6$$

$$d = \sqrt{\frac{4x90000/3600}{79.26x200x\pi}}$$

$$d = 0.0448 \text{ m}$$

d) Volume de controle englobando somente a água de arrefecimento:

$$\dot{Q} = m(h_s - h_e)$$

em que: h_s - entalpia de saída da água

h_e - " " entrada da água

$$h_s = h_{liq.sat.}(24^oC) = 100.609 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_e = h_{liq.sat.}(13^oC) = 54.596 \text{ KJ/Kg}$$

$$\dot{Q} = -{}_6\dot{Q}_7$$

Substituindo os valores na expressão da 1ª lei:

$$55751.31 = \dot{m}\ (100.609 - 54.596)$$

$$\dot{m} = 1211.64 \text{ m}^3/\text{s}$$

——— o O o ———

PROBLEMA 8 - Um tanque de 10l contem R-12 a 27^oC, 1 Kgf/cm^2. Deseja-se encher o tanque com 60% em volume de líquido à mesma temperatura. O tanque é ligado a uma linha onde escoa R-12 a 7 Kgf/cm^2, 38^oC e a válvula é aberta ligeiramente.

a) Calcular a massa final no tanque

b) Determinar a transferência de calor necessária durante o processo de enchimento, para que a temperatura permaneca em 27^oC.

RESOLUCÃO

a) A massa final no tanque será:

$$m(t') = \frac{V_{liq}(t')}{v_{liq}} + \frac{V_{vap}(t')}{v_{vap}}$$

Das tabelas a 27^oC

$$\left| \begin{array}{l} v_{liq} = 0.0007669 \text{ m}^3/\text{Kg} \\ v_{vap} = 0.02629 \text{ m}^3/\text{Kg} \end{array} \right.$$

$$\left|\begin{array}{l} h_{liq} = 444.848 \text{ KJ/Kg} \\ h_{vap} = 585.373 \text{ KJ/Kg} \end{array}\right.$$

$$m(t') = \frac{0.6x10^{-3}}{0.0007669} + \frac{0.4x10^{-3}}{0.02629}$$

$$m(t') = 7.97 \text{ Kg}$$

b) A primeira lei em regime uniforme é:

$$Q\text{-}W = \sum_j m_j(h_j + \frac{1}{2}c_j^2 + gz_j) + m(t')\left[u(t') + \frac{1}{2}c^2(t') + gz(t')\right] + m(t)\left[u(t) + \frac{1}{2}c^2(t) + gz(t)\right]$$

Desprezando os termos respeitantes a energia cinética e potencial e atendendo a que se trata de um enchimento - massa que sai do tanque é nula - e que tambem não há realização de de trabalho, obtem-se a primeira lei com a seguinte forma:

$$Q = -m_1h_1 + m(t')u(t') - m(t)u(t)$$

ou ainda:

$$Q = -m_1h_1 + m(t')h(t') - p(t')V(t') - m(t)h(t) + p(t)V(t)$$

Como $V(t') = V(t)$, obtem-se:

$$Q = -m_1h_1 + m(t')h(t') - m(t)h(t) + V\left[p(t) - p(t')\right]$$

À pressão de 1 Kgf/cm^2 temos:

$T(^oC)$	$v(m^3/Kg)$	$h(KJ/Kg)$	
25	0.2014	591.47	
27	0.20272	592.71	(t)
30	0.2047	594.57	

$$m(t) = \frac{V(t)}{v(t)} = \frac{10^{-3}}{0.20272}$$

$$m(t) = 0.0493 \text{ Kg}$$

$$h(t') = \left[1 - x(t')\right] . h_l(t') + x(t')h_v(t')$$

em que:

$$x(t') = \frac{m_{vap}(t')}{m_{tot}(t')} = \frac{0.4x10^{-3}/0.02629}{7.97} = 1.9\%$$

que substituida na expressão da entalpia:

$$h(t') = (1 - 0.019)448.848 + 0.019x585.373$$

$$h(t') = 447.51 \text{ KJ/kg}$$

Das tabelas de vapor sobreaquecido à pressão de 7 Kgf/cm^2:

$T(^oC)$	$h(KJ/Kg)$	
35	590.55	
38	592.536	h_1
40	593.86	

O principio da conservação da massa atendendo a que não há saída de massa do tanque vem:

$$m(t') - m(t) = m_1$$

$$m_1 = 7.97 - 0.0493 = 7.9207 \text{ Kg}$$

Substituindo os valores encontrados na expressão da 1^alei:

$$Q = -7.9207x592.536+7.97x447.51-0.0493x592.71 + 10^{-3}x(1 - 7)x98$$

$$q = -1161.74 \text{ KJ}$$

PROBLEMA 9 - Um tanque de 60l vazio é ligado a uma linha onde escoa ar à temperatura de 27°C e à pressão de 70 Kgf/cm². A válvula é aberta permitindo que o ar escoe para o tanque até que a pressão deste seja de 50 Kgf/cm², quando então é fechada. Esse processo de enchimento ocorre rapidamente e é praticamente adiabático. O tanque é deixado em repouso por bastante tempo com a válvula fechada e a temperatura termina regressando ao valor inicial de 27°C. Qual a pressão final dentro do tanque?

RESOLUÇÃO

Uma vez que não há realização de trabalho e o processo é adiabático, considerando desprezaveis enrgias cinéticas e potenciais e atendendo a que a massa que sai do tanque é nula, a expressão da primeira lei toma a seguinte forma:

$$-m_1 h_1 + m(t')u(t') = 0$$

pois que no instante inicial o tanque encontra-se vazio. Por outro lado o principio da conservação da massa dá-nos:

$$m(t') = m_1$$

que substituida na expressão da primeira lei:

$$h_1 = u(t')$$

$$h_1 = h(t') - p(t')v(t')$$

$$h(t') - h_1 = p(t')v(t')$$

Por se tratar de um gás perfeito:

$$c_p \left[T(t') - T_1 \right] = p(t') \frac{V(t')}{m(t')}$$

Tem-se tambem:

$$p(t')V(t') = m(t')RT(t')$$

$$c_p \left[T(t') - T_1\right] = RT(t')$$

$$T(t') = \frac{c_p\ T_1}{c_p - R}$$

Das tabelas dos gases:

$$c_{p,ar} = 1.227\ KJ/Kg^oK$$
$$R_{ar} = 0.287\ KJ/Kg^oK$$

obtendo então:

$$T(t') = \frac{1.227(27 + 273.15)}{1.227 - 0.287}$$

$$T(t') = 391.79\ ^oK$$

Repare-se que esta temperatura calculada $T(t')$ é a temperatura do ar no final do processo de enchimento. Desde o momento em que se fecha a válvula, (t'), até o instante em que a temperatura regressa ao valor inicial , (t''), o processo seguido é a volume constante. Assim:

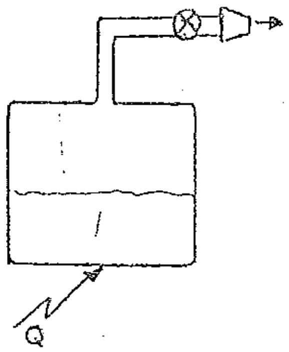
$$\frac{m(t')\ R\ T(t')}{p(t')} = \frac{m(t'')\ R\ T(t'')}{p(t'')} = V$$

$$p(t'') = \frac{T(t'')}{T(t')} \times p(t')$$

$$p(t'') = \frac{(27 + 273.15)}{391.79} \times 50$$

$$p(t'') = 38.3\ Kgf/cm^2$$

PROBLEMA 10 - Um tanque de 30l contem R-12 como indicado na figura. O tanque contem inicialmente 90% de líquido e 10% de vapor em volume a 30°C. A válvula é então aberta e o R-12 escoa deixando o local a 1 Kgf/cm^2 e -20°C com uma velocidade de 200 m/s. Durante esse processo é transferido calor de modo a manter a temperatura do R-12 no sistema a 30°C. Detarminar:



a) A massa total retirada, quando o tanque tiver vapor saturado

b) O calor transferido para o tanque durante o processo

RESOLUÇÃO

a) Pelo principio da conservação da massa:

$$m(t') - m(t) = -m_2$$

$$m(t) = \frac{V_{liq}(t)}{v_{liq}(t)} + \frac{V_{vap}(t)}{v_{vap}(t)}$$

Das tabelas de vapor saturado de R-12 a 30°C:

$$\left| \begin{array}{l} v_{liq} = 0.0007734 \text{ m}^3/\text{Kg} \\ v_{vap} = 0.02433 \text{ m}^3/\text{Kg} \end{array} \right.$$

$$m(t) = \frac{0.9 x 30 x 10^{-3}}{0.0007734} + \frac{0.1 x 30 x 10^{-3}}{0.02433}$$

$$m(t) = 53 \text{ Kg}$$

$$m(t') = \frac{V_{tan}}{v_{vap}} = \frac{30 x 10^{-3}}{0.02433}$$

$$m(t') = 1.233 \text{ Kg}$$

$$m_2 = m(t) - m(t') = 33.76 \text{ Kg}$$

b) A equação da 1ª lei aplicada ao tanque depois de feitas as devidas simplificações tem o seguinte aspecto:

$$Q = m_2(h_2 + \frac{1}{2} c_2^2) + m(t')u(t') - m(t)u(t)$$

$$Q = m_2(h_2 + \frac{1}{2} c_2^2) + m(t')h(t') - p(t')V(t') -$$

$$- m(t)h(t) + p(t)V(t)$$

Como se tem: $\left| \begin{array}{l} V(t') = V(t) = V_{tan} \\ p(t') = p(t) = p_{sat}(T=30^oC) \end{array} \right.$

$$Q = m_2(h_2 + \frac{1}{2} c_2^2) + m(t')h(t') - m(t)h(t)$$

A 30^oC:

$$\left| \begin{array}{l} h_{liq} = 447.862 \text{ KJ/Kg} \\ h_{vap} = 586.487 \text{ KJ/Kg} \end{array} \right.$$

$$h(t) = \left[1 - x(t) \right] h_{liq} + x(t)h_{vap}$$

sendo portanto necessário determinar x(t)

$$x(t) = \frac{m_{vap}(t)}{m_{tot}(t)}$$

$$\text{e } m_{vap}(t) = \frac{V_{vap}(t)}{v_{vap}(t)} = \frac{0.1x30x10^{-3}}{0.02433}$$

$$m_{vap}(t) = 0.123 \text{ Kg}$$

$$x(t) = \frac{0.123}{35} = 0.35\%$$

$$h(t) = (1 - 0.0035)447.862 + 0.0035x586.487$$

$$h(t) = 448.347 \text{ KJ/Kg}$$

$$h(t') = h_{vap} = 586.487 \text{ KJ/Kg}$$

A pressão de 1 Kgf/cm^2 e $\overline{T}$ = -20^{0}C $\Rightarrow$ h_2 = 564.80 KJ/Kg

Substituindo todos os valores atrás calculados na expressão da primeira lei:

$$Q = 33.76(546.80 + \frac{1}{2}\frac{200^2}{1000}) + 1.233\text{x}586.487 -$$

$$- 35\text{x}448.347 =$$

$$Q = 4166 \text{ KJ}$$

o O o

PROBLEMA 11 - Um tanque de pressão com um volume de 0.850 m^3 contem vapor de água saturado a 260^{0}C. O mesmo inicialmente contem 50% de vapor e 50% de líquido em volume. O líquido é retirado lentamente pelo fundo e é transferido calor para o tanque, afim de manter constante a temperatura. Determinar a quantidade de calor transferida, quando metade do conteudo do tanque tiver sido removido

RESOLUCÃO

Neste caso a primeira lei, depois de feitas as devidas simplificações, vem dada por:

$$Q = m_2h_2 + m(t')u(t') + m(t)h(t)$$

$$Q = m_2h_2 + m(t')h(t') - m(t)h(t) + V\left[p(t')-p(t)\right]$$

Das tabelaa de vapor saturado a 260^{0}C:

$$\left| \begin{array}{l} v_{liq} = 0.0012755 \text{ m}^3/\text{Kg} \\ v_{vap} = 0.04215 \text{ m}^3/\text{Kg} \\ h_{liq} = 1135.041 \text{ KJ/Kg} \\ h_{vap} = 2796.364 \text{ KJ/Kg} \end{array} \right.$$

$$h(t) = \left[1-x(t)\right] h_l + x(t)h_v$$

em que

$$x(t) = \frac{m_{vap}(t)}{m(t)}$$

$$m(t) = \frac{V_{liq}(t)}{v_{liq}(t)} + \frac{V_{vap}(t)}{v_{vap}(t)}$$

$$m_{vap}(t) = \frac{V_{vap}(t)}{v_{vap}(t)}$$

Substituindo valores nestas três últimas expressões, temos:

$$m(t) = \frac{0.5x0.850}{0.0012755} + \frac{0.5x0.850}{0.04215} = 343.28 \text{ Kg}$$

$$m_{vap}(t) = \frac{0.5x0.850}{0.04215} = 10.083 \text{ Kg}$$

$$x(t) = \frac{10.083}{343.28} = 2.93\%$$

obtendo-se então para a entalpia o valor de:

$$h(t) = (1 - 0.0293)1135.041 + 0.0293x2796.364$$

$$h(t) = 1183.717 \text{ KJ/Kg}$$

Por outro lado:

$$m(t') = \frac{m(t)}{2} = \frac{343.28}{2} = 171.64 \text{ Kg} = m_2$$

$$h_2 = h_{liq}(T=260^0C) = 1135.041 \text{ KJ/Kg}$$

Determinação do estado final:

$$v(t') = \frac{V}{m(t')} = \frac{0.850}{171.64} = 0.004952 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

Como a temperatura de 260^0C se verifica:

$$v_{liq} \quad v(t') \quad v_{vap}$$

Assim no instante final o estado é de vapor húmido. Então:

$$p(t') = p(t)$$

A expressão da primeira lei vem assim simplificada:

$$Q = m_2h_2 + m(t')h(t') - m(t)h(t)$$

$$h(t') = \left[1 - x(t')\right]h_{liq} + x(t')h_{vap}$$

$$x(t') = \frac{v(t') - v_{liq}}{v_{vap} - v_{liq}}$$

$$x(t') = \frac{0.004952 - 0.0012755}{0.04215 - 0.0012755}$$

$$x(t') = 8.99\%$$

$$h(t') = (\ 1 - 0.0899)1135.041 + 0.0899x2796.364$$

$$h(t') = 1284.393 \text{ KJ/Kg}$$

Substituindo os valores obtidos na expressão da primeira lei:

$$Q = 171.64x1135.041 + 171.64x1284.393 -$$

$$- 343.28x1183.717$$

$$Q = 8925.28 \text{ KJ}$$

GUET / 81 / 03

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA
GABINETE DE FLUIDOS E CALOR

TERMODINAMICA GERAL

2ª LEI DA TERMODINAMICA

(Problemas)

Por CLITO FELIX ALVES AFONSO
ISMENIO JULIO DA SILVA AZEVEDO
ALBINO JOSE PARENTE DA SILVA REIS

PROBLEMA 1 - Uma máquina térmica produz 21.5 KJ de trabalho, recebendo da fonte quente 90 KJ. Calcule o rendimento da mesma e o calor transferido do fluido de trabalho.

RESOLUÇÃO

Da definição de rendimento de um motor:

$$\eta = \frac{W}{Q_A}$$

$$\eta = \frac{21.5}{90} = 23.8\%$$

Pela primeira lei da termodinâmica:

$$Q_A + Q_B - W = 0$$

$$Q_B = 21.5 - 90 = -68.5 \text{ KJ}$$

— o O o —

PROBLEMA 2 - Uma máquina térmica produz uma potência mecânica de 100 KW e tem um rendimento de 20%. Calcule as quantidades de calor trocadas com as fontes quente e fria.

RESOLUÇÃO

Partindo da definição de rendimento:

$$\eta = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_A}$$

$$= \frac{\dot{W}}{\eta} = \frac{100}{0.2} = 500 \text{ KW}$$

O calor trocado com a fonte fria vem dado pela primeira lei:

$$\dot{Q}_A + \dot{Q}_B - \dot{W} = 0$$

$$\dot{Q}_B = 100 - 500 = -400 \text{ KW}$$

PROBLEMA 2 - A central térmica indicada na figura forneceu os seguintes resultados durante um teste:

Caldeira:

Vapor à saída: $p = 8$ atm; $T = 200^{o}C$

Água de alimentação: $T = 55^{o}C$; $\dot{m} = 0.0262 Kg/s$

Turbina:

Potência fornecida: 6.5 KW

Vapor à entrada: igual à saída da caldeira

Condensador:

Água de arrefecimento: $\dot{m} = 0.73$ Kg/s

$\Delta T = 19^{o}K$

As velecidades do fluido podem ser consideradas desprezáveis e existem perdas de calor para a atmosfera das várias superfícies quentes da central. Calcule para a unidade de massa de H_2O:

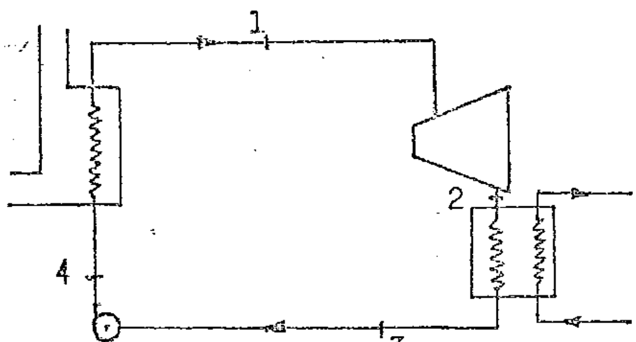
a) O calor transferido para o H_2O na caldeira

b) O trabalho realizado pela água

c) O calor transferido no condensador, considerando que as perdas de calor para a atmosfera na superfície do mesmo são nulas

d) O calor transferido para a atmosfera considerando que o trabalho da bomba é desprezável

e) O rendimento da instalação



RESOLUÇÃO

a) Pela primeira lei:

$$q_c = h_1 - h_4$$

$$h_4 \simeq h_{liq}(T=55^{o}C) = 230.190 \text{ KJ/Kg}$$

Das tabelas de vapor sobreaquecido a:

$$p = 8 \text{ atm} \quad T = 200^{o}C \qquad h_1 = 2839.488 \text{ KJ/Kg}$$

$$q_c = 2839.488 - 230.190$$

$$q_c = 2609.298 \text{ KJ/Kg}$$

b) $\dot{W} = w \times \dot{m}$

$$w = \frac{\dot{W}_T}{\dot{m}} = \frac{6.5}{0.0262} = 248.09 \text{ KJ/Kg}$$

c) Para determinarmos a quantidade de calor libertado no condensador, temos que atender ao seguinte:

$$|\dot{Q}_{con}| = |\dot{Q}_{a.a.}|$$

em que :

$\dot{Q}_{con}$ - potência calorífica perdida no condensador pelo fluido de trabalho

$\dot{Q}_{a.a.}$ - potência calorífica absorvida pela água de arrefecimento

Sabemos tambem que:

$$\dot{Q}_{con} = \dot{m} \times q_{con}$$

$$q_{con} = \frac{Q_{con}}{\dot{m}}$$

$$|q_{con}| = \frac{|Q_{a.a.}|}{\dot{m}}$$

Por outro lado:

$$\dot{Q}_{a.a.} = \dot{m} \times c \times \Delta T$$

em que:

$c \simeq c_v \simeq c_p$ - calor específico da água

Das tabelas: $c - 4.178 \text{ KJ/Kg}^{o}K$

$$\dot{Q}_{a.a.} = 0.73 \times 4.178 \times 19$$

$$\dot{Q}_{a.a.} = 57.94 \text{ KW}$$

$$q_{con} = \frac{57.94}{0.0262} = 2211.45 \text{ KJ/Kg}$$

d) Para um ciclo temos :

$$Q - W = 0$$

$$q_{cal} + q_{con} + q_{p.a.} - w = 0$$

$$q_{p.a.} = 248.09 - 2609.298 - (-2211.45)$$

$$q_{p.a.} = 149.758 \text{ KJ/Kg}$$

e) $$= \frac{w}{q_{cal}} = \frac{248.09}{2609.298} = 9.5\%$$

— o O o —

PROBLEMA 4 - O trabalho recebido por uma máquina frigorífica é de 75 KJ e o calor retirado à fonte fria é de 220 KJ. Calcule a quantidade de calor que a instalação cede à fonte quente e o coeficiente de comportamento térmico da mesma considerando que opera como máquina frigorífica e como bomba de calor.

RESOLUÇÃO

Pela primeira lei: $Q_A + Q_B - W = 0$

$$Q_A = -75 - 220$$

$$Q_A = -295 \text{ KJ}$$

$$(C.O.P.)_{M.F.} = \frac{Q_B}{W} = \frac{220}{75} = 2.93$$

$$(C.O.P.)_{B.C.} = \frac{|Q_A|}{W} = \frac{295}{75} = 3.93$$

PROBLEMA 5 - O coeficiente de comportamento térmico de uma bomba de calor é de 5 quando a potência mecânica que lhe é fornecida é de 50 KW.

a) Calcule as potências caloríficas trocadas entre as fontes quente e fria.

b) O calor transferido pela bomba de calor destina-se a aquecer água para ser utilizada em radiadores de um edifício. Calcule o caudal mássico da mesma atendendo a que a sua tempera é elevada de 50°C para 70°C quando passa na bomba de calor. Considere desprezáveis as velocidades da água.

RESOLUÇÃO

a) $(C.O.P.)_{B.C.} = \frac{\dot{Q}_A}{\dot{W}}$

$$\dot{Q}_A = 50 \times 5 = 250 \text{ KW}$$

Pela primeira lei:

$$\dot{Q}_A + \dot{Q}_B - \dot{W} = 0$$

$$\dot{Q}_B = -50 + 250 = 200 \text{ KW}$$

b) O calor cedido pela bomba de calor é igual e de sinal contrário ao absorvido pela água dos radiadores: $\dot{Q}_R = -\dot{Q}_A$

$$\dot{Q}_R = \dot{m} \times c \times \Delta T$$

em que: $c = 4.186 \text{ KJ/Kg}^{\circ}\text{K}$

$$250 = \dot{m} \times 4.186 \times (70 - 50)$$

$$\dot{m} = 2.90 \text{ Kg/s}$$

PROBLEMA 6 - Pretende-se aquecer a carlinga de um avião que voa a grande altitude, fornecendo-lhe por meio de uma bomba de calor de Carnot a energia térmica do ar atmosférico que o rodeia.

a) Que trabalho seria necessário dispender por cada Kg de ar?

b) Qual seria a quantidade de calor dispendida?

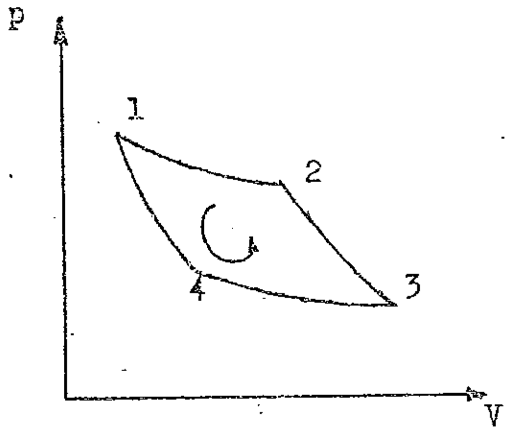
c) Qual o C.O.P. da bomba?

DADOS:

- Avião a voar a uma altitude de 10000m onde a temperatura do ar é de -25^oC e a pressão absoluta de 0.3 atm.
- A pressão absoluta no interior do avião é de 1 atm. e a temperatura de 20^oC
- $R_{ar} = 0.287$ KJ/Kg^{o}K; $= 1.4$

RESOLUÇÃO

a) Antes de se iniciar a resolução do problema será conveniente desenhar a evolução do ar na bomba de Carnot num diagrama p-V



$$w = R \times \ln \frac{V_2}{V_1} \times (T_3 - T_1)$$

Não conhecemos nem V_2 nem V_1.

Porem: $p_1 V_1 = p_2 V_2$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2}$$

$$w = R \times (T_3 - T_1) \times \ln \frac{p_1}{p_2}$$

Resta-nos uma incógnita, p_2; mas:

$$p_3/p_2 = (T_3/T_2)^{\gamma/\gamma-1}$$

$$1/p_2 = (T_3/T_2)^{\gamma/\gamma-1}/p_3$$

que substituída na expressão do trabalho:

$$w = R(T_3 - T_1)\ln\left[\frac{p_1}{p_3}\left(\frac{T_3}{T_2}\right)\right]^{\gamma/\gamma-1}$$

$T_2 = T_1 = 293.15^oK$; $p_1 \approx 1$ atm

$T_3 = 248.15^oC$; $p_3 = 0.3$ atm

Substisuindo na expressão do trabalho:

$$w = 0.287(-25-20)\ln\left[\frac{1}{0.3}\left(\frac{248.15}{293.15}\right)\right]^{1.4/1.4-1}$$

$$w = 8 \text{ KJ/Kg}$$

b) O calor extraído da atmosfera é:

$$q_B = R \times T_3 \times \ln\frac{V_3}{V_4}$$

Tem-se tambem:

$$p_4V_4 = p_3V_3 \quad ; \quad \frac{V_3}{V_4} = \frac{p_4}{p_3}$$

$$p_1/p_4 = (T_1/T_4)^{\gamma/\gamma-1}$$

$$p_4 = p_1/(T_1/T_4)^{\gamma/\gamma-1}$$

Obtendo-se então para o calor:

$$q_B = RT_3\ln\left[\frac{p_1}{p_3}\times\left(\frac{T_4}{T_1}\right)\right]^{\gamma/\gamma-1}$$

Substituindo valores na expressão de q_B e atendendo que $T_4=T_3$

$$q_B = 0.287 \times 248.15 \times \ln\left[\frac{1}{0.3}\times\left(\frac{248.15}{293.15}\right)\right]^{1.4/1.4-1}$$

$$q_B = 44.2 \text{ KJ/Kg}$$

O calor fornecido ao avião é:

$$q_A = R \times T_1 \times \ln\frac{V_1}{V_2}$$

De igual modo:

$$p_1V_1 = p_2V_2 \longrightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{p_2}{p_1}$$

$$p_2 = p_3\ (T_2/T_3)^{\gamma/\gamma-1}$$

$$q_A = R \times T_1 \times \ln\left[\frac{p_3}{p_1}\ \left(\frac{T_2}{T_3}\right)\right]^{\gamma/\gamma-1} \quad ; \ T_2 = T_1$$

$$q_A = 0.287 \times 293.15 \times \ln\left[\frac{0.3}{1}\ \left(\frac{293.15}{248.15}\right)\right]^{1.4/1.4-1}$$

$$q_A = -52.22 \text{ KJ/Kg}$$

c) $(C.O.P.)_{B.C.} = q_A/w = T_1/(T_1-T_3) = 6.5$

— o O o —

PROBLEMA 7 - Uma massa de 1 Kg de dióxido de carbono (CO_2) descreve um ciclo de Carnot entre as pressões extremas de 2 e 16 atm. A temperatura no fim da expansão adiabática é de 17°C e a pressão absoluta no fim da compressão isotérmica é de 4 atm. Detarminar:

a) Os valores de p e V nos quatro vértices do ciclo
b) As quantidades de calor e trabalho trocados com o meio exterior
c) O trabalho fornecido pelo gás durante o ciclo
d) O rendimento termodinâmico do ciclo

DADOS:

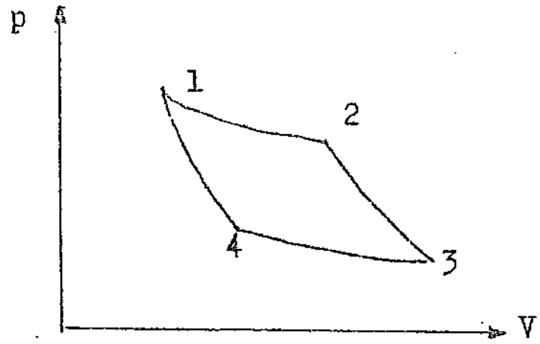
$R_{CO_2} = 0.189$ KJ/Kg°K

$c_p = 0.82$ KJ/Kg°K

$\gamma = 1.3$

RESOLUÇÃO

a) Para melhor compreensão da resolução do problema será conveniente dxsenhar o ciclo num diagrama p-V



São já conhecidos os seguintes pontos:

$p_1 = 16$ atm ; $p_3 = 2$ atm

$p_4 = 4$ atm ; $T_3 = T_4 = 17^oC$

Considerando o CO_2 como gás perfeito:

$$p_3V_3 = m \times R \times T_3$$

$$V_3 = \frac{1 \times 0.189(17 + 273.15)}{2 \times 98}$$

$$V_3 = 0.146 \text{ m}^3$$

$$T_1/T_4 = (p_1/P_4)^{\gamma-1/\gamma}$$

$$T_1 = (17 + 273.15)(\frac{16}{4})^{1.3-1/1.3}$$

$$T_1 = 399.539^oK = 126.38^oC$$

$$p_1V_1 = m \times R \times T_1$$

$$V_1 = \frac{1 \times 0.189 \times 399.539}{16 \times 98}$$

$$V_1 = 0.0481 \text{ m}^3$$

$$T_3/T_2 = (p_3/p_2)^{\gamma-1/\gamma} \quad ; \quad T_2 = T_1$$

$$\frac{17 + 273.15}{399,539} = (\frac{2}{p_2})^{1.3-1/1.3}$$

$$p_2 = 7.99 \text{ atm.}$$

$$p_2V_2 = mRT_2$$

$$7.99 \times 98 \times V_2 = 1 \times 0.189 \times 399.539$$

$$V_2 = 0.0964 \ m^3$$

Podemos agora construir uma tabela com todos os valores obtidos

estado	p(atm)	$V(m^3)$	$T(°C)$
1	16	0.0481	126.38
2	7.99	0.0964	126.38
3	2	0.279	17
4	4	0.146	17

b) Processo 1-2

$$Q = W = m \times R \times T_1 \times \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$Q = W = L \times 0.189 \times 399.539 \times \ln \frac{0.0964}{0.0481}$$

$$Q = W = 52.498 \text{ KJ}$$

Processo 2-3

$$Q = 0$$

$$W = \frac{m \times R \times (T_3 - T_2)}{1 - \gamma}$$

$$W = \frac{1 \times 0.189 \times (17 - 126.38)}{1 - 1.3} = 68.9 \text{ KJ}$$

Processo 3-4

$$Q = W = m \times R \times T_3 \times \ln \frac{V_4}{V_3}$$

$$Q = W = 1 \times 0.189 \times (17 + 273.15) \times \ln \frac{0.149}{0.279}$$

$$Q = W = -35.51 \text{ KJ}$$

Processo 4-1

$$Q = 0$$

$$W = \frac{m \times R \times (T_1 - T_4)}{1 -}$$

$$W = \frac{1 \times 0.189 \times (126.38 - 17)}{1 - 1.3}$$

$$W = -68.9 \text{ KJ}$$

c) $W = m \times R \times (T_1 - T_3) \times \ln (V_2/V_1)$

$$W = 1 \times 0.189 \times (126.38 - 17) \times \ln \frac{0.0964}{0.0481}$$

$$W = 14.372 \text{ KJ}$$

d) $\eta = \frac{W}{Q_A} = \frac{14.372}{52.498} = 27.3\%$

GUET / 81 / 04

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
DEPARTAMANTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
GABINETE DE FLUIDOS E CALOR

TERMODINÂMICA GERAL

ENTROPIA

SISTEMAS FECHADOS
(Problemas)

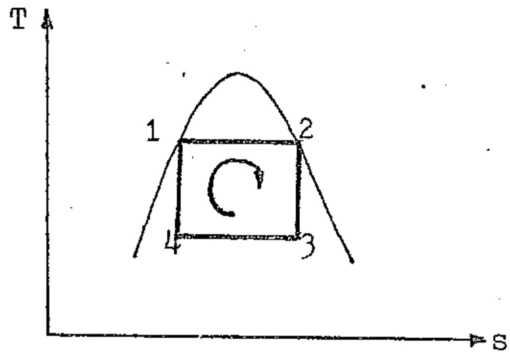
Por CLITO FÉLIX ALVES AFONSO
ISMÉNIO JÚLIO DA SILVA AZEVEDO
ALBINO JOSÉ PARENTE DA SILVA REIS

PROBLEMA 1 - Considere um ciclo motor de Carnot cujo fluido de trabalho é água e que tem um rendimento de 20%.
É transferido calor para o fluido a 250°C e durante este processo o mesmo passa do estado de líquido saturado ao de vapor saturado.

a) Faça o diagrama do ciclo num diagrama T-s
b) Determine o título no inicio e no final do processo de rejeição de calor
c) Calcule o trabalho mássico do ciclo.

<u>RESOLUCÃO</u>

a)



b) É necessário antes de mais sabermos qual a temperatura a que é rejeitado calor. Por se tratar de um ciclo de Carnot:

$$\eta = 1 - \frac{T_B}{T_A}$$

em que: $\eta = 20\%$

$T_A = 250 + 273.15 = 523.15^{o}K$

Substituindo estes valores na expressão do rendimento:

$$0.2 = 1 - \frac{T_B}{523.15}$$

$$T_B = 418.52^{o}K = 145.37^{o}C$$

Tem-se tambem: $s_1 = s_4$; $s_2 = s_3$

A T = 250°C:

$$\left| \begin{array}{l} s_l = s_1 = 2.7934 \ KJ/Kg^{o}K \\ s_v = s_2 = 6.0721 \ KJ/Kg^{o}K \end{array} \right.$$

A $T = 145.37^{\theta}C$ $\left| \begin{array}{l} s' = 1.7944 \text{ KJ/Kg}^{o}K \\ s'' = 6.8804 \text{ KJ/Kg}^{o}K \end{array} \right.$

$$x = \frac{s - s'}{s'' - s'}$$

$$x_4 = \frac{2.7934 - 1.7944}{6.8804 - 1.7944} = 19.64\%$$

$$x_3 = \frac{6.0721 - 1.7944}{6.8804 - 1.7944} = 84.1\%$$

c) $\eta = \frac{w}{q_A}$

$$q_A = T(s_2 - s_1) = (250 + 273.15)(6.0721 - 2.7934)$$

$$q_A = 1715.25 \text{ KJ/Kg}$$

$$w = 0.2 \times 1715.25$$

$$w = 343.05 \text{ KJ/Kg}$$

PROBLEMA 2 - Vapor de R-12 saturado à pressão de 219.1 KN/m^2 é comprimido num cilindro através de um pistão até a pressão de 980.665 KN/m^2 num processo adiabático reversivel. Calcular o trabalho realizado por Kg de fluido.

RESOLUÇÃO

Pela primeira lei:

$$Q - W = U_2 - U_1$$

Por o processo ser adiabático: $Q = 0$.

Então:

$$w = h_1 - p_1v_1 - h_2 + p_2v_2$$

À pressão de 219.1 KN/m^2:

$$\left| \begin{array}{l} v'' = v_1 = 0.07813 \text{ m}^3\text{/Kg} \\ h'' = h_1 = 568.861 \text{ KJ/Kg} \\ s'' = s_1 = 4.7586 \text{ KJ/Kg}^{o}K \end{array} \right.$$

Por o processo ser adiabatico reversivel:

$$s_1 = s_2$$

À pressão de 980.665 KN/m^2, $s_2 > s''$ o que implica que o estado final é de vapor sobreaquecido. Assim à mesma pressão:

s(KJ/Kg °K)	h(KJ/Kg)	v(m^3/Kg)
4.7495	593.31	0.01877
4.7586	596.14	0.019254
4.7604	596.70	0.01935

Substituindo na expressão da primeira lei os valores encontrados:

$$w = 568.861 - 219.1 \times 0.07813 - 596.14 + $$
$$+ 980.665 \times 0.019254$$

$$w = -25.515 \text{ KJ/Kg}$$

PROBLEMA 3 - R-12 à pressão de 5 atm enche um cilindro dotado de pistão. O volume neste estado é de 10 litros. O R-12 sofre então uma expansão adiabática reversivel até à temperatura de -30°C. No final deste processo o R-12 recebe calor a pressão constante até que a temperatura regresse ao valor inicial. Represente a evolução num diagrama T-s, e calcule o calor e trabalho postos em jogo em cada processo.

RESOLUÇÃO

O estado inicial é de vapor sobreaquecido.
A p = 5 atm e T = 20°C:

$$\begin{cases} v_1 = 0.0377 \text{ m}^3/\text{Kg} \\ h_1 = 583.47 \text{ KJ/Kg} \\ s_1 = 4.7591 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K} \end{cases}$$

$$m = \frac{V_1}{v_1} = \frac{10 \times 10^{-3}}{0.0377} = 0.2652 \text{ Kg}$$

$$s_2 = s_1$$

A temperatura de -30^oC:

$$\left| \begin{array}{l} p_{sat} = 4.7719 \text{ KN/m}^2 \\ s' = 4.0835 \text{ KJ/Kg}^oK \\ s'' = 4.7719 \text{ KJ/Kg}^oK \\ h' = 391.759 \text{ KJ/Kg}^oK \\ h'' = 559.105 \text{ KJ/Kg}^oK \\ v' = 0.0006725 \text{ m}^3\text{/Kg} \\ v'' = 0.1613 \text{ m}^3\text{/kg} \end{array} \right.$$

$$x_2 = \frac{s_2 - s'}{s'' - s'}$$

$$x_2 = \frac{4.7591 - 4.0835}{4.7719 - 4.0835} = 98.14\%$$

$$h_2 = (1 - x)h' + xh''$$

$$h_2 = (1 - 0.9814)391.759 + 0.9814 \times 559.105$$

$$h_2 = 555.992 \text{ KJ/Kg}$$

$$v_2 = (1 - x)v' + xv''$$

$$v_2 = (1 - 0.9814)0.0006725 + 0.9814 \times 0.1613$$

$$v_2 = 0.1583 \text{ m}^3\text{/Kg}$$

Na primeira parte do processo - adiabático reversivel:

$$Q = 0$$

$$-W = m(u_2 - u_1)$$

$$W = m(h_1 - p_1v_1 - h_2 + p_2v_2)$$

$$W = 0.2652(583.47 - 5\text{x}98\text{x}0.0377 - 555.992 + 1.0245\text{x}98\text{x}$$
$$\text{x}0.1583)$$

$$W = 6.6 \text{ KJ}$$

O estado final (3) é de vapor sobreaquecido; por facilidade, considerando que a pressão deste segundo processo é de 1 atm:

$$p = 1 \text{ atm} \qquad \left| \begin{array}{l} v = 0.1981 \text{ m}^3/\text{Kg} \\ h = 588.41 \text{ KJ/Kg} \\ s = 4.8818 \text{ KJ/Kg}^o\text{K} \end{array} \right.$$
$$T = 20^oC$$

Pela primeira lei:

$$Q - W = U_3 - U_2$$

Por o processo ser a pressão constante:

$$Q = m(h_3 - h_2)$$

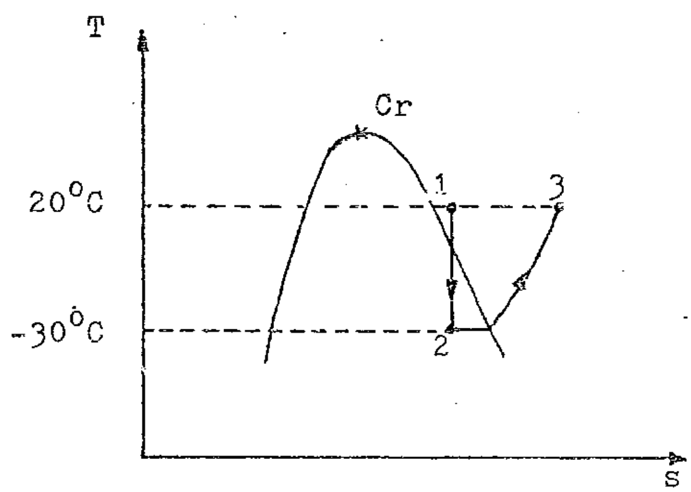
$$Q = 0.2652(588.41 - 555.992)$$

$$Q = 8.597 \text{ KJ}$$

$$W = p(v_3 - v_2)$$

$$W = 1 \times 98 \times 0.2652(0.1981 - 0.1583)$$

$$W = 1.034 \text{ KJ}$$



PROBLEMA 4 - É fornecido calor a 0.45 Kg de água líquida saturada contida num cilindro com pistão inicialmente a 14 atm. O líquido é convertido em vapor, e expandido até 1 atm durante um processo isotérmico reversivel. Determine:

a) Variação de volume

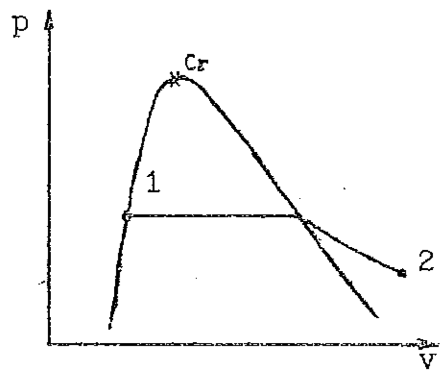
b) Calor fornecido

c) Trabalho realizado

RESOLUÇÃO

a) A p = 14 atm.:

$$\begin{cases} v_1 = 0.0011476 \ m^3/Kg \\ h_1 = 826.056 \ KJ/Kg \\ s_1 = 2.2751 \ KJ/Kg^oC \\ T_{sat} = 194.13^oC \end{cases}$$



A p = 1 atm
T = 194.13°C

$$\begin{cases} v_2 = 2.186 \ m^3/Kg \\ h_2 = 2863.10 \ KJ/Kg \\ s_2 = 7.8115 \ KJ/Kg^oC \end{cases}$$

$$V_2 - V_1 = m(v_2 - v_1)$$

$$V_2 - V_1 = 0.45(2.186 - 0.00115) = 0.983 \ m^3$$

b) $$Q = m \times T(s_2 - s_1)$$

$$Q = 0.45 \times (194.13 + 273.15) \times (7.8115 - 2.2751)$$

$$Q = 1164.17 \ KJ$$

c) $$Q - W = m(u_2 - u_1)$$

$$W = Q - m(h_2 - p_2v_2 - h_1 + p_1v_1)$$

$$W = 1164.17 - 0.45(2863.1 - 1 \times 98 \times 2.186 - 826.056 + $$
$$+ 14 \times 98 \times 0.0011476)$$

$$W = 343.194 \ KJ$$

PROBLEMA 5 - 0.9 Kg de fluido, inicialmente a 16 atm e 250°C expande-se isentropicamente até 1.5 atm. Determine, para os dois casos, vapor e ar:

a) Temperatura final

b) Trabalho realizado

RESOLUÇÃO

VAPOR

a) O estado inicial é de vapor sobreaquecido. A p = 16 atm e T = 250°C:

$$\begin{array}{|l} v_1 = 0.1447 \text{ m}^3/\text{Kg} \\ h_1 = 2917.781 \text{ KJ/Kg} \\ s_1 = 6.6784 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K} \end{array}$$

Como o processo é isentrópico: $s_2 = s_1$. A p = 1.5 atm, $s_2 < s''$, o estado final é de vapor húmido. A temperatura final será a de saturação a p = 1.5 at.: $T_2 = 110.79^\circ C$

b) $W = m(h_1 - p_1v_1 - h_2 + p_2v_2)$

A p = 1.5 atm:

$$\begin{array}{|l} v' = 0.0010522 \text{ m}^3/\text{Kg} \\ v'' = 1.181 \text{ m}^3/\text{Kg} \\ h' = 464.693 \text{ KJ/Kg} \\ h'' = 2692.531 \text{ KJ/Kg} \\ s' = 1.4273 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K} \\ s'' = 7.2298 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K} \end{array}$$

$$x_2 = \frac{s_2 - s'}{s'' - s'}$$

$$x_2 = \frac{6.6784 - 1.4273}{7.2298 - 1.4273} = 90.49\%$$

$$v_2 = (1 - x)v' + xv''$$

$$v_2 = (1 - 0.9049)0.0010522 + 0.9049 \times 1.181 =$$

$$v_2 = 1.068 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$h_2 = (1 - x)h' + xh''$$

$$h_2 = (1 - 0.9049)464.693 + 0.9049 \times 2692.531$$

$$h_2 = 2480.663 \text{ KJ/Kg}$$

$$W = 0.9(2917.781 - 16 \times 98 \times 0.1447 - 2480.663 + 1.5 \times 98 \times 1.068)$$

$$W = 330.5 \text{ KJ}$$

AR

a) $T_2/T_1 = (p_2/p_1)^{-1/}$

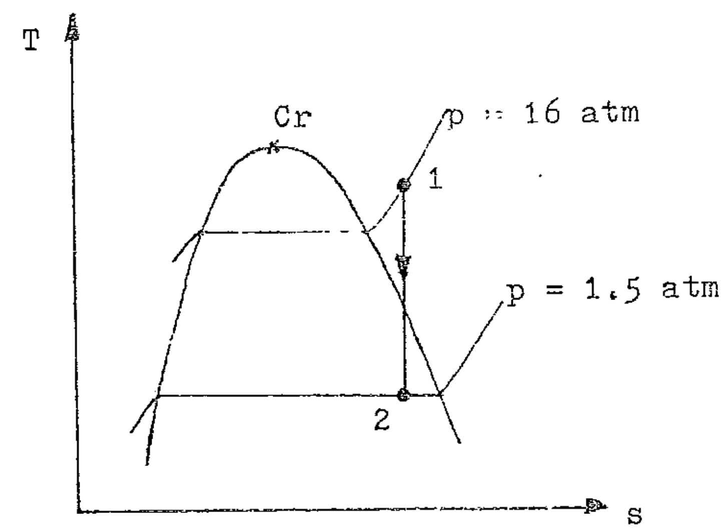
$$T_2 = (250 + 273.15)\ (1.5/16)^{1.4-1/1.4}$$

$$T_2 = 266^oK$$

b) $W = m \times c_v(T_1 - T_2) = 0.9 \times 0.718\ (523.15 - 266)$

$$W = 166.17 \text{ KJ}$$

Diagrama T-s do vapor

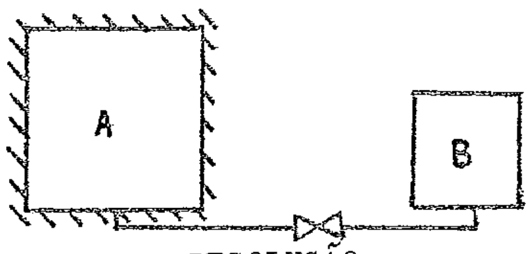


PROBLEMA 6 - Considere o sistema mostrado na figura. O tanque A é isolado, tem um volume de 0.6 m^3 e contem inicialmente vapor à pressão de 14 atm e temperatura de 300°C. O tanque B não isolado, tem um volume de 0.3 m^3 e contem inicialmente vapor à pressão de 2 atm e temperatura de 200°C. A válvula de ligação entre os dois tanques é aberta e há escoamento de vapor do tanque A para o tamque B até que a temperatura em A seja de 250°C, quando então a válvula é fechada. Durante o processo há transferência de calor do tanque B para a atmosfera a 25°C em quantidade tal que em B a temperatura permanece constante e igual a 200°C. Pode-se considerar que o vapor em A sofreu um processo adiabático reversivel. Determina:

a) A pressão final em cada um dos tanques

b) A massa final em B

c) A variação de entropia do universo



RESOLUÇÃO

a) Comecemos por tirar as propriedades conhecidas do vapor no instante inicial, tanto do tanque A como do B:

Tanque A: $\left| \begin{array}{l} p_1 = 14 \text{ atm} \\ T_1 = 300^\circ C \\ V = 0.6 \text{ m}^3 \end{array} \right. \Longrightarrow \left| \begin{array}{l} v_1 = 0.1859 \text{ m}^3/\text{Kg} \\ h_1 = 3035.849 \text{ KJ/Kg}^\circ K \\ s_1 = 6.9551 \text{ KJ/Kg}^\circ K \end{array} \right.$

$$m_1 = \frac{V}{v_1} = \frac{0.6}{0.1859} = 3.227 \text{ Kg}$$

Tanque B $\left| \begin{array}{l} p_1 = 2 \text{ atm} \\ T_1 = 200^oC \\ V = 0.3m^3 \end{array} \right. \rightarrow \left| \begin{array}{l} v_1 = 1.101 \ m^3/Kg \\ h_1 = 2869.633 \ KJ/Kg \\ s_1 = 7.5099 \ KJ/Kg^oK \end{array} \right.$

$$m_1 = \frac{V}{v_1} = \frac{0.3}{1.101} = 0.272 \text{ Kg}$$

Vejamos agora em pormenor o que se passa em cada um dos tanques:

Tanque A: $s_1 = s_2$

Assim, do estado final tem-se duas propriedades: T e s. Das tabelas de vapor sobreaquecido a 250^oC:

$s(KJ/Kg^oK)$	p(atm)	$v(m^3/Kg)$	h(KJ/Kg)
6.9296	10	0.2374	2940.808
6.9551	9.46	0.252142	2942.617
6.9827	9	0.2647	2944.158

$$m_2 = \frac{V}{v_2} = \frac{0.6}{0.252142} = 2.379 \text{ Kg}$$

$$m_s = m_1 - m_2 = 3.227 - 2.379 = 0.848 \text{ Kg}$$

Tanque B:

$m_2 = m_s + m_1 = 0.848 + 0.287 = 1.12$ Kg —— resposta a alinea b)

$$v_2 = \frac{V_B}{m_2} = \frac{0.3}{1.12} = 0.2678 \ m^3/Kg$$

Do estado final temos duas propriedades: T_2 e v_2. A $T = 200^oC$

$v(m^3/Kg)$	p(atm)	h(KJ/Kg)	$s(KJ/Kg^oK)$
0.2662	8	2839.488	6.82245
0.2678	7.959	2839.69	6.8273
0.3059	7	2844.512	6.8944

c) A variação de entropia do universo será igual a variação de entropia do sistema mais a variação de entropia da vizinhança. A variação de entropia do sistema é igual a soma das variações da mesma no tanque A e tanque B.

$$\Delta S_A = m_2 x s_2 - m_1 x s_1$$

$$\Delta S_A = 2.379 \times 6.9551 - 3.227 \times 6.9551$$

$$\Delta S_A = -5.8979 \ KJ/{}^oK$$

$$\Delta S_B = m_2 x s_2 - m_1 x s_1$$

$$\Delta S_B = 1.12 \times 6.8273 - 0.272 \times 7.5099$$

$$\Delta S_B = 5.603 \ KJ/{}^oK$$

$$\Delta S_{sis} = S_A + S_B = -5.8979 + 5.603 =$$

$$\Delta S_{sis} = -0.2949 \ KJ/{}^oK$$

Para determinarmos a variação de entropia da vizinhança temos que primeiramente saber qual a quantidade de calor cedida à atmosfera. Aplicando a 1ª lei ao sistema total (tanque A + + tanque B)

$$Q - W = U_2 - U_1$$

Por não haver realização de trabalho $W=0$;

$$Q = U_2 - U_1$$

$$Q = (U_{2,A} + U_{2,B}) - (U_{1,A} + U_{1,B})$$

$$Q = \left[(h_2 - p_2 x v_2) m_2\right]_A + \left[(h_2 - p_2 v_2) m_2\right]_B - \left[(h_1 - p_1 x v_1) m_1\right]_A - \left[(h_1 - p_1 x v_1) m_1\right]_B$$

$$Q = (2942.617 - 9.46 x 98 x 0.252142) 2.379 + (2839.69 - 7.959 x 98 x 0.2678) 1.12 - (3035.849 - 14 x 98 x 0.1859) 3.227 - (2869.633 - 2 x 98 x 1.101) 0.272$$

$$Q = -304.577 \ KJ$$

Assim a variação de entropia da vizinhança é:

$$\Delta S_{viz} = \frac{Q}{T}$$

$$\Delta S_{viz} = \frac{304.577}{(25+273.15)} = 1.0215\ KJ/^oK$$

$$\Delta S = S_{sis} + S_{viz}$$

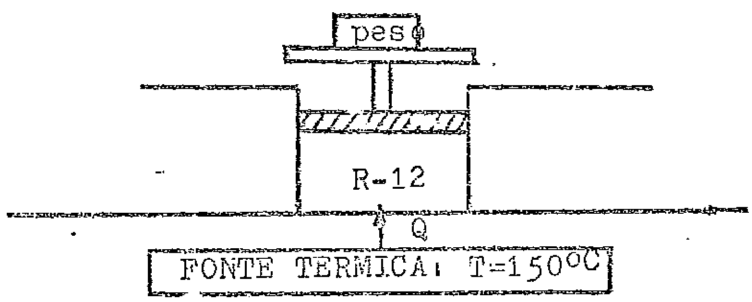
$$\Delta S = -0.2949 + 1.0215 = 0.7966\ KJ/^oK$$

——— o O o ———

PROBLEMA 7 - Considere o dispositivo indicado na figura, destinado a elevar um peso devido à transferência de calor de uma fonte a 150°C para o R-12. A pressão inicial devido ao peso e atmosfera é de 14 atm. A temperatura inicial é de 70°C e o volume de 10l. Há transferência de calor até que a temperatura do R-12 atinja os 150°C.

a) Calcule o calor e o trabalho postos em jogo

b) Calcule a variação de entropia do universo.



RESOLUCAO

a) No estado inicial o R-12 encontra-se na fase de vapor sobreaquecido: A $\begin{cases} P_1 = 14\ atm \\ T_1 = 70^oC \end{cases}$ $\begin{cases} v_1 = 0.01400\ m^3/Kg \\ h_1 = 605.58\ KJ/Kg \\ s_1 = 4.7688\ KJ/KgK \end{cases}$

O processo desenrola-se a pressão constante. Assim, no estado final:

$$\left| \begin{array}{l} p_2 = 14 \text{ atm} \\ T_2 = 150^oC \end{array} \right. \qquad \left| \begin{array}{l} v_2 = 0.01979 \text{ m}^3/\text{Kg} \\ h_2 = 666.37 \text{ KJ/Kg} \\ s_2 = 4.9266 \text{ KJ/KgK} \end{array} \right.$$

A massa de R-12 no sistema é:

$$m = \frac{V_1}{v_1} = \frac{10\text{ E-3}}{0.014} = 0.714 \text{ Kg}$$

O trabalho realizado pelo sistema vem dado por:

$$W = m\int pdv$$

$$W = mxp(v_2 - v_1)$$

$$W = 0.714x14x98(0.01979 - 0.014)$$

$$W = 5.67 \text{ KJ}$$

O calor cedido pelo sistema vem dado pela 1^alei:

$$Q - W = U_2 - U_1$$

Por se tratar de um processo isobárico:

$$Q = m(h_2 - h_1)$$

$$Q = 0.714(666.37 - 605.58)$$

$$Q = 43.40 \text{ KJ}$$

b) A variação de entropia do universo é:

$$\Delta S_{uni} = \Delta S_{sis} + \Delta S_{viz}$$

$$\Delta S_{sis} = m(s_2 - s_1) = 0.714(4.9266 - 4.7688)$$

$$\Delta S_{sis} = 0.1126 \text{ KJ/k}$$

$$\Delta S_{viz} = \frac{Q}{T} = \frac{-43.40}{(423.15)} = -0.10256 \text{ KJ/K}$$

$$\Delta S_{uni} = 0.1126 - 0.10256 = 0.1 \text{ KJ/K}$$

PROBLEMA 8 - 1m^3 de ar à pressão de 41 atm e 300°C contido num cilindro expande-se num processo isotérmico reversivel até à pressão de 1 atm. Calcule:

a) A transferência de calor durante o processo

b) A variação de entropia do ar

RESOLUÇÃO

a) Aplicando a 1ª lei ao cilindro:

$$Q - W = U_2 - U_1$$

Por o processo ser isotérmico : $U_2 = U_1$

$$Q = W$$

$$W = p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

$$V_2 = \frac{p_1 x V_1}{p_2} = \frac{41 \times 1}{1}$$

$$V_2 = 41 \text{ m}^3$$

$$W = 41 \times 98 \times 1 \times \ln \frac{41}{1} = 14921 \text{ KJ} = Q$$

b) A variação de entropia do ar será:

$$S_2 - S_1 = \frac{Q}{T}$$

$$S_2 - S_1 = \frac{14921}{573.15} = 26 \text{ KJ/K}$$

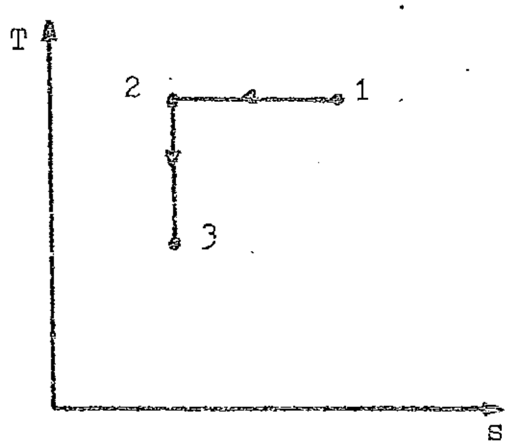
PROBLEMA 9 - Sendo necessário obter hélio a baixa temperatura utilizou-se a seguinte técnica: hélio num cilindro à pressão atmosférica e 25°C é comprimido num processo isotérmico até à pressão de 7 atm, depois do qual é expandido até à pressão inicial num processo adiabático. Ambos os processos são reversiveis.

a) Represente os processos num diagrama T-s

b) Calcule a temperatura final bem como o trabalho mássico.

RESOLUÇÃO

a)



b) O trabalho total mássico será o somatório dos trabalhos mássicos dos processos 1-2 e 2-3:

$$_1w_3 = {_1w_2} + {_2w_3}$$

A 1^a lei aplicada ao processo 1-2:

$$_1q_2 - {_1w_2} = u_2 - u_1$$

Por o processo ser isotérmico: $u_2 = u_1$

$$_1q_2 = {_1w_2}$$

$$_1w_2 = p_1 x v_1 x \ln \frac{v_2}{v_1}$$

$$_1w_2 = R x T_1 x \ln \frac{p_1}{p_2}$$

Das tabelas dos gases perfeitos:

$$\left|\begin{array}{l} R = 2.079 \text{ KJ/KgK} \\ c_p = 5.234 \text{ KJ/KgK} \\ K = c_p/c_v = 1.66 \end{array}\right.$$

obtendo-se para o trabalho isotérmico:

$${}_1w_2 = 2.079(25 + 273.15) \ln \frac{1}{7} =$$

$${}_1w_2 = -1206.179 \text{ KJ/Kg}$$

A 1ª lei aplicada ao segundo processo:

$${}_2q_3 - {}_2w_3 = u_3 - u_2$$

Por o processo ser adiabático: ${}_2q_3 = 0$

$${}_2w_3 = u_2 - u_3$$

$${}_2w_3 = c_v(T_2 - T_3)$$

sendo portanto necessário calcular primeiramente a temperatura final do processo:

$$s_3 - s_2 = c_p \ln \frac{T_3}{T_2} - R \ln \frac{p_3}{p_2}$$

Por este processo ser adiabático reversível: $s_2 = s_3$

$$5.234 \ln \frac{T_3}{298.15} = 2.079 \ln \frac{1}{7}$$

$T_3 = 137.64$ K —— temperatura

final do processo. Substituindo na expressão do trabalho:

$${}_2w_3 = 3.153(298.15 - 137.64) =$$

$${}_2w_3 = 506.088 \text{ KJ/Kg}$$

$${}_1w_3 = -1206.179 + 506.088 =$$

$${}_1w_3 = -700.091 \text{ KJ/Kg}$$

PROBLEMA 10 - Um cilindro dotado de êmbolo (sem atrito) contem inicialmente ar a 150 KN/m^2, 20°C ocupando um volume de 0.5 m^3. O ar é então comprimido reversivelmente de acordo com a relacção $PV^n = c^{te}$ até que a pressão final seja de 600 KN/m^2 e a temperatura de 120°C. Para este processo determine:

a) O indice politrópico n

b) O volume final de ar

c) O trabalho e o calor postos em jogo

d) A variação de entropia do ar

RESOLUÇÃO

a) $$T_2/T_1 = (p_2/p_1)^{n-1/n}$$

$$\frac{n-1}{n} = \frac{\ln \frac{120+273.15}{20+273.15}}{\ln \frac{600}{150}}$$

$$n = 1.26$$

b) $$p_1V_1^n = p_2V_2^n$$

$$V_2 = \left(\frac{250x0.5^{1.26}}{600}\right)^{1/1.26}$$

$$V_2 = 0.166 \ m^3$$

c) $$W = \frac{p_2V_2 - p_1V_1}{1-n} = \frac{600x0.166 - 150x0.5}{1 - 1.26} = -94.61 \ KJ$$

Da 1ª lei da termodinâmica:

$$Q - W = U_2 - U_1$$

$$Q = mxc_v(T_2 - T_1) + W$$

A massa do sistema é:

$$m = \frac{p_1xV_1}{RxT_1} = \frac{150x0.5}{0.287x(20 + 273.15)}$$

$$m = 0.89 \ Kg$$

$$Q = 0.89 \times 0.7165(120 - 20) - 94.61 = -$$

$$Q = -30.84 \text{ KJ}$$

d) $$S_2 - S_1 = m\left(c_p x \ln \frac{T_2}{T_1} - R x \ln \frac{p_2}{p_1} \right)$$

$$S_2 - S_1 = 0.89\left(1.005 \ln \frac{120+273.15}{20+273.15} - 0.287 \ln \frac{600}{150}\right)$$

$$S_2 - S_1 = -0.0915 \text{ KJ/K}$$